

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή Εργασία
Αριθμός 240

**« Προστασία έναντι υπερτάσεων υποσταθμών με μόνωση
αερίου (SF6) με τη χρήση απαγωγέων υπέρτασης »**



Ειδηγητές:
1. Ε. Πυργιώτη
2. Ι. Μαυρογένης

Σπουδαστές:
1. Γεωργιος Σιμήτρης

ΑΡΙΘΜΟΣ
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

2063

212

Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελείται από 4 κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια πρώτη ενημέρωση γύρω από τη χρήση απαγωγέων υπέρτασης σε υποσταθμούς με μόνωση αερίου αναφέροντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναφορά στις όποιες υπερτάσεις υπόκεινται ένας υποσταθμός, τα σφάλματα που δημιουργούνται από την πρόσκρουση ισχυρών ρευμάτων (κεραυνός) και τις συνέπειες αυτών των σφαλμάτων στον υποσταθμό.

Στα παραρτήματα I & II δίνονται και οι υπολογισμοί των πιθανοτήτων εμφάνισης τέτοιων σφαλμάτων.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η ικανότητα προστασίας τη εισόδου της γραμμής ενός υποσταθμού με μόνωση αερίου (GIS) των 500 KV με τη χρήση διακένων σπινθήρος εξαφθοριούχου θείου (SF₆). Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές του διακένου αυτού, η κατασκευαστική του διάταξη και η ικανότητα μόνωσης του GIS κάτω από την επίδραση ταλαντευόμενων υπερτάσεων που παράγονται από τη διάσπαση του διακένου SF₆.

Τέλος στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στην απευθείας χρήση αντιστάσεων μεταλλικού οξειδίου σαν απαγωγείς υπέρτασης χωρίς διάκενα σπινθήρος, ενώ επίσης λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά τους σε περιβάλλοντα διαφόρων αερίων που δημιουργούνται εξαιτίας μερικών εκκενώσεων στο εσωτερικό του απαγωγέα.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	1
Κεφάλαιο 1°	5
Απαγωγείς υπέρτασης σε υποσταθμούς μονωμένους με αέριο υψηλής τάσης (Gas - Insulated Substation).	5
1. Περίληψη	5
1.1. Εφαρμογή	7
1.2. Σχεδιασμός εσωτερικούς απαγωγέα GIS	11
1.3.1. Διαβάθμιση της τάσης	12
1.2.2. Μείωση της πίεσης	16
1.2.3. Κριτήρια Συντήρησης	17
1.3. Άλλες εφαρμογές	18
Κεφάλαιο 2	20
Προδιαγραφές αντικεραυνικής προστασίας μεταβατική υπέρταση από κεραυνό για έναν υποσταθμό 500 KV μονωμένο με αέριο (GIS)	20
Περίληψη	20
2.1. Εισαγωγή	22
2.2. Έννοιες σχετικές με τη διαβάθμιση της μόνωσης	24
2.2.1. Στοιχεία του συστήματος	24
2.2.2. Προσέγγιση με πιθανότητες	26
2.3. Υπερτάσεις	27
2.3.1. Επαγόμενες υπερτάσεις από κεραυνό	28
2.3.2. Εναέρια γραμμή	29
2.3.3. Σφάλματα θωράκισης	30
2.3.4. Σφάλματα από ανάστροφα βραχυκυκλώματα	32
2.4. Μελέτη της υπέρτασης από κεραυνό σε υποσταθμό με μόνωση αερίου (GIS)	37
2.4.1. Μορφή των κυμάτων	39
2.4.2. Απομάκρυνση τάσης ενός συστήματος GIS	40
2.4.3. Ελάχιστος Υποσταθμός - Όλοι οι διακόπτες ανοιχτοί	41
2.4.4. Συνδεσμολογίες του Μετασχηματιστή	45

2.4.5. Συνέπειες εξαιτίας αλλαγών στο σύστημα	46
2.4.6. Συμπεράσματα	48
Παράρτημα I	51
Σφάλματα Θωράκισης	51
Παράρτημα II	52
Υπολογισμοί ανάστροφων βραχυκυκλωμάτων	52
Κεφάλαιο 3	56
Προστασία της εισόδου της γραμμής σε υποσταθμούς των 500 KV με μόνωση αερίου, με τη χρήση διακενών σπινθήρος εξαφθοριούχου θείου (SF6)	56
Περίληψη	56
3.1 Εισαγωγή	57
3.2 Ανάλυση της διαβάθμισης της μόνωσης στην περιοχή της εισόδου γραμμής για έναν GIS των 500 KV	60
3.3 Χαρακτηριστικές τάσης - χρόνου για συσκευή των 500 KV στην είσοδο της γραμμής	64
3.4 Διάκενο σπινθήρος SF6 στα 500 KV	67
3.4.1 Κατασκευή ενός διακένου σπινθήρος SF6 των 500 KV	68
3.4.2 Χαρακτηριστικές διάσπασης ενός διακένου αερίου των 500 KV	70
3.5 Διηλεκτρική αντοχή του υποσταθμού με μόνωση αερίου (GIS) ως προς τις ταλαντευόμενες υπερτάσεις	73
3.5.1. Το κύκλωμα δοκιμής και η κυματομορφή του	73
3.5.2 Αποτελέσματα δοκιμών	75
3.6 Συμπεράσματα	76
Κεφάλαιο 4°	79
Επίδραση του περιβάλλοντος μέσου και η συμπεριφορά της λειτουργίας αντιστάσεων μεταλλικού οξειδίου (MO) σαν απαγωγείς υψηλής τάσης	79
Περίληψη	79

4.1 Ορολογία - λέξεις κλειδιά	80
4.2 Εισαγωγή	80
4.3 Διαδικασία της δοκιμής	83
4.3.1. Αντιστάσεις μεταλλικού οξειδίου που εξετάστηκαν	83
4.3.2. Τεστ γήρανσης (επιταχυνόμενης καταπόνησης)	84
4.4 Συμπεριφορά σε περιβάλλον με αέρια	86
4.4.1. Επίδραση της υγρασίας	86
4.4.2. Επίδραση από περιβάλλοντα διαφορετικών αερίων	87
4.4.3. Αποτελέσματα από προηγούμενες εργασίες	88
4.4.4. Επιπρόσθετες έρευνες	89
4.4.5. Συζήτηση	92
4.5 Συμπεριφορά του αέρα με προϊόντα αποσύνθεσης και του SF6 με προϊόντα αποσύνθεσης	94
4.5.1. Επίδραση του αέρα με προϊόντα αποσύνθεσης	94
4.5.2. Επίδραση του SF6 με προϊόντα αποσύνθεσης	96
4.6 Εξέταση ολοκληρωμένων απαγωγέων υπέρτασης	97
4.7 Συμπεράσματα	100
Βιβλιογραφία	102

Κεφάλαιο 1°

Απαγωγείς υπέρτασης σε υποσταθμούς μονωμένους με αέριο υψηλής τάσης (Gas - Insulated Substation).

1. Περίληψη

Επειδή η μόνωση στο σύνολό της σε έναν υποσταθμό με μόνωση αερίου, συμπεριλαμβανομένου και του αερίου, θεωρείται μη αυτοεπανορθούμενη θα πρέπει να υπάρχει συντονισμός όλων των τμημάτων του σταθμού έτσι ώστε να υπάρχει προστασία αυτού από τις υπερτάσεις.

Η πιο κρίσιμη περίπτωση προστασίας για απαγωγέα στην αρχή (είσοδο) της γραμμής είναι ο συνδυασμός ενός ανοικτού διακόπτη και μιας εισερχόμενης στο κεραυνό υπέρτασης. Για προστασία με απαγωγείς σε υπάρχοντες σταθμούς που συνδέονται με εναέριες γραμμές έχουν πραγματοποιηθεί δύο προσεγγίσεις. Σε πολλές περιπτώσεις η προστασία επιτυγχάνεται με συμβατικούς απαγωγείς στην αρχή της γραμμής. Σε άλλες περιπτώσεις εξαιτίας των μεγάλων διαδρομών των ζυγών και / ή της επιθυμίας για υποδιαίστερο (ποιοτικά χαμηλότερο) σχεδιασμό της κρουστικής στάθμης μόνωσης κεραυνών BIL εφαρμόζοντας ειδικοί απαγωγείς υπέρτασης με μόνωση αερίου οι οποίοι

τοποθετούνται σε μέρη του υποσταθμού έτσι ώστε να υπάρχει ιδανική προστασία. Η αντοχή της μόνωσης ορίζεται σαν το μέγιστο εύρος της τυποποιημένης κρουστικής τάσης κεραυνού 1,2/50 μδ θετικής και αρνητικής πολικότητας που μπορεί να αντέξει η μόνωση μιας συσκευής. Το εύρος της τάσης αυτής καλείται κρουστικής στάθμη μόνωσης κεραυνών Bil (Basic Lightning Impulse Insulation Level - Bil).

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες οι οποίοι είναι απαραίτητοι για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των εσωτερικών απαγωγέων GIS. Ειδικές βαθμώσεις της τάσης θα πρέπει να εφαρμόζονται έτσι ώστε να αντισταθμίζεται η γειννίαση του δοχείου με το έδαφος. Στην περίπτωση βλάβης του απαγωγέα θα πρέπει να επιτυγχάνεται μείωση της πίεσης έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τόσο οι βλάβες στον υποσταθμό, όσο και οι επιπτώσεις στο προσωπικό συντήρησης που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση. Εάν η σχεδίαση του απαγωγέα είναι τέτοια που να χρησιμοποιεί ένα εσωτερικό αέριο διαφορετικό από το μονωτικό υπό πίεση αέριο του υποσταθμού, τότε θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη κατά την συντήρηση για τον εντοπισμό διαρροών του μονωτικού αερίου μέσα στον απαγωγέα.

Οι εσωτερικοί απαγωγείς λειτουργούν σε αρκετές εγκαταστάσεις GIS στην Βόρεια Αμερική με εύρος από 115 KV έως 550 KV. Υποσταθμοί με μόνωση αερίου λειτουργούν και στην Ελλάδα στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη.

1.1. Εφαρμογή

Όλα τα στοιχεία μόνωσης σε έναν υποσταθμό με μόνωση αερίου συμπεριλαμβανομένου αυτού του ίδιου ζυγού με μόνωση αερίου, δεν επανέρχονται μόνα τους.

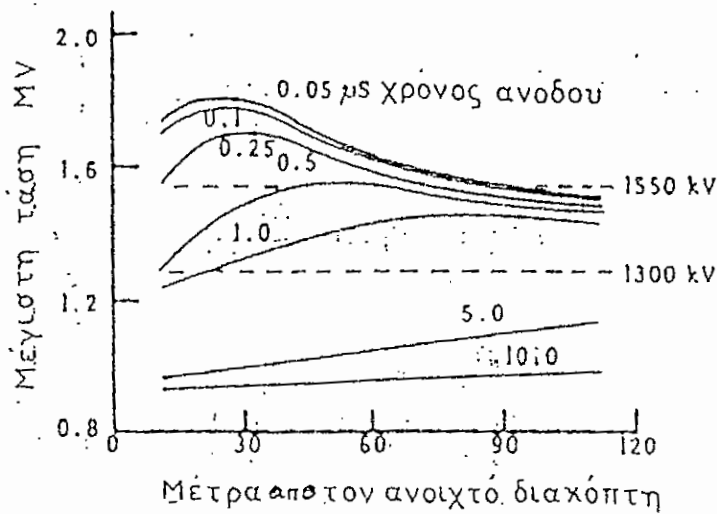
Έτσι η συνήθης συνέπεια του σφάλματος της μόνωσης και του συνακόλουθου σφάλματος στο ρεύμα ισχύος είναι η διακοπή της λειτουργίας κατά τη διάρκεια του χρόνου των επισκευών. Συνεπώς η προστασία από υπερτάσεις πρέπει να συντονίζεται έτσι ώστε να λαμβάνονται υπ' όψη οι χειρότερες - συνθήκες σφάλματος για ολόκληρο τον υποσταθμό και όχι μόνο για τους Μετασχηματιστές (Μ/Σ). Οποιαδήποτε βλάβη λόγω υπέρτασης υποτίθεται ότι καταλήγει σε παρατεταμένη διακοπή της λειτουργίας και σε επισκευές που στοιχίζουν ακριβά.

Οι περιορισμοί σχεδίασης που επικρατούν σχετικά με τον σχεδιασμό της μόνωσης και την προστασία έναντι υπέρτασης σε ένα υποσταθμό με μόνωση αερίου (GIS), αφορούν επαγώμενες υπερτάσεις από κεραυνό. Οι περισσότερες εκτιμήσεις σχετικά με την αύξηση της αντοχής της μόνωσης σε έναν GIS για μικρούς χρόνους ανόδου μέχρι και ένα μικροδευτερόλεπτο (μs) είναι από αρνητικές μέχρι αρκετά συγκρατημένες. Οι ανακλάσεις με απότομο μέτωπο από τις ασυνέχειες της σύνθετης αντίστασης υπέρτασης μέσα σε ένα υποσταθμό που γίνονται περισσότερο αντιληπτές σε έναν ανοιχτό διακόπτη - μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην τάση προστασίας από υπέρταση του απαγωγέα και του μεγέθους της υπέρτασης. Τα

Η περισσότερο οριακή παράμετρος πάνω στην οποία βασίζεται η μελέτη σχεδιασμού της μόνωσης ενός GIS είναι ο μέγιστος ρυθμός αύξησης της υπέρτασης που μπορεί να φθάσει στην είσοδο του υποσταθμού. Τόσο το επίπεδο προστασίας του απαγωγέα όσο και η επίδραση της απόστασης του απαγωγέα από απομακρυσμένα σημεία στον υποσταθμού, αυξάνοντας με τους αυξανόμενους ρυθμούς αύξησης της υπέρτασης. Τα προηγούμενα κεφάλαια ασχολούνται με τις μεθόδους προσδιορισμού αυτού του μέγιστου ρυθμού αύξησης λαμβάνοντας υπόψη Σφάλματα θωράκισης, φαινόμενα ανάστροφων βραχυκυκλωμάτων την ελάχιστη διαδρομή μέχρι τον σταθμό, την αντίσταση της γείωσης και την απόσβεση της κορόνας του μπροστινού τμήματος. Οι χρόνοι ανόδου σπάνια είναι μικρότεροι από 0,5 μικροδευτερόλεπτα (μs) και για την περίπτωση όπου υπάρχει μια απόσταση αρκετών εκατοντάδων μέτρων από την είσοδο του σταθμού, η κορόνα θα οδηγήσει στην εξασθένηση αυτής της τιμής μέχρι 1,0 μικροδευτερόλεπτα (μs), ή περισσότερο.

Η επίδραση - το αποτέλεσμα - της θέσης του απαγωγέα μπορεί να προσδιοριστεί με την υπόθεση ενός εισερχόμενου μετώπου (κύματος) και την μελέτη μοντέλων, ενώ επίσης μπορούν να προσδιοριστούν οι επιδράσεις και το επίπεδο προστασίας του απαγωγέα και των διάφορων λειτουργικών διατάξεων του υποσταθμού. Το σχήμα 1.2 απεικονίζει δημοσιευμένα αποτελέσματα μιας τέτοιας μελέτης για μια διάταξη GIS των 550 KV. Με ένα απαγωγέα των 396 KV στην είσοδο της γραμμής παριστάνεται γραφικά η μέγιστη τάση σε σχέση με την απόσταση

από έναν ανοιχτό διακόπτη για διάφορους χρόνους ανόδου της εισερχόμενης υπέρτασης. Οι μη πρακτικοί γρήγοροι χρόνοι ανόδου κάτω από τα 0,5 μικροδευτερόλεπτα αποτελούν ενδιαφέρον στοιχεία μόνο από ακαδημαϊκής πλευράς.



Σχήμα 1.2. Μέγεθος της μέγιστης τάσης σε έναν ανοιχτό διακόπτη σε συνάρτηση με το χρόνο ανόδου και την απόσταση του ζυγού από τον απαγωγέα στην είσοδο της γραμμής.

Οι περισσότεροι σε λειτουργία υποσταθμοί προστατεύονται επαρκώς μόνο με μετασχηματιστές με απαγωγέα στην αρχή της γραμμής. Η επίδραση λόγω απομάκρυνσης είναι μικρότερη σε σχέση με έναν ανοιχτό υποσταθμό λόγω της χαμηλής σύνθετης αντίστασης υπέρτασης του GIS που είναι από 60 μέχρι 75 Ohm. Από την άλλη η επίπτωση του υποβιβασμού της κρουστικής

στάθμης μόνωσης κεραυνών BIL μέσω απαγωγέων που τοποθετούνται εσωτερικά, θα πρέπει να μελετηθεί με μεγάλη προσοχή. Το BIL είναι κυρίως μια συνάρτηση της διαμέτρου του περιβλήματος συγκράτησης σε ένα ζυγό όπου το κόστος αυξάνει σημαντικά με την αύξηση της διαμέτρου.

Οι ίδιες παράμετροι που έχουν σχέση με την κατανομή στο χώρο και με την αισθητική και οι οποίες κατά την επιλογή εγκατάστασης ενός υποσταθμού με μόνωση αερίου, είναι αυτές που συχνά καθορίζουν εάν η τροφοδοσία του σταθμού γίνει με υπόγειο καλώδιο ή με εναέρια γραμμή. Εξαιτίας του ότι η εξασθένηση των κυμάτων είναι αρκετά μεγάλη στα στρογγυλά καλώδια, είναι πιθανό ότι οι περισσότερες διατάξεις αυτού του τύπου μπορούν να προστατευθούν μόνο με απαγωγείς μετασχηματιστών. Αυτό είναι σημαντικό από οικονομικής απόψεως αφού εάν χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν απαγωγείς στην αρχή του καλωδίου θα είναι από τους πιο ακριβούς εσωτερικούς απαγωγείς τύπου GIS.

1.2. Σχεδιασμός εσωτερικούς απαγωγέα GIS

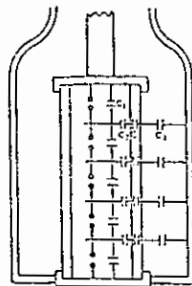
Ο σχεδιασμός και οι εφαρμογές των εσωτερικών απαγωγέων GIS έχει σχέση με αρκετούς παράγοντες. Ο πρώτος από αυτούς τους παράγοντες είναι οικονομικός. Ο σχεδιασμός των ρευμάτων σε απαγωγείς με μεταλλική επένδυση οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί σε υποσταθμούς είναι μεγαλύτερου κόστους σε σχέση με τον σχεδιασμό των συμβατικών απαγωγέων που τοποθετούνται στην αρχή της γραμμής. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει μια αντιστάθμιση όλων των πλεονεκτημάτων σε σχέση με το

αυξημένο κόστος εγκατάστασης. Όσον αφορά των σχεδιασμό ενός απαγωγέα GIS μπορούμε να διακρίνουμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η μία είναι ο σχεδιασμός των ενεργών τμημάτων - διακένων, κομματιών και τμημάτων διαβάθμισης - για λειτουργία μέσα στο μονωτικό μέσο αερίου του υποσταθμού. Η άλλη προσέγγιση αφορά την εγκατάσταση ενός συμβατικού απαγωγέα με το ανάλογο εσωτερικό αέριο ή άζωτο που είναι καλά σφραγισμένο, μέσα σε ένα υπό πίεση δοχείο ανάσχεσης του GIS, όπου το μονωτικό αέριο χρησιμοποιείται μόνο σαν περίβλημα του απαγωγέα στην αντοχή της μόνωσης του δοχείου ανάσχεσης (συγκράτησης). Όλοι οι απαγωγείς που κυκλοφορούν στο εμπόριο και έχουν εγκατασταθεί στη Βόρεια Αμερική είναι αυτού του τύπου. Παρόλο που έχει γίνει αναφορά στην σχεδίαση ενός απαγωγέα διακένου για λειτουργία σε αέριο εξοφθοριούχο θείο SF₆ υπό πίεση, σημαντική εγγύηση αποτελεί η ανάπτυξη διακένου περιορισμού ρεύματος. Η αναπτυσσόμενη τεχνολογία των μεταβλητών αντιστάσεων (VARISTORS) για απαγωγείς υπέρτασης υψηλών τάσεων γίνεται όλο και πιο αποδεκτή για την λειτουργία ενός συστήματος GIS.

1.3.1. Διαβάθμιση της τάσης

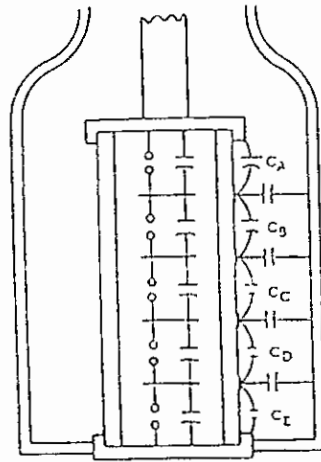
Το σχήμα 1.3. παριστάνει σχηματικά τις παραμέτρους διαβάθμισης της τάσης για έναν συμβατικό απαγωγέα. Εξαιτίας του ότι η εσωτερική επένδυση - περίβλημα - του απαγωγέα απέχει μόνο μερικά εκατοστά από το δοχείο συγκράτησης, η χωρητικότητα της ως προς το δοχείο είναι πολύ μεγάλη. Το

αποτέλεσμα μιας τέτοιας χωρητικότητας σε συνδυασμό με τις εν σειρά χωρητικότητες του απαγωγέα, είναι η κατανομή της τάσης κατά μήκος του εξωτερικού περιβλήματος του απαγωγέα κατά ανομοιόμορφο τρόπο με μια πολύ μεγάλη αξονική πεδιακή ένταση κοντά στο άκρο της ενεργοποιημένης γραμμής και με μια πολύ χαμηλή αξονική πεδιακή ένταση κοντά στο κατώτερο άκρο. Στο εσωτερικό του ο απαγωγέας (παρατηρούνται σειρές από διάκενα σπινθήρα) παρουσιάζει διαβαθμίσεις ως προς την χωρητικότητα μέχρις ότου να επιτευχθεί η απαιτούμενη ομοιόμορφη πεδιακή ένταση από την γραμμή ως το έδαφος. Θεωρητικά είναι δυνατόν να καθοριστεί η αναλογία αυτής της εσωτερικής διαβάθμισης ως προς την χωρητικότητα έτσι ώστε να αποφευχθούν οι οριζόντιες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις (παρίσιτα) και να επιτευχθεί μια ομοιόμορφη εσωτερική αξονική πεδιακή ένταση. Όμως αυτό θα οδηγούσε στην δημιουργία υψηλών οριζόντιων τάσεων από τα εσωτερικά τμήματα του απαγωγέα προς το εσωτερικό τοίχωμα του πορσελάνινου περιβλήματος του απαγωγέα με αποτέλεσμα τον οξύ ιονισμό του εσωτερικού απαγωγέα.



Σχήμα 1.3. Μη αντισταθμισμένος απαγωγέας υπέρτασης GIS

Η προσέγγιση η οποία εφαρμόζεται σε όλους τους γνωστούς ή προτεινόμενους σχεδιασμούς απεικονίζεται στο σχήμα 1.4. Μια αντισταθμιστική διάταξη ρύθμισης της χωρητικότητας τοποθετείται στο εξωτερικό του περιβλήματος του απαγωγέα. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη πεδιακή ένταση στο εσωτερικό του απαγωγέα και όλη η οριζόντια τάση συγκεντρώνεται στην περιοχή του υπό πίεση μονωτικού αερίου.



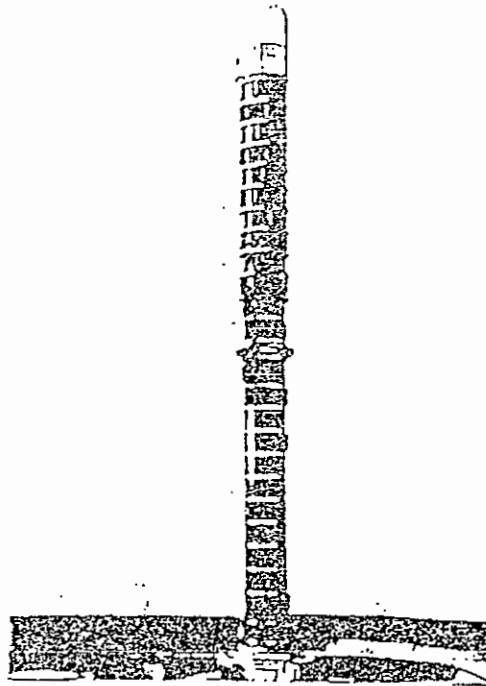
Σχήμα 1.4. Αντισταθμισμένος απαγωγέας υπερτάσης GIS
($C_A > C_B > C_C > C_D > C_E$).

Η εικόνα 1.5 είναι μια φωτογραφία ενός απαγωγέα των 396 KV για λειτουργία στα 550 KV. Σε αυτή την ειδική σχεδίαση η αντισταθμιστική ρύθμιση της χωρητικότητας επιτυγχάνεται με κεραμικούς πυκνωτές οι οποίοι τοποθετούνται στο εξωτερικό

μέρος του περιβλήματος ενώ η ηλεκτρική τους σύνδεση γίνεται με μεταλλικές ταινίες. Η χωρητικότητα κυμαίνεται από 100 pF στο κατώτερο τμήμα της έως αρκετές χιλιάδες pF κοντά στο άκρο της γραμμής.

Σε περιπτώσεις άλλων σχεδιασμών έχει προταθεί η χρήση βαθμονομημένων εξαρτημάτων θεράκισης έξω από την πορσελάνη έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η αντισταθμιστική χωρητικότητα.

Έχει επίσης δειχθεί ότι μια σχεδίαση με Metal Oxide Varistors (MOV), χωρίς διάκενα απαιτεί κάποια παρόμοια διάταξη αντιστάθμισης, έτσι ώστε να αποφευχθεί υπερφόρτιση λόγω διαρροής ρεύματος στα ανώτερα τμήματα.



Σχήμα 1.5. Απαγωγέας υπέρτασης 396 KV πριν από την εγκατάσταση στο δοχείο ανάσχεσης (συγκράτησης).

1.2.2. Μείωση της πίεσης

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές πρακτικές θεωρίες σχετικά με τον τρόπο μείωσης της πίεσης στην περίπτωση βλάβης - αστοχίας - σε έναν απαγωγέα. Αυτές κυμαίνονται μεταξύ των ορίων που περιγράφονται παρακάτω:

1. Με σκοπό την προστασία της ακεραιότητας του συστήματος μόνωσης με αέριο, ολόκληρος ο εξαερισμός βρίσκεται μακριά από το κάτω τμήμα του απαγωγέα και προς την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα.
2. Με σκοπό την αποφυγή οποιουδήποτε κινδύνου (συμπεριλαμβανομένων και πιθανών υποπροϊόντων τοξικών αερίων) για το προσωπικό, υπάρχει εξαερισμός μόνο μέσα στο δοχείο συγκράτησης (ανάσχεσης), ρυθμισμένος έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ομοιομορφία στο αέριο τόσο από την αύξηση της πίεσης όσο και από ένα τόξο το οποίο καταλήγει στην εσωτερική του επιφάνεια.

Ο πρώτος τρόπος μπορεί να εφαρμοστεί μόνο όταν η διάρκεια και το μέγεθος της βλάβης στο ρεύμα είναι μετρίου βαθμού. Με τον εξαερισμό να περιορίζεται μόνο στο κατώτερο τμήμα, η δυσκολία διατήρησης της ακεραιότητας της πορσελάνης λόγω της θερμικής επίδρασης τόσο από την πίεση όσο και από την δημιουργία ηλεκτρικού τόξου εξαιτίας βλάβης, αυξάνεται με την τάση του συστήματος (μήκος απαγωγέα), με το μέγεθος της βλάβης και με την διάρκεια της βλάβης του ρεύματος.

Ο δεύτερος τρόπος είναι πρακτικά εφαρμόσιμος σε απεριόριστα

μεγέθη όσον αφορά την βλάβη του ρεύματος και την διάρκεια της βλάβης. Το τμήμα του δοχείου συγκράτησης το οποίο δεν περιέχει αέριο και μέσα στο οποίο μπορεί να διοχετευθεί αέριο που δημιουργείται από βλάβη, είναι περίπου ίσο με 10 φορές από τον όγκο στο εσωτερικό του απαγωγέα. Εάν ο εξαερισμός προέρχεται από το ενεργοποιημένο άκρο του απαγωγέα, τότε δημιουργείται αμέσως ένα τόξο παράκαμψης της βλάβης από το άκρο της γραμμής έως το κάλυμμα (περίκλειστο) που βρίσκεται μερικά εκατοστά πιο μακριά. Για να επιταχυνθεί αυτή η παράκαμψη και προκειμένου να αποφευχθεί καταστροφή του τόξου, αυτό το κενό των λίγων εκατοστών είναι δυνατόν να συνδεθεί είτε μέσω μιας εξωτερικά συνδεόμενης συσκευής η οποία ηλεκτρονομείται από ρεύμα βλάβης, η μέσω μιας ενσωματωμένης εσωτερικής συσκευής στο άκρο της γραμμής του απαγωγέα όπου πάλι και στην περίπτωση αυτή η λειτουργία προκαλείται από το ρεύμα βλάβης.

1.2.3. Κριτήρια Συντήρησης

Το κύριο μέρος της σχεδίασης καθώς και το κριτήριο λειτουργίας για έναν απαγωγέα ο οποίος θα πρέπει να έχει καλή λειτουργία και στον οποίο απαγωγέα το εσωτερικό αέριο είναι διαφορετικό από το υπό πίεση μονωτικό αέριο του υποσταθμού, είναι η εξασφάλιση αξιόπιστων συνθηκών ερμητικής σφράγισης του αερίου για όλη την διάρκεια ζωής του. Για παράδειγμα μια πρόσθεση στον αέρα ή στο άζωτο ενός συμβατικού απαγωγέα, κατά μία ποσότητα μικρότερη από 1% (ένα επί τοις εκατό) SF₆

αερίου, θα έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση της προστατευτικής του αντίστασης στη διάσπαση του διακένου κατά αρκετό ποσοστό επί τοις εκατό. Επομένως οποιοδήποτε τμήμα του απαγωγέα εκτίθεται στο υπό πίεση μονωτικό αέριο θα πρέπει να διαθέτει μια ερμητική σφράγιση. Με σκοπό τον έλεγχο της ανταπόκρισης ως προς την προστασία των απαγωγέων που βρίσκονται σε λειτουργία, υπάρχουν αρκετές συσκευές με μικρής ακρίβειας διάκενο σπινθήρος οι οποίες τοποθετούνται εντός του σφραγισμένου απαγωγέα που όμως είναι ηλεκτρικά προσπελάσιμες μέσω ενός μικρού μονωτικού σωλήνα προστασίας καλωδίων (δαχτυλίδι). Περιοδικές μετρήσεις διάσπασης σε αυτό το διάκενο μέσω μιας φορητής συσκευής υψηλού δυναμικού (hi-pot) είναι δυνατόν να επιβεβαιώσουν την συνεχόμενη προστασία του απαγωγέα. Μια εναλλακτική προσέγγιση σχεδίασης αφορά έναν απαγωγέα ο οποίος αποτελείται από δύο συγκεντρικά (ομόκεντρα) περιβλήματα όπου ο δακτυλιοειδής χώρος μεταξύ των δύο αυτών περιβλημάτων είναι ανοιχτός προς την ατμόσφαιρα.

1.3. Άλλες εφαρμογές

Εκτός από το ότι η εφαρμογή των εσωτερικών απαγωγέων υπέρτασης σε έναν GIS σε γενικές γραμμές παραβλέπεται έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή προστασία, διαθέτει επίσης και μερικά άλλα πλεονεκτήματα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω κατά την περίπτωση βλάβης η μείωση της πίεσης μπορεί να περιοριστεί στο σύνολο της μέσα στο δοχείο συγκράτησης

(ανάσχεσης). Ειδικότερα στις υψηλότερες τάσεις, οι απαγωγείς υπέρτασης στην είσοδο της γραμμής μοιάζουν να είναι συμπαγείς. Ο απαγωγέας με μεταλλική επένδυση είναι απρόσβλητος κατά την λειτουργία του από επιρροές λόγω μεταβολής της ατμόσφαιρας (μόλυνση) ή επιρροές ηλεκτροστατικής φύσεως.

Κεφάλαιο 2

Προδιαγραφές αντικεραυνικής προστασίας μεταβατική υπέρταση από κεραυνό για έναν υποσταθμό 500 KV μονωμένο με αέριο (GIS)

Περίληψη

Αυτή η εργασία αναφέρεται στα αποτελέσματα μιας συντονισμένης μελέτης σχετικά με την μόνωση υποσταθμών 500 KV με μόνωση αερίου. Η μελέτη αυτή είναι πιο περιεκτική σε σχέση με άλλες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα επειδή περιλαμβάνει επίσης και την εναέρια γραμμή που συνδέεται με τον υποσταθμό ενώ έγινε προσπάθεια προκειμένου να προβλεφθεί το πλάτος και ο χρόνος ανόδου των εισερχόμενων υπερτάσεων. Επιλέχθηκε μια μεγάλη ποικιλία πιθανών διατάξεων κυκλωμάτων. Σαν βασική συσκευή προστασίας επιλέχθηκε ένας απαγωγέας 396 KV.

Μια μελέτη σχετική τόσο με ανάστροφα βραχυκυκλώματα όσο και με τα σφάλματα θωράκισης σε μια εναέρια γραμμή οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τάσεις πάνω από 3.000 KV θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στους αγωγούς φάσης. Όμως ο απαγωγέας

υπέρτασης ήταν αποτελεσματικός όσον αφορά την συσσώρευση αυτών των υπερτάσεων σε τιμές προσεγγιστικές με αυτές των 1300 και 1550 KV ενώ παρατηρήθηκε ότι η αύξηση χρόνου του μετώπου του κύματος ήταν πιο σημαντική παράμετρος σε σχέση με το πλάτος. Όταν λαμβάνεται υπ' όψη η επίδραση της κορόνας φαίνεται απίθανη η εφαρμογή στον υποσταθμό κυμάτων τάσεως με χρόνους ανόδου μικρότερους από ένα μικροδευτερόλεπτο (μs).

Οι μεγαλύτερες υπερτάσεις δημιουργήθηκαν όταν τα εισερχόμενα κύματα συνάντησαν ανοιχτούς διακόπτες μέσα στον υποσταθμό. Το πλάτος της υπέρτασης είναι μια συνάρτηση τόσο της απόστασης από το ανοιχτό διακόπτη, όσο και από τον χρόνο ανόδου του μετώπου του κύματος ενώ μια προσεγγιστική τιμή των 1400 KV θα μπορούσε να εφαρμοστεί στον υποσταθμό. Όταν δεν υπάρχουν καθόλου ανοιχτοί διακόπτες οι υπερτάσεις είναι κατά πολύ χαμηλότερες και σε γενικές γραμμές δεν υπερβαίνουν την τιμή των 1200 KV. Υπερτάσεις μετασχηματιστών σε γενικές γραμμές δεν ξεπερνούν τα 1200 KV.

Στις περισσότερες περιπτώσεις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα υποσταθμός με κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών BIL 1300 KV όμως στην περίπτωση αυτή οι υπερτάσεις πλησιάζουν πολύ το επίπεδο μόνωσης. Ένα σύστημα 1550 KV BIL είναι πολύ πιο ασφαλές και μπορεί να λειτουργήσει αξιόπιστα κάτω από όλες τις δυνατές συνθήκες λειτουργίας.

2.1. Εισαγωγή

Κατά την σχεδίαση σύγχρονων συστημάτων μετάδοσης πολύ υψηλής τάσης, συμπεριλαμβανομένων και των υποσταθμών, οι τάσεις που καταπονούν διηλεκτρικά είναι αυτές που καθορίζουν τις προδιαγραφές της μόνωσης. Επίσης το σύστημα της μόνωσης είναι δυνατόν να καταπονείται από παρατεταμένες υπερτάσεις του επιπέδου των 60 Hz, από υπερτάσεις χειρισμών που προκαλούνται από την λειτουργία του συστήματος όπως και από υπερτάσεις που σχετίζονται με κεραυνούς. Ακόμη είναι δυνατόν οι υποσταθμοί να υπόκεινται σε μεγάλες υπερτάσεις εξαιτίας ασυνεχειών του κυκλώματος και του εξοπλισμού οι οποίες για παράδειγμα είναι δυνατόν να έχουν ως αποτέλεσμα τον διπλασιασμό των κυμάτων που φτάνουν στους ανοιχτούς διακόπτες. Η προστασία με την μορφή αλεξικέραυνων είναι επίσης εφικτή, αλλά όμως υπάρχει ένα πρόβλημα το οποίο πρέπει να λυθεί και το οποίο αφορά τον συντονισμό των ρυθμίσεων του απαγωγέα, της τοποθεσίας του απαγωγέα και το Βέλτιστο επίπεδο μόνωσης του υποσταθμού.

Τα συστήματα μόνωσης με αέριο πλεονεκτούν σε σχέση με τις συμβατικές σχεδιάσεις στο ότι είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση που αφορά τόσο την περιοχή (έκταση υποσταθμού) όσο και το ύψος ενώ επίσης ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η απουσία ατμοσφαιρικής μόλυνσης στις επιφάνειες της μόνωσης ενώ στις μεγαλύτερες τάσεις υπάρχει η πιθανότητα μείωσης του κόστους. Λόγω του ότι ένα σύστημα με μόνωση

αερίου είναι εσώκλειστο, υπάρχει πλεονέκτημα από οικονομική άποψη αφού είναι δυνατή η μείωση του μεγέθους του περιβλήματος εις βάρος των μεγαλύτερων ηλεκτρικών βαθμίδων της εσωτερικής μόνωσης. Επομένως θα πρέπει να προσδιορίζονται προσεκτικά οι τάσεις έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή ισορροπία ανάμεσα στον οικονομικό παράγοντα και στο είδος της μόνωσης.

Στα 500 KV οι επαγόμενες τάσεις από κεραυνό είναι η κύρια παράμετρος σχεδίασης η οποία καθορίζει και τις βασικές παραμέτρους του υποσταθμού. Κύματα με απότομο μέτωπο είναι εξαιρετικά επικίνδυνα λόγω των πολλαπλών ανακρίσεων από ασυνέχειες μέσα στον υποσταθμό που είναι δυνατόν να προκαλέσουν μεγάλες διαφορές στην τάση μεταξύ των αλεξικεραύνων και των άλλων τοποθεσιών εντός του υποσταθμού. Οι υπερτάσεις χειρισμών έχουν σχετικά αργά μέτωπα και ο υποσταθμός με μόνωση αερίου συμπεριφέρεται σαν πυκνωτής οι μεγάλες διαφορές δυναμικού οι οποίες παρατηρούνται κατά την διάρκεια των πρώτων απότομων υπερτάσεων λόγω κεραυνού. Δε συμβαίνουν κατά την διάρκεια των υπερτάσεων χειρισμών. Στην περίπτωση των επαγόμενων υπερτάσεων από κεραυνό είναι συνήθως να χρησιμοποιείται η μικρότερη δυνατή διαβάθμιση του απαγωγέα. Όμως η επιλογή θα πρέπει να συνδυάζεται με τις υπερτάσεις των 60 Hz και τις υπερτάσεις χειρισμών οι οποίες δημιουργούνται μέσα στο σύστημα και οι οποίες συνήθως καθορίζουν την διαβάθμιση του απαγωγέα.

Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή η προαναφερόμενη ελάχιστη

διαβάθμιση του απαγωγέα η οποία βασίστηκε σε παρατεταμένες υπερτάσεις και μετά την οποία ακολούθησε ανάλυση της υπέρτασης χειρισμών οδήγησε στον προσδιορισμό των προδιαγραφών ενεργειακής αποφόρτισης του απαγωγέα. Έγινε προσδιορισμός των μεταβατικών υπερτάσεων που προέρχονται από τους κεραυνούς, ενώ αναλύθηκαν χαρακτηριστικές διατάξεις υποσταθμών με σκοπό τον προσδιορισμό των προδιαγραφών προστασίας από υπερτάσεις. Οι προδιαγραφές προσδιορίστηκαν για μονώσεις τόσο στα 1550 KV όσο και στα 1300 KV.

2.2. Έννοιες σχετικές με τη διαβάθμιση της μόνωσης

2.2.1. Στοιχεία του συστήματος

Η έννοια του σχεδιασμού σχετικά με την μόνωση αφορά τον συνδυασμό των διαφόρων ειδών μόνωσης και του εξοπλισμού προστασίας που είναι διαθέσιμα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται το επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος. Το σύστημα περιλαμβάνει την γραμμή, πυλώνες, καλώδια, μονωτήρες, τις κατασκευές του υποσταθμού και τον τερματικό εξοπλισμό.

Εάν ληφθούν υπ' όψη μόνο οι επαγόμενες υπερτάσεις από κεραυνό, η συχνότητα εμφάνισης υπέρτασης στον υποσταθμό είναι συνάρτηση της γραμμής, της σχεδίασης του πυλώνα όπως επίσης και του ισοκεραυνικού επιπέδου στην δεδομένη γεωγραφική περιοχή. Ο αριθμός των μονωτήρων της γραμμής

επιλέγεται έτσι ώστε να παρέχεται επαρκής μόνωση αλλά όχι υπερβολική.

Ο τερματικός εξοπλισμός όπως για παράδειγμα ένα μετασχηματιστής προστατεύονται συνήθως από αλεξικέραυνα έτσι ώστε να προληφθεί ο διπλασιασμός της τάσης.

Ο σχεδιασμός ενός υποσταθμού με μόνωση αερίου προϋποθέτει ότι αποτελεί ένα ουσιώδες τμήμα του συστήματος μόνωσης. Η μικρότερη σύνθετη αντίσταση υπέρτασης ενός υποσταθμού με μόνωση αερίου έχει την τάση να ελαττώνει τις διαφορές δυναμικού στα άκρα της γραμμής παρά να προκαλεί αύξηση της τάσης. Συνεπώς η παρουσία του υποσταθμού πρέπει να συμβάλει στις χαμηλότερες τάσεις στον υποσταθμό και στον τερματικό εξοπλισμό σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, επιτρέποντας τη μείωση του επιπέδου μόνωσης στον υποσταθμό. Όμως ανακλάσεις στο εσωτερικό του σταθμού είναι δυνατόν να κάνουν την κατάσταση πιο σύνθετη και συνεπώς στην περίπτωση αυτή απαιτείται προσεκτική μελέτη πριν από τον προσδιορισμό της σχεδίασης της μόνωσης.

Τα διάφορα είδη μόνωσης συνδέονται με διαφορετικές περιπτώσεις σφάλματος. Για παράδειγμα η μόνωση αγωγού, που είναι κυρίως αέρας είναι συνήθως αυτοαποκαθιστούμενου τύπου και ένα βραχυκύκλωμα (υπερπήδηση) δεν είναι δυνατόν να προκαλέσει μόνιμη πτώση τάσης. Οι μετασχηματιστές είναι κατά κανόνα δύσκολα επισκευάσιμοι και η επισκευή τους κοστίζει ενώ τείνουν να παρουσιάζουν μόνιμες βλάβες. Κατά συνέπεια προστατεύονται συνήθως από αλεξικέραυνα τα οποία

τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο κοντά στους μετασχηματιστές. Σε ένα σύστημα με μόνωση αερίου ένα σφάλμα στη μόνωση μπορεί ή όχι να προκαλέσει μόνιμη πτώση τάσης ανάλογα με την τοποθεσία του σφάλματος, το ρεύμα σφάλματος, την διάρκεια κλπ.

2.2.2. Προσέγγιση με πιθανότητες

Μια συνολική προσέγγιση με πιθανότητες, συνεπάγεται τον προσδιορισμό της πιθανότητας όπου τα διάφορα επίπεδα υπέρτασης θα προσκρούσουν στον υποσταθμό και τον υπολογισμό της πιθανότητας σφάλματος η οποία βασίζεται στα στατιστικά χαρακτηριστικά του συστήματος μόνωσης του υποσταθμού. Οι υποσταθμοί με μόνωση αερίου μπορούν να σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρουσιάζουν ένα επίπεδο αντοχής τουλάχιστον δύο τυπικών αποκλίσεων χαμηλότερο από το οριακό επίπεδο βραχυκυκλώματος έτσι ώστε μια υπέρταση η οποία υπερβαίνει το επίπεδο μόνωσης να μην σημαίνει απαραίτητα και σφάλμα. Όμως συνηθίζεται στην πράξη να διατηρείται το επίπεδο μόνωσης πάνω από το αναμενόμενο επίπεδο υπέρτασης.

Κατά την μελέτη παρατηρήθηκε ότι τα αλεξικέραυνα είχαν τον αποτελεσματικό έλεγχο των τάσεων στον υποσταθμό άσχετα με το μέγεθος των εισερχομένων υπερτάσεων. Αυτό τείνει στην μείωση του απρογραμματισμού των επιπέδων της υπέρτασης από κεραυνό και της υπέρτασης χειρισμών ενώ βοηθά στην απλοποίηση της ανάλυσης. Όμως δίνει μεγάλη έμφαση στην λειτουργία των απαγωγέων και στον εξοπλισμό μόνωσης του

υποσταθμού.

Στην περίπτωση κατά την οποία εξετάζονται τα πρώτα κύματα σε ένα σύστημα μόνωσης με αέριο, αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχέση τάσης - χρόνου. Μια αύξηση στην αντοχή για μικρά διαστήματα θα μπορούσε να μετριάσει το αποτέλεσμα των πρώτων μετώπων των κυμάτων αλλά όμως το θέμα αυτό είναι συζητήσιμο, ενώ δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι υπάρχει κάποια ουσιαστική αύξηση της αντοχής για χρόνους μετώπου των κυμάτων μικρότερους από μερικά δευτερόλεπτα.

2.3. Υπερτάσεις

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, όλοι οι υποσταθμοί υπόκεινται σε υπερτάσεις των 60 Hz, υπερτάσεις χειρισμών και σε επαγόμενες υπερτάσεις από κεραυνό. Τόσο για τις υπερτάσεις των 60 Hz όσο και για τις υπερτάσεις χειρισμών δεν υπάρχει ουσιαστικά καμία διαφορά στο πλάτος της τάσης μεταξύ των συμβατικών υποσταθμών και των υποσταθμών με μόνωση αερίου (εξαιτίας των μεγάλων χρόνων ανόδου). Η μελέτη TNA έδειξε ότι ένας απαγωγέας των 396KV ήταν επαρκής για όλες τις προεκτάσεις του προτεινόμενου συστήματος των 500KV. Η επιλογή του απαγωγέα των 396KV αποτελεί σημαντική απόφαση στα πλαίσια της ανάλυσης κεραυνών, διότι τα χαρακτηριστικά έναντι κεραυνών του απαγωγέα υπέρτασης είναι η πιο ουσιώδης παράμετρος κατά την μελέτη των υπερτάσεων.

2.3.1. Επαγόμενες υπερτάσεις από κεραυνό

Θα πρέπει στην περίπτωση αυτή να ληφθούν υπόψη τα σφάλματα θωράκισης και σφάλματα από ανάστροφα βραχυκυκλώματα. Σφάλματα θωράκισης συμβαίνουν όταν το κτύπημα από τον κεραυνό προσκρούει κατευθείαν στον αγωγό φάσης αντί να καταλήξει στον αγωγό προστασίας πιο επιτυχημένες αναλύσεις βασίζονται στο ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο σύμφωνα με το οποίο τα σχετικά ασθενή ρεύματα είναι τα μόνα τα οποία μπορούν να φτάσουν στον αγωγό φάσης ενώ τα ρεύματα μεγαλύτερης έντασης καταλήγουν στον αγωγό προστασίας.

Σφάλματα από ανάστροφα βραχυκυκλώματα προκαλούνται από την πρόσκρουση ισχυρών ρευμάτων στον αγωγό προστασίας ή στον πυθμένα δημιουργώντας έτσι μια μεταβατική τάση στο πάνω μέρος του πυλώνα.

Εάν η διαφορά ανάμεσα στην τάση σύζευξης του αγωγού φάσης και στην τάση στην κορυφή του πυλώνα, υπερβαίνει την αντοχή της μόνωσης της αλυσίδας μονωτήρων τότε θα δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα από τον αγωγό φάσης προς τον πυλώνα. Η πιθανότητα να συμβεί ανάστροφο βραχυκύκλωμα είναι συνάρτηση τόσο του ρυθμού αύξησης του πλάτους του πλήγματος από τον κεραυνό όσο και της αντίστασης γείωσης του πυλώνα. Τα δεδομένα σχετικά με το πλάτος του ρεύματος για κεραυνούς με μεγάλο πλάτος κύματος είναι αρκετά ελλιπή αλλά μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει μια μέση τιμή των 25 Κιλοαμπέρ

(KA) ενώ ο Porofansky πρότεινε μια λογαριθμική καμπύλη για τιμές πάνω από 100 Κιλοαμπέρ ένα άνω όριο είναι δυνατόν να θεωρηθεί περίπου η τιμή των 250 KA. Υπάρχει κάποια ένδειξη σχετικά με το ότι μεγαλύτεροι χρόνοι στην κορυφή σχετίζονται με μεγαλύτερης έντασης ρεύματα ενώ προτείνεται ένα ρυθμός αύξησης ίσος με 20 KA/ μικροδευτερόλεπτο. Η ελάχιστη τιμή για την πρώτη κορυφή είναι περίπου ίση με 0,5 έως 1,0 μικροδευτερόλεπτο.

2.3.2. Εναέρια γραμμή

Κατά την μελέτη αυτή εξετάσθηκε ουσιαστικά μια εναέρια γραμμή απλού κυκλώματος με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Ύψος Πυλώνα - 33,5μ (110 πόδια)
2. Ύψος Αγωγού Φάσης - 26,2 μ (86 πόδια)
3. Απόσταση Αγωγού φάσης - 10,7 μ (35 πόδια)
4. Απόσταση Αγωγού προστασίας - 15,9 μ (52 πόδια)
5. Είδος Αγωγού φάσης - 2493 Kcmil 54/37 ACAR (2 αγωγοί/φάση)
6. Μέσο άνοιγμα - 396 μ (1300 πόδια)

Υπάρχουν αρκετές ασάφειες στον υπολογισμό της σύνθετης (κυματικής) αντίστασης υπέρτασης για τα διάφορα στοιχεία πλην όμως υπολογίστηκαν οι παρακάτω τιμές οι οποίες εμφανίζονται αξιόπιστες:

Αγωγός φάσης - 300 Ohm

Αγωγοί προστασίας - 480 Ohm

Πυλώνας - 140 Ohm

Συντελεστής σύζευξης (Αγωγοί φάσης ως προς τον αγωγό προστασίας) -0,25

Καθώς οι υψηλές τάσεις διαδίδονται μέσω του αγωγού φάσης, η κορόνα από την μία εξασθενίζει το κύμα και από την άλλη επιβραδύνει το μέτωπο του κύματος. Με εξασθένιση και η παραμόρφωση των κυμάτων είναι συνάρτηση τόσο του πλάτους όσο και της απόστασης και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν προσδιορίζονται οι υπερτάσεις που εισέρχονται στον υποσταθμό.

2.3.3. Σφάλματα θωράκισης

Η «ηλεκτρογεωμετρική» έννοια προέρχεται από την σκέψη ότι μια απόσταση πρόσκρουσης « r » προσδιορίζει εάν το κτύπημα από έναν κεραυνό καταλήξει στον αγωγό φάσης ή κάπου αλλού. Αυτή η απόσταση πρόσκρουσης είναι η απόσταση της κατερχομένης κύριας κεφαλής από την γείωση όπου η μέση πεδιακή ένταση έχει μια οριακή τιμή η οποία οδηγεί σε σταμάτημα λόγω σφάλματος. Μέχρις ότου η κύρια κεφαλή να φτάσει την απόσταση πρόσκρουσης από την γείωση, δεν έχει καθοριστεί η κατεύθυνση του τελικού βήματος. Η μέγιστη τιμή της απόστασης πρόσκρουσης δίνεται από την εξίσωση:

$$r_{s \max} = 7,1 (I_{\max})^{0,75} \quad (1)$$

όπου το I_{\max} είναι σε ΚΑ και το $r_{s \max}$ είναι σε μέτρα.

Το κύριο ενδιαφέρον όταν έχουμε σφάλματα θωράκισης

σχετίζεται με το ότι μπορεί να υπολογιστεί μια μέγιστη τιμή ρεύματος και ότι όλα τα σφάλματα θωράκισης πρέπει να συμβούν σε χαμηλότερες τιμές ρεύματος.

Επιπλέον είναι δυνατός ο προσδιορισμός της μέγιστης τάσης αφού το ρεύμα από τον κεραυνό θα διαχωριστεί στον αγωγό φάσης, δημιουργώντας μια τάση ίση με το $\frac{1}{2}$ του ρεύματος του κεραυνού πολλαπλασιαζόμενο με την σύνθετη αντίσταση υπέρτασης της γραμμής.

Εάν χρησιμοποιηθούν μετρήσεις σχετικά με το πραγματικό ύψος του πυλώνα υπολογίζεται ότι η μέγιστη τιμή του ρεύματος κατά το σφάλμα θωράκισης είναι περίπου ίση με το 12.000 Ampere (A).

Εάν η σύνθετη (κυματική) αντίσταση υπέρτασης για τον αγωγό φάσης υπό συνθήκες κορώνας είναι 300 Ohms, αυτή αντιστοιχεί σε μια τιμή πλάτους των 1800 KV η οποία θα διοχετευθεί από το σημείο του σφάλματος προς τον υποσταθμό. Έτσι θα υπάρξει μια καθυστέρηση των κυμάτων της υπέρτασης. Για μια τιμή υπέρτασης των 1800 KV η καθυστέρηση λόγω κορόνας είναι περίπου ίση με 0,3 μικροδευτερόλεπτα για 304 μέτρα (1000 πόδια) έτσι ώστε ακόμη και για ένα κύμα από κεραυνό της τάξης των 0,5 μικροδευτερολέπτων, είναι σχεδόν αδύνατον να υπάρξουν κύματα με μέτωπα στους υποσταθμούς γρηγορότερα από ένα μικροδευτερόλεπτο. Έτσι σύμφωνα με το σκεπτικό αυτό ο μικρότερος χρόνος ανόδου ο οποίος εφαρμόζεται είναι ίσως με την τιμή του 1,00 μικροδευτερολέπτου.

Συνεχίζοντας την ανάλυση, έχουμε ότι ο ρυθμός του σφάλματος

θωράκισης για ένα ισοκεραυνικό επίπεδο των 40 έχει υπολογιστεί σαν 3,4/100 μίλια (16 χιλιόμετρα) / χρόνο. Η μόνωση σε ένα αγωγό για 25 μονωτήρες δείχνει ότι δεν θα συμβεί καμιά πτώση τάσης λόγω σφάλματος θωράκισης αφού απαιτούνται ρεύματα με τιμές μεγαλύτερες από 12000 Αμπέρ προκειμένου να δημιουργηθούν τάσεις στις οποίες συμβαίνουν βραχυκυκλώματα.

2.3.4. Σφάλματα από ανάστροφα βραχυκυκλώματα

Τα ανάστροφα βραχυκυκλώματα είναι συνάρτηση του ρυθμού αύξηση του ρεύματος από το πλήγμα του κεραυνού του πλάτους του ρεύματος, της σύνθετης αντίστασης του πυλώνα, της σύνθετης αντίστασης της συνδεδεμένης γείωσης και της αντίστασης γείωσης του πυλώνα. Μια άλλη παράμετρος είναι ο συντελεστής σύζευξης ανάμεσα στον αγωγό προστασίας και στον αγωγό φάσης που τροποποιείται από την επίδραση της κορόνας.

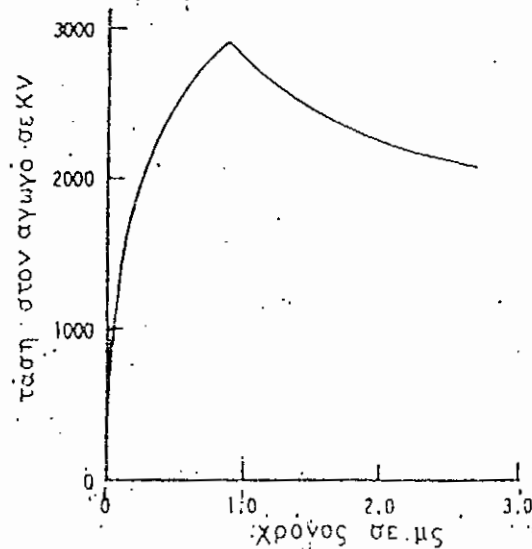
Χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό πρόγραμμα προκειμένου να μελετηθεί ένα μοντέλο με επτά πυλώνες γραμμής μετάδοσης υπό συνθήκες ανάστροφου βραχυκυκλώματος. Τα χαρακτηριστικά της αλυσίδας μονωτήρων τροποποιήθηκαν για 25 μονωτήρες χρησιμοποιώντας την εξίσωση

$$V_{fo} = 3513 t^{-0.23} \quad (2)$$

όπου το t είναι σε μικροδευτερόλεπτα και το V_{fo} σε KV.

Στο σχήμα 2.1. απεικονίζεται ένα τέτοιο ανάστροφο βραχυκύκλωμα όπου δείχνεται η τάση στον αγωγό φάσης διορθωμένη ως προς την τάση σύζευξης η οποία εκκενώνεται

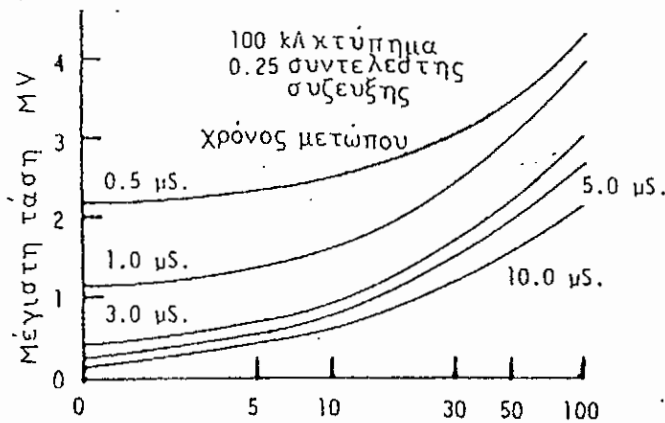
εντελώς, στους διπλανούς πυλώνες. Η τάση σύζευξης καθυστερεί και ίσως να παρεμποδίζει την εμφάνιση ανάστροφου βραχυκυκλώματος αλλά όμως δεν συνεισφέρει στην τάση του υποσταθμού.



Σχήμα 2.1. Τάση στον αγωγό φάσης μετά από ανάστροφο βραχυκύκλωμα όπου έχει γίνει διόρθωση ως προς την τάση σύζευξης.

Το μοντέλο που μελετήθηκε αφορούσε κύματα με κορυφές των 100 KA διαφόρων χρόνων μετώπου και για ποικίλες αντιστάσεις γείωσης του πυλώνα. Οι μετρήσεις σχετικά με τις αντιστάσεις γείωσης των πυλώνων λήφθηκαν από γραμμές ισχύος και φωτισμού των 500 KV στην Πενσυλβάνια (PP&L) Pennsylvania Power and Light και κυμαίνονται από 2 έως 250 Ohm. Ο πρώτος πυλώνας είναι συνεχώς συνδεδεμένος με την γείωση του υποσταθμού και συνεπώς παρουσιάζει μικρή αντίσταση γείωσης έτσι ώστε είναι αδύνατον να συμβεί ανάστροφο βραχυκύκλωμα στον πρώτο πυλώνα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτό είναι ένα γραμμικό μοντέλο, εκτός από τα χαρακτηριστικά του μονωτήρα,

τα προηγούμενα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να προσεγγιστεί σε ικανοποιητικό βαθμό το ρεύμα που απαιτείται έτσι ώστε να δημιουργηθεί επαρκής τάση υπό την οποία να δημιουργείται βραχυκύκλωμα στην αλυσίδα μονωτήρων. Στο σχήμα 2.2. απεικονίζεται η μέγιστη τάση σαν συνάρτηση της αντίστασης γείωσης του πυλώνα για διαφορετικούς χρόνους ανόδου. Για μικρές τιμές αντίστασης γείωσης του πυλώνα απαιτούνται πολύ μεγάλες τιμές ρεύματος για να δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα (υπερπήδηση) εάν το μέτωπο είναι πολύ απότομο. Από δεδομένα που έχουμε αποδεικνύεται ότι καθώς αυξάνεται το μέγεθος του ρεύματος το μέτωπο (κύματος) έχει την τάση να χαμηλώνει. Έτσι ένα πλήγμα κεραυνού 100 KA θα έχει ένα ελάχιστο χρόνο ανόδου - ίσο με 5 μικροδευτερόλεπτα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μόνο τα μεγαλύτερης έντασης ρεύματα μπορούν να υπερνικήσουν την βραδύτητα του μετώπου και να δημιουργήσουν ανάστροφο βραχυκύκλωμα.



Σχήμα 2.2. Τάση διαμέσου της αλυσίδας μονωτήρων σαν συνάρτηση της αντίστασης γείωσης του πυλώνα.

Στο παράρτημα II δίνονται λεπτομέρειες για τους υπολογισμούς ανάστροφου βραχυκυκλώματος και ο πίνακας I συμπεριλαμβάνει τις ελάχιστες τιμές ρεύματος που απαιτούνται έτσι ώστε να δημιουργηθεί ανάστροφο βραχυκύκλωμα σαν συνάρτηση τόσο της αντίστασης γείωσης του πυλώνα όσο και του ρυθμού αύξησης του ρεύματος.

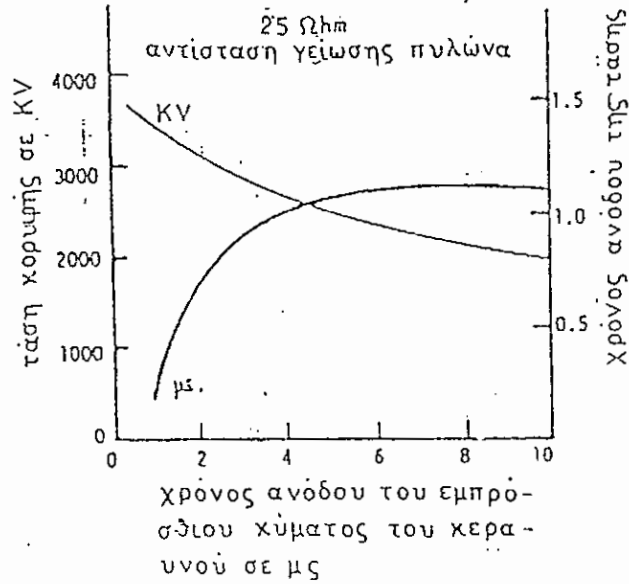
Πίνακας I

Ελάχιστο ρεύμα σε KA που απαιτείται για να δημιουργηθεί ανάστροφο βραχυκύκλωμα

Χρόνος ανόδου σε μs	1	3	5	10
Αντίσταση γείωσης του πυλώνα (Ohm)				
5	>250	>250	>250	>250
10	225	>250	>250	>250
15	210	>250	>250	>250
20	180	19	210	225
25	140	160	160	180

Όταν συμβαίνει ανάστροφο βραχυκύκλωμα έχουμε αρκετά απότομη αύξηση της τάσης στον αγωγό και το πλάτος της τάσης είναι πολύ μεγαλύτερο στην περίπτωση αυτή σε σχέση με την περίπτωση σφάλματος θωράκισης. Το σχήμα 2.3 δείχνει την τάση και τους χρόνους ανόδου για αντίσταση γείωσης του

πυλώνα ίση με 25 Ohm.



Σχήμα 2.3. Πλάτος και χρόνος ανόδου της τάσης του αγωγού φάσης μετά το ανάστροφο βραχυκύκλωμα

Σε πολλές περιπτώσεις οι τάσεις είναι αρκετά υψηλές έτσι ώστε να δημιουργηθεί εξωτερικό βραχυκύκλωμα στους μονωτήρες των κοντινών πυλώνων, αλλά ακόμη και εάν φτάσουν στον υποσταθμό, οι απαγωγείς ελέγχουν το πλάτος κατά αποτελεσματικό τρόπο όπως φαίνεται στη συνέχεια και το τελικό αποτέλεσμα δεν διαφέρει και πολύ από αυτό του κύματος των 1800 KV που αναλύθηκε κατά την περίπτωση σφάλματος, θωράκισης όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο πυλώνας που βρίσκεται πιο κοντά στον υποσταθμό έχει πολύ μικρή αντίσταση γείωσης (μικρότερη από 2 Ohm) και το πλησιέστερο ανάστροφο βραχυκύκλωμα θα συμβεί στο δεύτερο πυλώνα. Σε ένα σύστημα των 500 KV αυτό συμβαίνει περίπου στα 600 μέτρα από τον

υποσταθμό και η καθυστέρηση κορώνας που αναφέρεται στην παραπάνω απόσταση, έχει χρόνο ανόδου 0,3 μικροδευτερόλεπτα στο σημείο όπου εμφανίζεται το ανάστροφο βραχυκύκλωμα ενώ στον υποσταθμό είναι ίση με 1,4 μικροδευτερόλεπτα. Αυτός είναι ένας αρκετά σημαντικό παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν αναλύονται υπερτάσεις σε υποσταθμούς.

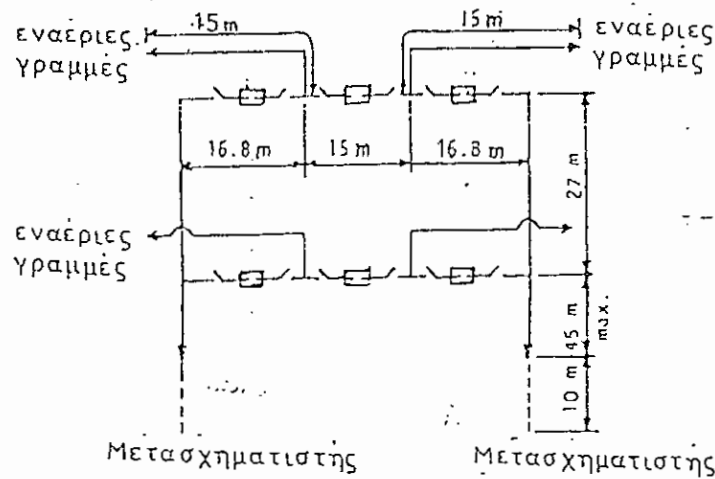
2.4. Μελέτη της υπέρτασης από κεραυνό σε υποσταθμό με μόνωση αερίου (GIS)

Αυτή η φάση της έρευνας προσανατολίστηκε στον υπολογισμό των υπερτάσεων σε ένα υποσταθμό, με μόνωση αερίου για διαφορετικές εισερχόμενες τάσεις και για όλες τις πιθανές συνθήκες λειτουργίας. Μια σύνθετη αντίσταση υπέρτασης της τάξης των 63 Ohm χρησιμοποιήθηκε για όλα τα τμήματα του υποσταθμού και οι μετασχηματιστές αντιπροσωπεύτηκαν από πυκνωτές των 1500 pF.

Οι τάσεις υπολογίστηκαν με την χρήση ενός ψηφιακού προγράμματος σύμφωνα με το οποίο υπήρχε η δυνατότητα μοντελοποίησης όλων των τμημάτων του υποσταθμού (συμπεριλαμβανομένων και των αλεξικέραυνων). Το κύριο δίκτυο έχει κατασκευαστεί από ζεύγη πόλων με τιμές σύνθετης αντίστασης υπέρτασης (εμπέδησης) και από ένα κατάλογο του χρόνου διαδρομής μεταξύ αυτών των πόλων. Στην περίπτωση του μοντέλου που αφορά το αλεξικέραυνο υποθέτουμε ότι το μέτωπο του κύματος των τάσεων διάσπασης εφαρμόζεται για

1,2 μικροδευτερόλεπτα, ολόκληρο το κύμα από 1,2 έως 10 μικροδευτερόλεπτα ενώ τα επίπεδα των υπερτάσεων χειρισμών αντιστοιχούν σε μεγαλύτερης διάρκειας μέτωπα. Σε όλα τα σημεία ενδιαφέροντος μέσα στο σύστημα έγινε καταγραφή των τάσεων.

Η πραγματική διάταξη που αφορά τον υποσταθμό απεικονίζεται στο σχήμα 2.4. Αυτή είναι μια συμβατική διάταξη ενώ επίσης έγινε εκτίμηση μιας διάταξης ομάδας φάσης η οποία μπορεί να έχει οικονομικά οφέλη σε κάποιες περιπτώσεις.



Σχήμα 2.4. Χαρακτηριστική διάταξη με έξι διακόπτες ενός υποσταθμού με μόνωση αερίου των 500 KV.

Όμως η μελέτη των σχετικών αποστάσεων έδειξε ότι θα μπορούσε να τροποποιηθεί η βασική διάταξη αλλάζοντας κατά ένα μικρό ποσοστό τις αποστάσεις.

Οι 24 συνδυασμοί κυκλωμάτων που μελετήθηκαν συμπεριλαμβάνουν τις περιπτώσεις: όλοι οι διακόπτες ανοιχτοί (ελάχιστο μήκος του ζυγού), μια γραμμή τροφοδοσίας ενός μετασχηματιστή, αρκετές εναλλαγές με δύο γραμμές τροφοδοσίας

ενός μόνου μετασχηματιστή, τρεις γραμμές και ένα μόνο μετασχηματιστή και όλοι οι διακόπτες κλειστοί. Άλλες παράμετροι αφορούν την χρήση πυκνωτή σύζευξης καθώς επίσης και τις τοποθεσίες των απαγωγέων. Για τους σκοπούς της βασικής μελέτης ο υποσταθμός με μόνωση αερίου συνδέθηκε με τον μετασχηματιστή, μέσω ζυγού με μόνωση αερίου. Αυτή είναι η διάταξη η οποία προτιμάται από την PP&L γιατί οι μετασχηματιστές στην περίπτωση αυτή εναλλάσσονται με εκείνους που χρησιμοποιούνται σε υποσταθμούς με μόνωση αερίου. Επίσης μελετήθηκε η επίδραση της λειτουργίας του συστήματος μόνωσης με αέριο απευθείας μέσα στον μετασχηματιστή. Το μοντέλο του απαγωγέα στο πρόγραμμα χρησιμοποίησε χαρακτηριστικά δεδομένα από απαγωγέα των 396 KV τύπου MPR-396 της εταιρείας Ohio Brass. Αυτός ο απαγωγέας έχει ένα διάκενο διάσπασης της τάξης των 1075 KV (1200 KV για κάθε μικροδευτερόλεπτο), ένα μέγιστο 100% επίπεδο έκρηξης διάσπασης της τάξης των 925 KV και ένα μέγιστο επίπεδο των υπερτάσεων χειρισμών ίσο με 885 KV.

Με τις διασπάσεις του απαγωγέα έγινε μοντελοποίηση της καμπύλης τάσης ρεύματος για μη γραμμικές αντιστάσεις χρησιμοποιώντας τα Βόλτ από μια καμπύλη $V=ai^b$ όπου τα a και b είναι σταθερές της εξίσωσης που βασίζονται στις χαρακτηριστικές ρεύματος-τάσης του εξεταζόμενου απαγωγέα.

2.4.1. Μορφή των κυμάτων

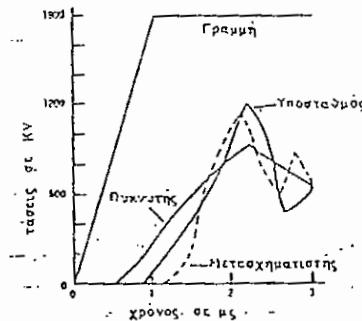
Η κύρια μελέτη που εφαρμόστηκε στον υποσταθμό αφορά ένα

κύμα τάσης των 1800 KV. Χρησιμοποιήθηκαν κύματα της τάξης των 50 μικροδευτερολέπτων ενώ οι πρώτοι χρόνοι κυμάνθηκαν από 0,05 μέχρι 10 μικροδευτερόλεπτα. Κατά την βασική μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα πλάτος των 1800 KV (σύμφωνα με την ανάλυση του σφάλματος θωράκισης), αλλά στη συνέχεια εφαρμόστηκαν κύματα με μεγαλύτερο εύρος που αφορούσαν τις χειρότερες περιπτώσεις με σκοπό τον προσδιορισμό της σημασίας των υψηλότερων τάσεων που δημιουργούνται λόγω των φαινομένων ανάστροφων βραχυκυκλωμάτων. Αυτά τα κύματα είναι μέτωπα που συνδέονται με τα ανάστροφα βραχυκυκλώματα στο δεύτερο πυλώνα (η χειρότερη περίπτωση που μπορεί να συμβεί).

Εύρος σε KV	3000	3745	3745
Χρόνος μέχρι τη μέγιστη τιμή σε msec	1,2	1,5	2,2

2.4.2. Απομάκρυνση τάσης ενός συστήματος GIS

Οι μέγιστες τιμές της τάσης σαν συνάρτηση του χρόνου για τις διάφορες θέσεις απεικονίζονται στο σχήμα 2.5.



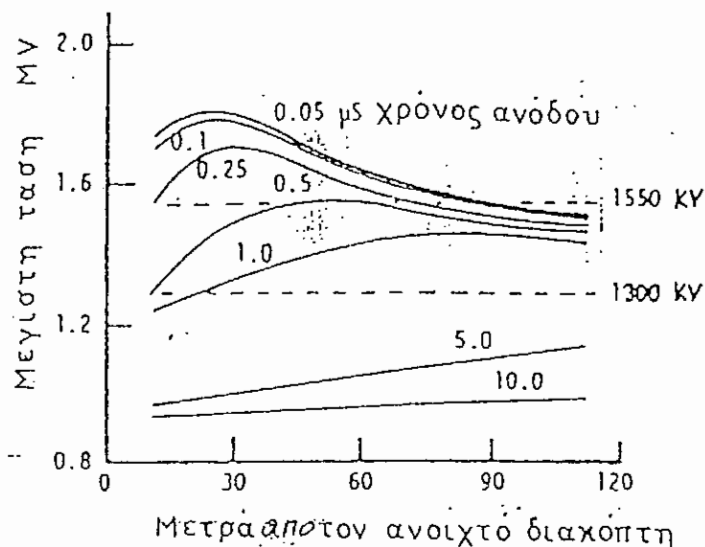
Σχήμα 2.5 Τάσεις στην γραμμή, στον Μετασχηματιστή, στον πυκνωτή και στο σταθμό

Αυτή η απομάκρυνση είναι χαρακτηριστική της απόκρισης που εμφανίζεται στις περιπτώσεις διαφόρων μελετών. Με στόχο τη γενικοποίηση όσο το δυνατόν καλύτερα των αποτελεσμάτων, έγινε ομαδοποίηση των δεδομένων ενώ στα σχήματα των γραφικών παραστάσεων απεικονίστηκαν όλες οι αναπτυσσόμενες τάσεις. Οι περιπτώσεις στις οποίες όλοι οι διακόπτες ήταν ανοιχτοί, ήταν οι πιο δυσχερείς και θα εξεταστούν πρώτες· ενώ ακολούθως θα πρέπει να εξεταστεί η περίπτωση όπου συνδέεται και ένα μετασχηματιστής. Τέλος θα γίνει παρουσίαση της επίδρασης κάποιων αλλαγών στις αρχικές συνθήκες.

2.4.3. Ελάχιστος Υποσταθμός - Όλοι οι διακόπτες ανοιχτοί

Στο σχήμα 2.6 απεικονίζεται η μέγιστη τάση η οποία μετρήθηκε στο άκρο ενός ανοιχτού ζυγού σε συνάρτηση με την απόσταση από τον ανοιχτό διακόπτη. Σε κάθε περίπτωση το πλάτος μειώνεται για μικρότερους πρώτους χρόνους και για μεγαλύτερες αποστάσεις από τον ανοιχτό διακόπτη. Αυτή η συμπεριφορά είναι ένα χαρακτηριστικό της χαμηλής σύνθετης αντίστασης υπέρτασης ενός GIS με τις αντίστοιχες αρνητικές ανακλάσεις.

Για την διάταξη που απεικονίζεται στο σχήμα 2.4 ο ανοιχτός διακόπτης είναι γενικά σε απόσταση 15 ως 25 μέτρα (50 ως 75 πόδια) 396 KV απαγωγέας κατά την σύνδεσή του με εναέρια γραμμή, από την αρχή της γραμμής.



Σχήμα 2.6 Μεταβολή της τάσης σε συνάρτηση με την απόσταση από ένα ανοιχτό διακόπτη

Τα σφάλματα θωράκισης και οι αναλύσεις των αναστροφών βραχυκυκλωμάτων δείχνουν ότι χρόνοι ανόδου μικρότεροι από 0,5 μικροδευτερόλεπτα είναι ουσιαστικά απίθανοι, αυτό κάνει τα αποτελέσματα που σχετίζονται με τα πολύ γρήγορα κύματα να μοιάζουν με ακαδημαϊκά.

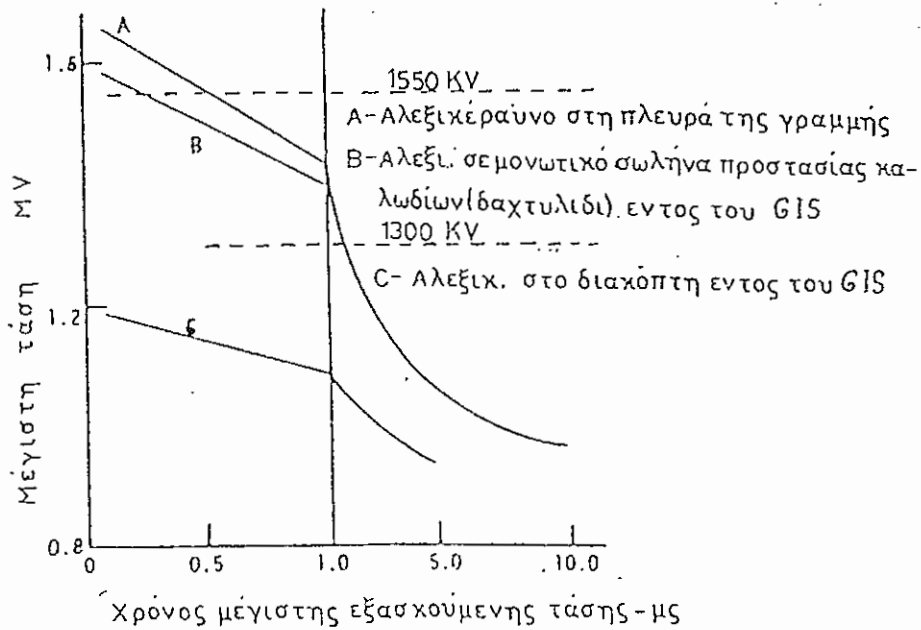
Ένα σφάλμα θωράκισης πολύ κοντά στο σταθμό είναι δυνατόν να έχει ένα χρόνο ανόδου, έως και 0,5 μικροδευτερόλεπτα και μία μέγιστη τάση ίση με 1550 KV για μία απόσταση 40 ως 70 μέτρα. Όμως εάν το σφάλμα συμβεί σε απόσταση μεγαλύτερη από 600 μέτρα από τον υποσταθμό, η καθυστέρηση της κορόνας θα επιβραδύνει το χρόνο ανόδου στο ένα μικροδευτερόλεπτο και

στην περίπτωση αυτή η μέγιστη τάση είναι ίση με 1450 KV. Για την περίπτωση των ανάστροφων βραχυκυκλωμάτων ο χρόνος ανόδου δεν μπορεί να είναι μικρότερος από ένα μικροδευτερόλεπτο (για ένα ανάστροφο βραχυκύκλωμα στο δεύτερο πυλώνα) έτσι ώστε η τάση να περιορίζεται και στην περίπτωση αυτή στα 1450 KV.

Ο πυκνωτής σύζευξης τείνει στην μείωση του χρόνου ανόδου των εισερχομένων κυμάτων. Όσο πιο απότομο είναι το μέτωπο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επίδραση που αναμένεται να έχει ο πυκνωτής. Το μέγεθος της μείωσης της τάσης εξαρτάται από την απόσταση από τον ανοιχτό διακόπτη και για ένα χρόνο ανόδου των 0,5 μικροδευτερολέπτων είναι ίσο με 10%. Σε γενικές γραμμές ο πυκνωτής βοηθά περισσότερο σε μεγαλύτερες αποστάσεις και στα 114 μέτρα (375 πόδια) επιφέρει μείωση της τάσης κατά 13%.

Η θέση του αλεξικέραυνου είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους και το σχήμα 2.7 δείχνει την επίδραση που έχει η μετακίνηση του απαγωγέα μέσα στο σύστημα μόνωσης με αέριο. Όπως ήταν αναμενόμενο, η τοποθέτηση του απαγωγέα ακριβώς μπροστά από τον (πιθανόν) ανοιχτό διακόπτη έχει αρκετά πλεονεκτήματα καθώς ελαχιστοποιούνται με τον τρόπο αυτό οι αυξήσεις της τάσης που δημιουργούνται από ανακλάσεις. Όμως οι απαγωγείς μόνωσης αερίου κοστίζουν περισσότερο σε σχέση με τους συμβατικούς απαγωγείς κάτι που όμως εξισορροπείται από τα υψηλά όρια ασφαλείας τα οποία επιτυγχάνονται με τη χρήση των απαγωγέων αυτών. Άλλη μία σημαντική παράμετρος είναι η απόσταση από τον ανοιχτό διακόπτη και σε περιπτώσεις

που οι αποστάσεις είναι μικρές, η χρήση απαγωγέα μόνωσης αερίου, δεν παρέχει κανένα σημαντικό πλεονέκτημα.



Σχήμα 2.7 Τάση σε ανοιχτό διακόπτη σε απόσταση 57 μέτρων από ζυγό με μόνωση αερίου

Μελετήθηκε επίσης η περίπτωση όπου η απόσταση από τον ανοιχτό διακόπτη ήταν ίση με 11.4 μέτρα (37.5 πόδια) προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση των εφαρμοζόμενων τάσεων μεγαλύτερου εύρους οι οποίες σχετίζονταν με ανάστροφα βραχυκυκλώματα. Έτσι προέκυπταν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας II

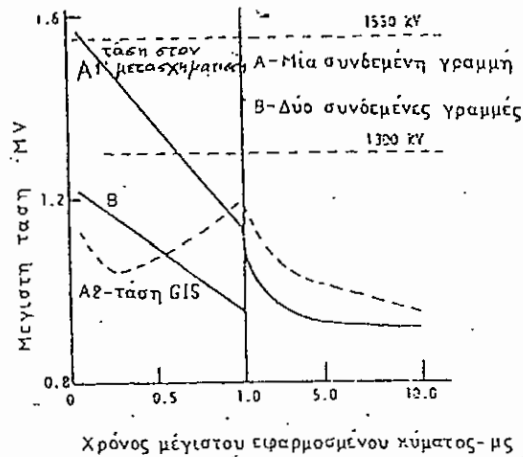
Τάση σε σύστημα μόνωσης αερίου σε συνάρτηση του εύρους του εισερχόμενου κύματος.

Εύρος (KV)	Χρόνος μετώπου σε μικροδευτερόλεπτα (μs)	Τάση - Άκρο ανοιχτού ζυγού (KV)
1800	1,0	12,53
3000	1,2	12,70
3745	1,5	12,64
3745	2,2	12,39

Είναι προφανές ότι με τα αλεξικέραυνα υπάρχει ένας μόνιμος έλεγχος της υπέρτασης σχεδόν ανεξάρτητος από το σχήμα και το πλάτος του κύματος. Αυτό δείχνει ότι η βασική ανάλυση των 1800 KV μπορεί να εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα. Στην περίπτωση που εφαρμόστηκε κύμα των 1000 KV, οι τάσεις ήταν κάπως χαμηλότερες.

2.4.4. Συνδεσμολογίες του Μετασχηματιστή

Στο σχήμα 2.8 απεικονίζονται τόσο οι τάσεις στο μετασχηματιστή όσο και οι τάσεις εντός του συστήματος μόνωσης με αέριο, σαν συνάρτηση του χρόνου για τις περιπτώσεις μιας γραμμής και δύο γραμμών.



Σχήμα 2.8. Μετασχηματιστής συνδεδεμένος με τον υποσταθμό

Αυτές οι τάσεις όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο, είναι χαμηλότερες από αυτές στην περίπτωση ανοιχτού διακόπτη ενώ στην περίπτωση που υπάρχει συνδεδεμένη μία δεύτερη γραμμή τότε η τάση του μετασχηματιστή μειώνεται σε μεγάλο βαθμό καθώς το μοντέλο του κυκλώματος ανταποκρίνεται στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας, είναι προφανές ότι για το μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας ζωής του υποσταθμού, οι υπερτάσεις δεν θα υπερβούν τις τιμές διάσπασης των διακένων του απαγωγέα. Είναι επίσης ενδιαφέρον να επισημανθεί ότι ακόμη και όταν είναι συνδεδεμένη μια μόνο γραμμή, οι τάσεις στον υποσταθμό είναι πολύ χαμηλότερες από την τάση του μετασχηματιστή.

2.4.5. Συνέπειες εξαιτίας αλλαγών στο σύστημα

Κατά την διάρκεια της μελέτης εξετάστηκαν αρκετοί παράγοντες που πιθανόν να έχουν επίδραση σε μελλοντικές εφαρμογές. Αυτοί περιγράφονται περιληπτικά παρακάτω:

1. Η αύξηση της απόστασης μεταξύ του μετασχηματιστή και του

μονωτικού σωλήνα προστασίας καλωδίου (δακτυλίδι) του υποσταθμού με μόνωση αερίου, από τα 11,4 μέτρα στα 22,9 μέτρα περίπου, δεν είχε κάποια σημαντική συνέπεια. Αυτή η μεταβολή μελετήθηκε για την περίπτωση ενός διακόπτη κυκλώματος που ενσωματώθηκε σε αυτή τη θέση.

2. Οι μεταβολές στα χαρακτηριστικά του απαγωγέα έχουν σημαντικές επιδράσεις στις υπερτάσεις. Όμως το μέγεθος της μεταβολής της τάσης είναι επίσης μια συνάρτηση της διάταξης του συστήματος και γι' αυτό απαιτούνται εξειδικευμένες μελέτες.
3. Έγινε ανάλυση αρκετών περιπτώσεων με σύνθετες αντιστάσεις υπερτάσεων των 270 Ohm και των 330 Ohm για τους αγωγούς φάσης της εναέριας γραμμής. Οι καταληκτικές υπερτάσεις στον υποσταθμό δεν μεταβάλλονται περισσότερο από μικρά ποσοστά επί τοις εκατό, και σαν συμπέρασμα έχουμε ότι αυτός ο παράγοντας δεν είναι καθοριστικής σημασίας.
4. Μείωση στο μήκος της αλυσίδας μονωτήρων της εναέριας γραμμής από 25 σε 22 μονάδες, αυξάνει την πιθανότητα ανάστροφου βραχυκυκλώματος. Όμως η αποτελεσματικότητα του απαγωγέα υπέρτασης όσον αφορά τον έλεγχο των εισερχομένων υπερτάσεων, σημαίνει ότι οι τάσεις στον υποσταθμό δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνες που παρατηρήθηκαν στην αλυσίδα μονωτήρων με τις 25 μονάδες. Επομένως μια μεταβολή αυτής της μορφής δεν έχει καμία ουσιαστική επίδραση στην επιλογή της μόνωσης για έναν υποσταθμό με μόνωση αερίου.

2.4.6. Συμπεράσματα

Μια από τις πρώτες ερωτήσεις και σε σχέση με το αποτέλεσμα της μελέτης που θα πρέπει να απαντηθεί, είναι εάν μια κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών των 1300 KV είναι επαρκής για έναν υποσταθμό των 500 KV. Μία προηγούμενη μελέτη δείχνει ότι ο απαγωγέας συμβάλλει στον περιορισμό των υπερτάσεων σε ένα υποσταθμό με μόνωση αερίου σε προκαθορισμένα επίπεδα με τον χρόνο ανόδου του μετώπου του κύματος να αποτελεί τον κύριο παράγοντα. Οι διαδικασίες κατά τις οποίες συμβαίνουν σφάλματα θωράκισης και σφάλματα από ανάστροφα βραχυκυκλώματα είναι πολύ απίθανο να έχουν χρόνους ανόδου μικρότερους από 1,0 μικροδευτερόλεπτα και ειδικότερα εάν λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της κορόνας.

Στις υπερτάσεις χειρισμών δεν συναντώνται προβλήματα στον υποσταθμό με BIL των 1300 KV, επειδή το επίπεδο αντοχής στις υπερτάσεις χειρισμών παραμένει τουλάχιστον στην τιμή των 1040 KV (80 επί τοις εκατό της τάσης). Καθώς ο απαγωγέας περιορίζει τις υπερτάσεις χειρισμών στα 885 KV, υπάρχουν αρκετά περιθώρια. Όμως η θέση του κεραυνού δεν είναι συγκεκριμένη όταν οι συνθήκες απαιτούν 1550KV και διαθέσιμα είναι τα 1300 KV.

1550KV σε όλες τις περιπτώσεις είναι απαραίτητος ένα απαγωγέας υπέρτασης σε συνδυασμό με μέτωπα βραδύτερα από 1,5 μικροδευτερόλεπτα. Αν υπάρχει επίσης και ένας πυκνωτής σύζευξης τότε κύματα με μέτωπα βραδύτερα από 1,0

μικροδευτερόλεπτα είναι ικανοποιητικά ενώ υπάρχει μεγάλη πιθανότητα τα μέτωπα να φτάσουν τα 0,5 μικροδευτερόλεπτα χωρίς να δημιουργήσουν δυσκολίες.

1300KV για όλες τις περιπτώσεις απαιτείται ένας απαγωγέας μαζί με μέτωπα βραδύτερα από 4,0 μικροδευτερόλεπτα. Εάν υπάρχει επίσης και ένας πυκνωτής σύζευξης στην είσοδο τότε μέτωπα βραδύτερα από 2,0 μικροδευτερόλεπτο είναι ικανοποιητικά. Εάν δεν είναι εφικτή η περίπτωση ανοιχτού διακόπτη τότε ικανοποιητικά είναι και μέτωπα βραδύτερα από 0,7 μικροδευτερόλεπτο. Τα όρια ασφαλείας μπορούν να βελτιωθούν με τοποθέτηση των απαγωγέων πριν από τους (ενδεχομένους ανοιχτούς) διακόπτες μέσα στον υποσταθμό με μόνωση αερίου.

Είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν οι πιθανότητες σφάλματος επειδή είναι επίσης δύσκολο να προσδιοριστούν οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας με ποσοτικό τρόπο. Όταν έχει συνδεθεί μετασχηματιστής οι υπερτάσεις στο μονωμένο με αέριο τμήμα του υποσταθμού δεν υπερβαίνουν τα 1200 KV περίπου αυτό είναι περίπου 6-σίγμα κάτω από την οριακή τάση στην οποία συμβαίνουν εξωτερικά βραχυκυκλώματα για ένα σύστημα BIL των 1550 KV και λίγο πάνω από 3-σίγμα κάτω από το μέσο επίπεδο εξωτερικού βραχυκυκλώματος για τα συστήματα BIL των 1300KV. Καθώς μόνο τα ανάστροφα βραχυκυκλώματα ή τα σφάλματα θωράκισης τα οποία συμβαίνουν σε απόσταση του πρώτου μιλίου περίπου, είναι σε θέση να δώσουν απότομα μέτωπα (περίπου ένα μικροδευτερόλεπτο) τα οποία είναι απαραίτητα για την δημιουργία υψηλότερων τάσεων, είναι προφανές ότι οι πιθανότητες για συνολικό σφάλμα είναι πολύ

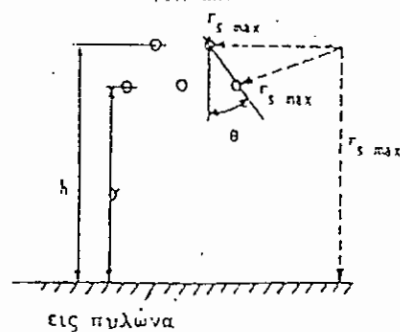
μικρές.

Η χειρότερη περίπτωση είναι όταν για κάποιο λόγο ο σταθμός λειτουργεί με τους μετασχηματιστές (και τους αντίστοιχους απαγωγείς) να είναι αποσυνδεδεμένοι και επίσης όταν όλες οι εξερχόμενες γραμμές να είναι και αυτές αποσυνδεδεμένες. Η απόσταση από ένα ανοιχτό διακόπτη (ή από τον δακτύλιο στην αρχή της γραμμής) είναι στην περίπτωση αυτή περίπου ίση με 100 μέτρα ενώ οι μέγιστες τάσεις με πολύ απότομα μέτωπα μπορούν να φτάσουν τα 1550 KV. Η πιο συνήθης περίπτωση είναι να έχουμε τον έναν από τους διακόπτες στην εισερχόμενη γραμμή ανοιχτό, περιορίζοντας την απόσταση στα 17 μέτρα περίπου και συνεπώς την τάση να φτάνει τα 1400 KV. Όμως οι παραπάνω συνθήκες λειτουργίας συμβαίνουν πολύ σπάνια και η συνολική πιθανότητα να υπάρχουν σε μια τέτοια περίπτωση κυμάτων με πολύ απότομα μέτωπα, είναι εξαιρετικά μικρή.

Είναι σαφές ότι ένα 1550KV BIL είναι αρκετά ασφαλές και ότι ο κεραυνός κατά πάσα πιθανότητα δεν θα δημιουργήσει ποτέ προβλήματα. Στην περίπτωση του 1300KV BIL οι μέγιστες υπερτάσεις είναι δυνατόν να υπερβούν τα επίπεδα της μόνωσης εάν συνηπάρχουν ταυτόχρονα γρήγορα μέτωπα και διακόπτες που να είναι ανοιχτοί. Παρόλο που οι πιθανότητες σφαλμάτων είναι πολύ μικρές, η προηγούμενη περίπτωση είναι μάλλον ανεπιθύμητη και η χρήση 1300KV BIL συνεπάγεται πολλούς υποκειμενικούς παράγοντες.

Παράρτημα Ι Σφάλματα Θωράκισης

Ηλεκτρομαγνητική προσέγγιση



$$h = 33,4 \text{ m}$$

$$y = 26,2 \text{ m}$$

$$\theta = 20,6 \text{ μοίρες}$$

$$r_{s \max} = \frac{h + y}{2 \cdot (1 - \sin \theta)}$$

$$r_{s \max} = 46,1$$

$$\text{όμως } r_{s \max} = 7,1 (I_{\max})^{0,75}$$

$$\text{επομένως } I_{\max} = \left(\frac{\max}{7,1} \right)^{1,33} = 12,04 \text{ KA}$$

ρεύμα πλήγματος από το κεραυνό το οποίο διαχωρίζεται στην γραμμή και δίνει δύο ρεύματα των 6 KA.

Η τάση είναι $i_s \frac{I_s(z)}{2} = 6 \times 300 = 1.800 \text{ KV}$ και είναι η μέγιστη στον αγωγό φάσης.

Παράρτημα II

Υπολογισμοί ανάστροφων βραχυκυκλωμάτων

Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο με τους επτά πυλώνες με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση διαφορετικών πληγμάτων από κεραυνό στο επάνω τμήμα του πυλώνα. Οι χρόνοι ανόδου των μετώπων των κυμάτων, κυμάνθηκαν από 0,5 ως 10 μικροδευτερόλεπτα, ενώ χρησιμοποιήθηκαν τιμές των 100 και 300 KA. Οι αντιστάσεις γείωσης του πυλώνα αντιστοιχούν σε πραγματικές τιμές που προέρχονται από την γραμμή PP&L (Pennsylvania Power and Light) Siegfried - Wescorville των 500 KV. Προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάλυση, τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν όπως παρακάτω :

Πίνακας I

Αντίσταση γείωσης [Ohm] πυλώνα	3 - 7	8 - 12	13 - 17	18 - 22	23 - 27
Πιθανότητα επί τοις εκατό	25	46	12	15	2

Κατόπιν χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή αντίστασης γείωσης του πυλώνα προκειμένου κατά την ανάλυση να προσδιοριστεί η πιθανότητα βραχυκυκλώματος σαν συνάρτηση του ρεύματος και του χρόνου ανόδου. Υποτέθηκε ότι όλοι οι πυλώνες στο μοντέλο των 7 πυλώνων που χρησιμοποιήθηκε, είχαν την ίδια αντίσταση

γείωσης. Αυτό μάλλον δεν συμβαίνει στην πράξη όπου ο πυλώνας που χτυπήθηκε από τον κεραυνό δέχεται την μεγαλύτερη επίδραση, ενώ οι διπλανοί πυλώνες δέχονται δευτερογενείς επιδράσεις.

Ο πίνακας II δείχνει τα απαιτούμενα ρεύματα για να δημιουργηθεί ανάστροφο βραχυκύκλωμα σαν συνάρτηση του ρεύματος και του ρυθμού ανόδου. Προκειμένου να ελαχθεί η ακρίβεια του μοντέλου έγινε προσδιορισμός του ρυθμού ανάστροφου βραχυκυκλώματος ανά 100 μίλια ανά χρόνο. Από τον Berger έγινε ο ακόλουθος υπολογισμός των πιθανοτήτων υπέρβασης των καθορισμένων ρευμάτων που έχει ως εξής :

Πίνακας II

KA	140	150	160	180	200	225	250
Επί τοις εκατό	3	2,5	2,0	1,5	1	0,7	0,5

Ακόμη προκύπτει ακόλουθη κατανομή των χρόνων ανόδου.

Πίνακας III

Χρόνος ανόδου σε μικροδευτερόλεπτα	0-2	2-4	4-6	6-10
Πιθανότητα επί τοις εκατό	7	23	20	50

Εάν υποθέσουμε ότι οι χρόνοι ανόδου και τα μεγέθη είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές (κάτι που δεν αποτελεί μία εντελώς σωστή υπόθεση όπως προαναφέρθηκε), τότε μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα να έχουμε ανάστροφο βραχυκύκλωμα. Για οποιαδήποτε πυλώνα η πιθανότητα είναι :

$$P = P_R \times P_{RT} \times P_I$$

(1)

όπου

$P_R =$ Η πιθανότητα έτσι ώστε η αντίσταση γείωσης του πυλώνα να είναι ίση με R

$P_{RT} =$ Η πιθανότητα έτσι ώστε ο χρόνος ανόδου να είναι ίσος με RT

$P_I =$ Η πιθανότητα ότι το ρεύμα είναι ίσο ή υπερβαίνει την τιμή I.

Για κάθε εύρος αντίστασης γείωσης του πυλώνα οι κατάλληλες πιθανότητες των RT και I πρέπει να προσδιοριστούν και να προστεθούν μεταξύ τους. Επομένως για τιμή 10 Ωm, λαμβάνονται χρόνοι ανόδου του ενός μικροδευτερολέπτου και ρεύματα μεγαλύτερα από 225 KA. Οι τιμές των PR, PI και PRT παίρνονται από τους πίνακες I, II και III αντίστοιχα.

$$P1 = 0,46 \times 0,07 \times 0,007 = 0,00022 \quad (2)$$

Με όμοιο τρόπο για τιμή 15 Ωm έχουμε χρόνο ανόδου του ενός μικροδευτερολέπτου και ρεύματα μεγαλύτερα από 210 KA.

$$P2 = 0,12 \times 0,07 \times 0,009 = 0,0000756 \quad (3)$$

Για τιμή 20 Ωm αντιστοιχούν χρόνοι ανόδου 1, 3, 5 και 10 μικροδευτερολέπτων και ρεύματα 180, 190, 210 και 225 KA αντίστοιχα.

$$P3 = 0,15 \times (0,07 \times 0,015 + 0,23 \times 0,0125 + 0,2 \times 0,009 + 0,5 \times 0,007) = 0,00135 \quad (4)$$

Για 25 Ωm οι χρόνοι ανόδου είναι 1, 3, 5 και 10 μικροδευτερόλεπτα και τα ρεύματα 140, 160, 170 και 180 KA αντίστοιχα.

$$P_4 = 0,02 \times (0,07 \times 0,03 + 0,23 \times 0,02 + 0,2 \times 0,02 + 0,5 \times 0,015)$$

$$= 0,000364 \quad (5)$$

Επομένως η πιθανότητα βραχυκυκλώματος στον πυλώνα εξαιτίας πλήγματος από κεραυνό είναι :

$$\Sigma P = 0,00204$$

$$(6)$$

1

Έχουμε ότι για την διάταξη αγωγών που περιγράφεται υπάρχουν 0,29 πλήγματα από κεραυνό ανά 100 μίλια (16 χλμ) ανά έτος. Αφού υπάρχουν 400 πυλώνες για 100 μίλια (16 χλμ) η πιθανότητα ανάστροφου βραχυκυκλώματος είναι 0,236 ανά 100 μίλια (16 χλμ) ανά έτος. Οι τιμές αυτές συμφωνούν αρκετά με τιμές που λήφθηκαν με βάση άλλες υπολογιστικές τεχνικές, ελαφρώς υψηλότερες τιμές της αντίστασης γείωσης του πυλώνα είναι δυνατόν να αυξήσουν σημαντικά τη πιθανότητα ανάστροφου βραχυκυκλώματος. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι το εύρος αντίστασης γείωσης του πυλώνα των 20 0 hm είναι και ο κύριος παράγοντας που συνεισφέρει στην πιθανότητα ανάστροφου βραχυκυκλώματος.

Κεφάλαιο 3

Προστασία της εισόδου της γραμμής σε υποσταθμούς των 500 KV με μόνωση αερίου, με τη χρήση διακενών σπινθήρος εξαφθοριούχου θείου (SF₆)

Περίληψη

Η χρήση τόσο απαγωγέων στον υποσταθμό όσο και απαγωγέων στην είσοδο της γραμμής παρέχει απόλυτη προστασία για όλες τις συνθήκες λειτουργίας υποσταθμών με μόνωση αερίου (GIS). Παρ' όλα αυτά είναι μία εγκατάσταση η οποία κοστίζει. Κατά συνέπεια θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η εφαρμογή διακενών (αέρος) για εκφόρτιση στον αέρα. Όμως η προστατευτική τους ικανότητα είναι αμφίβολη επειδή η κλίση των καμπυλών V-t για το διάκενα αέρος είναι πολύ πιο απότομη σε σχέση με αυτή του GIS, ενώ τα διάκενα σπινθήρος SF₆ με καλές χαρακτηριστικές διάσπασης είναι δυνατόν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις όσον αφορά την ικανότητα προστασίας της συσκευής στην είσοδο της γραμμής του GIS.

Αυτή η εργασία παρουσιάζει τα αναλυτικά αποτελέσματα σχετικά με την διαβάθμιση της μόνωσης με ή χωρίς διάκενο αέρος στην είσοδο της γραμμής ενός μεγάλου GIS των 500 KV, επίσης παρουσιάζει την αντίστοιχη καμπύλη V-t της συσκευής στην είσοδο, τις χαρακτηριστικές του διακένου σπινθήρος SF₆ τα οποία αποσκοπούν στην προστασία της εισόδου της γραμμής και

επίσης παρουσιάζεται στην εργασία η ικανότητα μόνωσης του GIS κάτω από την επίδραση ταλαντευομένων υπερτάσεων που παράγονται από την διάσπαση του διακένου εξαφθοριούχου θείου SF₆.

Συμπερασματικά δίνεται έμφαση στο ότι τα διάκενα σπινθήρος SF₆ είναι αποτελεσματικά όσον αφορά την προστασία της εισόδου της γραμμής για έναν GIS των 500 KV με BIL 1.800 KV τόσο σε κατάσταση ανοιχτού διακόπτη όσο και σε περίπτωση κλειστού διακόπτη.

3.1 Εισαγωγή

Όταν ο διακόπτης στο κύκλωμα είναι ανοιχτός τότε οι απαγωγείς του σταθμού δεν παρέχουν καμία προστασία στην μόνωση της γείωσης της γραμμής, ούτε στη μόνωση ανάμεσα στους πόλους του διακόπτη. Ένα κτύπημα κεραυνού με μικρή απόσταση από τον υποσταθμό μπορεί να προκαλέσει βραχυκύκλωμα (υπερπήδηση) στη γραμμή του διακόπτη. Ακόμη και αν ο διακόπτης είναι κλειστός, η συσκευή στην είσοδο της γραμμής σε έναν μεγάλης κλίμακας υποσταθμό, είναι πιθανόν να μην προστατεύεται επιτυχώς από τα κτυπήματα δυνατών κεραυνών κοντινή απόσταση από τον υποσταθμό, καθώς οι απαγωγείς του υποσταθμού βρίσκονται μακριά από την είσοδο της γραμμής.

Συνεπώς για την προστασία στην είσοδο της γραμμής σε συμβατικούς υποσταθμούς χρησιμοποιούνται διάκενα αέρος. Καθώς οι χαρακτηριστικές V-t στις εξωτερικές μονώσεις τέτοιων

συσκευών σε σχέση με κύματα με απότομα μέτωπα, μοιάζουν με τις χαρακτηριστικές των διακένων αέρος, συμπεραίνεται ότι τα διάκενα ράβδων (αέρος) είναι σε θέση να παρέχουν περιστασιακά κατάλληλη προστασία. Από την άλλη πλευρά ένας υποσταθμός με μόνωση αερίου με επίπεδες καμπύλες V-t, που είναι συνδεδεμένος με εναέριες γραμμές είναι δυνατόν να μην προστατεύεται από την υπέρταση λόγω κεραυνού με την χρήση διακένων αέρος, εάν δεν διαθέτει επιπλέον μόνωση. Όμως η επιπλέον μόνωση ακόμη και αν υπάρχει μόνο στην είσοδο της γραμμής, ελαττώνει την αποτελεσματικότητα από οικονομική άποψη. Όμως ο GIS θα πρέπει να προστατεύεται από τις μέγιστες υπερτάσεις καθώς θα πρέπει να αποφευχθεί εντελώς οποιαδήποτε εσωτερική βλάβη. Επομένως το διάκενο σπινθήρος SF₆ το οποίο έχει τις ίδιες χαρακτηριστικές καμπύλες V-t με τα συστήματα μόνωσης με αέριο, χρησιμοποιείται προκειμένου να πραγματοποιήσει μια ενιαία κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών (BIL) μέσα σε όλον τον υποσταθμό με μόνωση αερίου GIS.

Στοιχεία τα οποία παρατηρήθηκαν κατά την εφαρμογή του συστήματος περιγράφεται παρακάτω :

- (1) Οι χαρακτηριστικές διάσπασης των διακένων αερίου SF₆ είναι όμοιες με εκείνες των απαγωγέων του σταθμού. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός και το διάκενο αερίου βρίσκεται σε μία μέτρια απόσταση από τον απαγωγέα του υποσταθμού, τότε το διάκενο αερίου δεν παρουσιάζει διάσπαση πριν από την εμφάνιση διάσπασης στον απαγωγέα. Όμως παρέχει πλήρη προστασία στην είσοδο της γραμμής του GIS σε συνθήκες τόσο ανοιχτού όσο και κλειστού διακόπτη.

- (2) Το διάκενο αερίου σχεδιάζεται έτσι ώστε μία μικρή πτώση της πίεσης του αερίου να μην φέρει το επίπεδο της τάσης διάσπασης κάτω από το ανώτατο όριο των τάσεων διασπάσεων των απαγωγών υπέρτασης και επίσης σχεδιάζεται έτσι ώστε να υπάρχει έλεγχος όσον αφορά την διασπορά των τάσεων διάσπασης, εντός ενός μήκους κύματος έτσι ώστε να είναι δυνατή η επιλογή του κατωτέρου επιπέδου, όπως του BIL του GIS.
 - (3) Τα ηλεκτρόδια ενός διακένου αερίου είναι ανθεκτικά σε τόξο υψηλής ισχύος προσδιορισμένης έντασης ρεύματος χωρίς να προξενείται κάποια βλάβη.
 - (4) Τα επαγόμενα ρεύματα από τους αγωγούς φάσης που δεν παρουσιάζουν σφάλματα ή τις ενεργές γραμμές είναι δυνατόν να εξαφανιστούν μετά την εξουδετέρωση του ρεύματος που προκάλεσε το σφάλμα από τον διακόπτη (εξουδετέρωση βραχυκυκλώματος).
 - (5) Το διάκενο αερίου - αφού έχει εξουδετερωθεί το ρεύμα που προκάλεσε το σφάλμα - είναι σε θέση να λειτουργεί χωρίς έλεγχο.
 - (6) Ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο συναντάται στην πράξη είναι το ότι θα πρέπει να εξεταστεί εάν τα συστήματα μόνωσης με αέριο μπορούν να αντέξουν σε υψηλής συχνότητας ταλαντευόμενες υπερτάσεις που εμφανίζονται κατά την διάσπαση ενός διακένου αερίου.
- Έχοντας λύσει αυτά τα προβλήματα, έχει βρεθεί ο τρόπος εφαρμογής του διακένου αερίου έτσι ώστε να υπάρχει προστασία

στην είσοδο της γραμμής. Αρχίζοντας από τα αναλυτικά αποτελέσματα σχετικά με την διαβάθμιση της μόνωσης στην είσοδο της γραμμής με ή χωρίς διάκενο αερίου, παρουσιάζονται στην εργασία αυτή οι αντιπροσωπευτικές χαρακτηριστικές V-t της συσκευής στην είσοδο της γραμμής ενός 500 KV GIS και ενός διακένου αερίου 500 KV με καλή λειτουργία και επιπλέον οι καμπύλες διαβάθμισης μόνωσης για έναν GIS των 500 KV και επίσης παρουσιάζεται το προστατευτικό διάκενο αέρος στην είσοδο και ακόμη του απαγωγέα στον σταθμό. Τέλος, γίνεται συζήτηση για τη διηλεκτρική αντοχή του συστήματος με μόνωση αερίου σε σχέση με τις ταλαντευόμενες υπερτάσεις οι οποίες δημιουργούνται όταν το διάκενο αερίου παρουσιάζει διάσπαση ένα φαινόμενο που έχει μεγάλη σημασία στην πράξη.

3.2 Ανάλυση της διαβάθμισης της μόνωσης στην περιοχή της εισόδου γραμμής για έναν GIS των 500 KV

Ένας ψηφιακός ηλεκτρονικός υπολογιστής TOSBAC 5600, χρησιμοποιήθηκε για την διαβάθμιση της μόνωσης γύρω από την είσοδο της γραμμής για δύο μεγάλους τύπους GIS των 500 KV με BIL 1.800 KV. Ο ένας ονομάζεται μικτογενής (υβρίδιο) GIS, στον οποίο οι μεταλλικοί σκελετοί των ζυγών είναι μονωμένοι με αέρα, ενώ ο άλλος τύπος είναι ο πλήρης GIS. Η μέθοδος Bergeron χρησιμοποιήθηκε για τον ψηφιακό υπολογισμό των μεταβατικών φαινομένων στο κύκλωμα ισχύος, το οποίο αποτελείται από την

εναέρια γραμμή, τον GIS, καλώδια και τον μετασχηματιστή.

Ας θεωρήσουμε ένα δυνατό πλήγμα από κεραυνό σε έναν πυλώνα κοντά στον GIS και τη δημιουργία βραχυκυκλώματος (υπερπήδησης) στον αγωγό φάσης. Η υπέρταση που δημιουργείται μεταδίδεται στον GIS. Υποτίθεται ότι η μόνωση της γείωσης γύρω από την είσοδο της γραμμής και η μόνωση ανάμεσα στους πόλους των διακοπών πρέπει να συντονίζεται με τέτοιου είδους υπερτάσεις. Για την περίπτωση προτύπων υποσταθμών η μέγιστη ένταση του ρεύματος από πλήγμα κεραυνού υποτίθεται ότι είναι ίση με 150 KA και το ρεύμα από το πλήγμα θεωρείται ότι έχει ένα κύμα με σχήμα ορθογωνίου και ένα κύμα με μέτωπο ίσο με 2 μsec . Η οριακή τάση που δημιουργείται βραχυκύκλωμα σε μία μεγάλη αλυσίδα μονωτήρων προσδιορίζεται ίση με 1895 KV. Η μέγιστη τάση διάσπασης ενός διακένου σπινθήρος SF6 υποτίθεται ότι είναι ίση με 1.700 KV, ενώ η μέγιστη τάση διάσπασης για τον απαγωγέα του υποσταθμού είναι 1.220 KV. Τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν προήλθαν από σειρές υπολογισμών όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1 (α), (b) και στον πίνακα I.

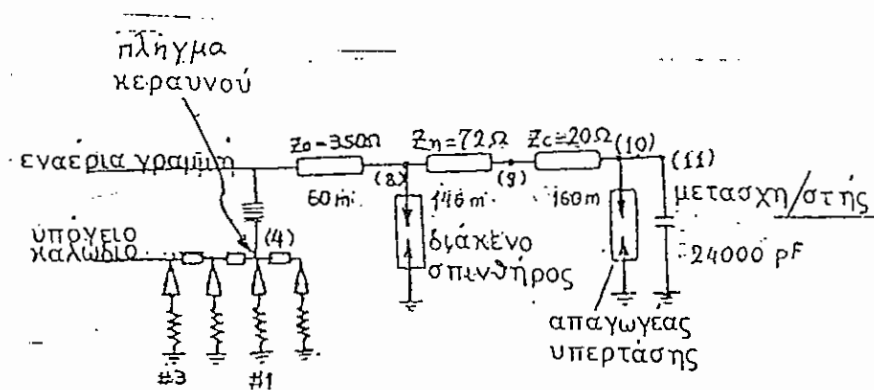
Πίνακας I

Τυπικά αποτελέσματα σε σχέση με την διαβάθμιση της μόνωσης με ή χωρίς διάκενο σπινθήρος στην είσοδο της γραμμής ενός μεγάλου GIS των 500 KV. (Ένταση πλήγματος κεραυνού ίση με 150 KA)

ΕΙΔΟΣ GIS	Συνθήκες λειτουργίας		Αποτελέσματα KV / (μs)					Κυματομορφές
	Σημείο πλήγματος	Διάκενο σπινθήρος	V (4) σημείο πλήγματος	V (8) αλεξικέραυνο 1	V (9) μέσο σημείο	V (10) αλεξικέραυνο 2	V (11) μετασχηματιστής	
Υβριδίο	#4 πυλώνες 1440 μέτρα από τον σταθμό	Χωρίς	4720 (2.00)	2380 (2.20)	2394 (2.05)	1226 (13.05)	1263 (3.70)	Σχήμα 3.1 (α)
		Με	4720 (2.00)	1700 (1.25)	1801 (1.05)	379 (12.4)	335 (3.35)	Σχήμα 3.1 (β)
Πλήρης	#1 πυλώνας 60 μέτρα από τον σταθμό	Χωρίς	3450 (1.90)	2735 (5.00)	2132 (4.30)	1588 (9.80)	1588 (9.80)	
		Με	3450 (1.90)	1700 (0.85)	1525 (3.00)	929 (6.20)	929 (6.20)	

Σημείωση :

- (1) Τα κυκλώματα όπως αυτά σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τους υπολογισμούς συμπεριλαμβανομένου και του υβριδίου GIS απεικονίστηκαν στα παρακάτω σχήματα 3.1(α) και (β).
- (2) Το κύκλωμα όπως αυτά σχεδιάστηκε σύμφωνα με τους υπολογισμούς συμπεριλαμβανομένου και του πλήρους GIS απεικονίζεται αμέσως παρακάτω :



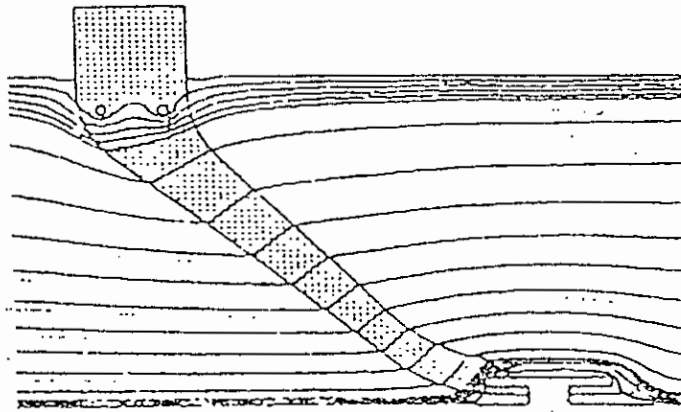
Όπως φαίνεται στον πίνακα I ακόμη και όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, ένα κτύπημα κεραυνού ίσο με 150 KA στον πυλώνα κοντά στον GIS, υπερβαίνει τη κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών (BIL) των 1.800 KV κατά το μισό και για τους δύο GIS χωρίς προστασία στην είσοδο της γραμμής, ενώ όταν εφαρμόζεται διάκενο σπινθήρος SF6 στην είσοδο της γραμμής τότε μειώνεται αποτελεσματικά η υπερτάση μέχρι να φτάσει τα επιτρεπόμενα επίπεδα. Έτσι εάν δεν υπάρχει καμιά προστασία στην είσοδο της γραμμής και υπάρχει ανοιχτός διακόπτης τότε συνεπάγεται κάποιος κίνδυνος για βλάβη στη γραμμή του διακόπτη.

Από τα υπολογιζόμενα αποτελέσματα είναι προφανές (βλέπε πίνακα I), ότι η χρήση των διακένων σπινθήρος SF6 με σταθερές και προσδιορισμένες χαρακτηριστικές διάσπασης παρέχει προστασία σε μεγάλο βαθμό για τον GIS είτε είναι τύπος υβριδίου είτε είναι πλήρης, σε χαμηλό κόστος.

3.3 Χαρακτηριστικές τάσης - χρόνου για συσκευή των 500 KV [LS2] στην είσοδο της γραμμής [LS3]

Τα βασικά διηλεκτρικά στοιχεία του GIS είναι μονωτήρες κωνικού σχήματος οι οποίοι στηρίζουν τους αγωγούς υψηλής τάσης στο κέντρο του περικλειστού. Επίσης όμοιοι μονωτήρες κωνικού σχήματος χρησιμοποιούνται στις συσκευές στην είσοδο της γραμμής. Επομένως οι διηλεκτρικές αντοχές τους, καθορίζουν τις χαρακτηριστικές V-t των συσκευών στην είσοδο της γραμμής.

Σήμερα οι μονωτήρες κωνικού σχήματος σχεδιάζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο από διηλεκτρική άποψη, δηλαδή δίνεται μεγάλη προσοχή έτσι ώστε στους μονωτήρες να υπάρχει όσο το δυνατόν πιο ασθενές ηλεκτρικό πεδίο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.

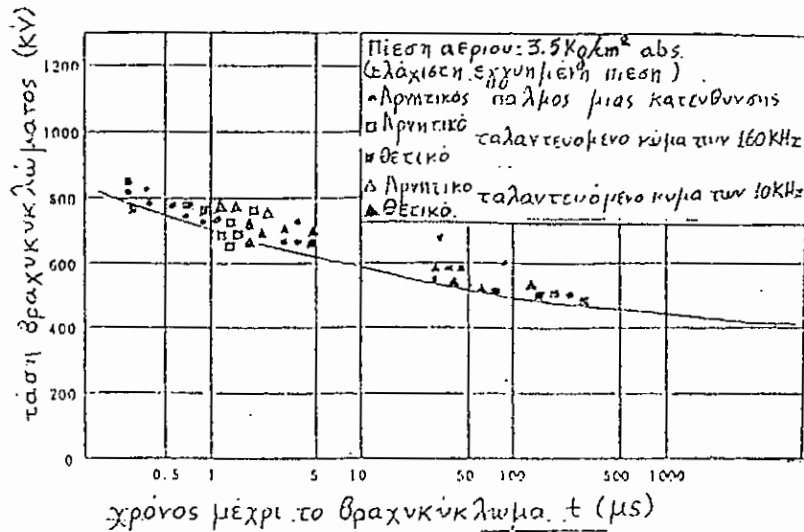


Σχήμα 3.2 Κατανομή του δυναμικού γύρω από έναν μονωτήρα κωνικού σχήματος της τάξης των 500 KV, 4000 A

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, ακόμη και εάν έχει γίνει η βέλτιστη δυνατή σχεδίαση υπάρχει μία μικρή συγκέντρωση τάσης στο άκρο του μονωτήρα όπου και λαμβάνει χώρα το εξωτερικό βραχυκύκλωμα. Το σχήμα 3.3 απεικονίζει τις μετρούμενες αρνητικές καμπύλες V-t για έναν μονοφασικό ζυγό για BIL των 550 KV. Η οριακή καμπύλη βραχυκυκλώματος τάσης - χρόνου (V(t)) οριακή είναι περίπου ίση με :

$$(V_{NI}(t))_{\text{οριακή}} = (V_{NI})_{\text{οριακή}} \cdot t^{-0,06} \text{ (KV)} \quad (t \leq 10 \mu\text{s}) \quad (1)$$

όπου το $(V_{NI})_{\text{οριακή}}$ είναι 730 KV και t είναι ο χρόνος μέχρι το βραχυκύκλωμα (υπερπήδηση) σε μsec. Αυτή η κλίση είναι μικρότερη από αυτή του διακένου αερίου SF6 σε αρνητική πολικότητα.



Σχήμα 3.3 Η αρνητική καμπύλη V-t στο μεταλλικό σκελετό ενός μονοφασικού ζυγού με κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών (BIL) των 550 KV

Η καμπύλη V-t για ένα κωνικό μονωτήρα των 500 KV στα 4 KA μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση (1) και από την (V_{NI}) οριακή. Εδώ η (V_{NI}) οριακή μπορεί να προσδιοριστεί από την ακόλουθη εξίσωση :

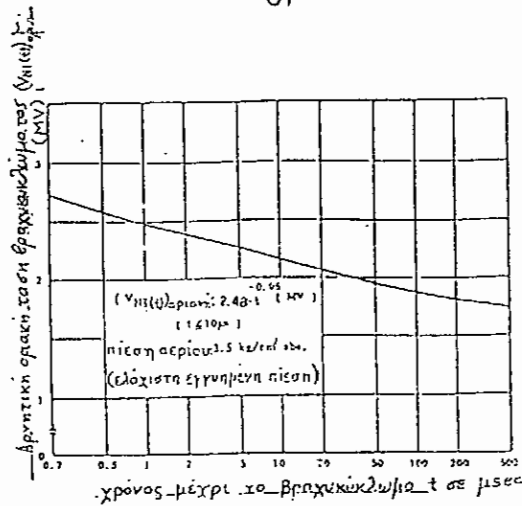
$$(V_{NI})\text{οριακή} = (E_{NI})\text{οριακή} \cdot \left(\frac{d}{f}\right) \quad 2)$$

όπου η (E_{NI}) οριακή της εξίσωσης (2) είναι η οριακή βαθμίδα διακοπής τάσης και

d είναι το μήκος του διακένου σε εκατοστά

f είναι ο συντελεστής ανομοιομορφίας του ηλεκτρικού πεδίου του μονωτήρα όπως προκύπτει από το σχήμα 3.2.

Το σχήμα 3.4 απεικονίζει την καμπύλη V-t ενός μονωτήρα των 500 KV και 4 KA όπως αυτή προκύπτει από τις εξισώσεις (1) και (2).



Σχήμα 3.4 Η αρνητική καμπύλη V-t για έναν μονωτήρα κωνικού σχήματος μιας φάσης της τάξης των 550 KV, 4000 A

Αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω αφορούν την μόνωση στη γείωση, ενώ η μόνωση σε έναν ανοιχτό διακόπτη σχεδιάζεται έτσι ώστε να αντέχει την μέγιστη δυνατή τάση σε σχέση με την τάση στην οποία συμβαίνει βραχυκύκλωμα στη μόνωση της γείωσης. Επομένως η μόνωση ανάμεσα στους πόλους του διακόπτη δεν δημιουργεί βραχυκύκλωμα πριν από την δημιουργία βραχυκλώματος στη μόνωση της γείωσης.

3.4 Διάκενο σπινθήρος SF6 στα 500 KV

Ένα διάκενο σπινθήρος SF6 θα πρέπει πρώτα απ' όλα να έχει όσο το δυνατόν γίνεται πιο ομαλές (επίπεδες) καμπύλες V-t με σκοπό την προστασία των συσκευών στην είσοδο της γραμμής του GIS.

Για να επιτευχθεί αυτή η ομαλοποίηση των καμπυλών V-t θα ήταν καλό να φτιάξουμε ένα ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο

διάκενο, να χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα ηλεκτρόδια και να υπάρχει κατάλληλη επεξεργασία (με ακτινοβολία) της επιφάνειας του ηλεκτροδίου της καθόδου.

Ένα ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο δεν δημιουργεί πολικότητα στο διάκενο και επιπλέον μειώνει τον χρόνο καθυστέρησης ο οποίος γίνεται μεγαλύτερος στην περίπτωση βραχυκυκλώματος σε διάκενα με ανομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο.

Τα ηλεκτρόδια που έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια συνεισφέρουν στην ελαχιστοποίηση της διασποράς των χαρακτηριστικών βραχυκυκλώματος και δίνουν την μικρότερη χρονική καθυστέρηση η οποία δημιουργείται από την τάση των ηλεκτρονίων να εμφανίζονται σε μία περιοχή ενός διακένου, με μεγάλη ένταση.

Η ακτινοβολία της επιφάνειας του ηλεκτροδίου της καθόδου, ελαττώνει το χρόνο καθυστέρησης και τη διασπορά των τάσεων βραχυκυκλώματος. Η εγκυρότητα των τριών προαναφερθέντων θεμελιωδών μεθόδων που αποσκοπούν στην ομαλοποίηση των καμπυλών V-t έχει εξακριβωθεί και στην περίπτωση των διακένων αερίου SF₆.

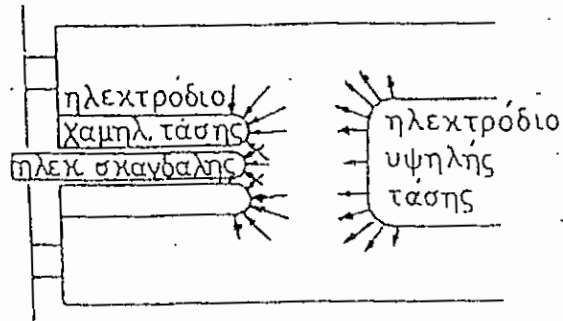
3.4.1 Κατασκευή ενός διακένου σπινθήρος SF₆ των 500 KV

Μετά από υπολογισμούς, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες διαστάσεις καθώς και το προφίλ ενός διακένου σπινθήρος SF₆ των 500 KV, με σκοπό την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών διάσπασης. Με σκοπό την εξουδετέρωση της πολικότητας και με

στόχο την ελάττωση του χρόνου καθυστέρησης, η διάταξη του διακένου κατασκευάζεται έτσι ώστε να δημιουργείται ένα όσο το δυνατόν ομοιόμορφο πεδίο (Βλέπε σχήμα 3,5) όπου η τιμή της μέγιστης πεδιακής έντασης σχεδιάζεται έτσι ώστε να είναι σχεδόν η ίδια ανάμεσα στα ηλεκτρόδια υψηλής και χαμηλής τάσης. Για το λόγο αυτό, το μέγεθος του ηλεκτροδίου χαμηλής τάσης επιλέγεται να είναι μικρότερο από αυτό του ηλεκτροδίου υψηλής τάσης εξαιτίας της επίδρασης της γείωσης. Τόσο το επάνω όσο και το κάτω ηλεκτρόδιο σχεδιάζονται έτσι ώστε να έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια για να ελαχιστοποιούν την διασπορά των χαρακτηριστικών βραχυκυκλώματος και να δίνουν μικρότερη καθυστέρηση χρόνου.

Επιπλέον καθώς ένα ακόμη ηλεκτρόδιο ενσωματώνεται μέσα στο κάτω ηλεκτρόδιο η ακτινοβολήση του πάνω ηλεκτροδίου επηρεάζεται ακριβώς πριν από τη μέγιστη τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης από την αποφόρτιση ανάμεσα στο ενσωματωμένο ηλεκτρόδιο και στο ηλεκτρόδιο χαμηλής τάσης. Έτσι μειώνεται ο χρόνος καθυστέρησης της διάσπασης και η διασπορά των χαρακτηριστικών διάσπασης λόγω της έλλειψης ηλεκτρονίων εκκίνησης στο διάκενο.

Ο γραφίτης είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται για ηλεκτρόδια λαμβάνοντας υπόψη την ανθεκτικότητά του στο ρεύμα που δημιουργείται κατά την εκκένωση και επίσης την αντοχή του σε ισχυρό ηλεκτρικό τόξο μέσα στο διάκενο αερίου μετά τη διάσπαση.



Σχήμα 3.5 Ηλεκτρικό πεδίο γύρω από τα ηλεκτρόδια του εμφανιζόμενου διακένου σπινθήρος των 550 KV,

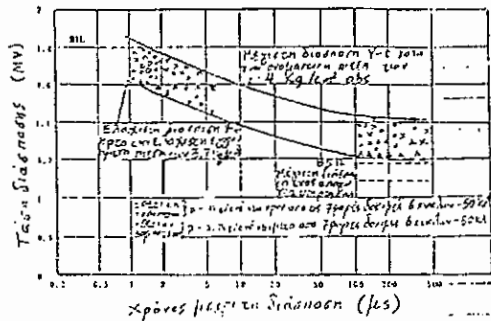
3.4.2 Χαρακτηριστικές διάσπασης ενός διακένου αερίου των 500 KV

Όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή, έχει ιδιαίτερη σημασία το ότι το διάκενο σπινθήρος SF6 διαθέτει ενδιάμεσες καμπύλες V-t που βρίσκονται μεταξύ των καμπυλών V-t του GIS και των καμπυλών V-t της μέγιστης διάσπασης των απαγωγέων υπερτάσης.

Επιπλέον με σκοπό να διεξαχθεί επιτυχώς η διαδικασία επαναλειτουργίας, το διάκενο σπινθήρος πρέπει να έχει τάση που να είναι πάνω από τη μέγιστη τιμή διάσπασης της υπερτάσης του απαγωγέα, αφότου έχει εξουδετερωθεί το ρεύμα βλάβης.

Οι χαρακτηριστικές διάσπασης μετρήθηκαν τόσο στην ονομαστική όσο και στην ελάχιστη εγγυημένη πίεση πριν και μετά την εφαρμογή 6 κύκλων φόρτισης με δυνατό ρεύμα των 50 KA

μέσα στο διάκενο, που επαναλήφθηκε επτά φορές. Το σχήμα 3.6 δείχνει τις χαρακτηριστικές V-t όπως μετρήθηκαν σε ένα διάκενο σπινθήρος 500 KV.



Σχήμα 3.6 Οι χαρακτηριστικές V-t για το διάκενο σπινθήρος 500 KV,

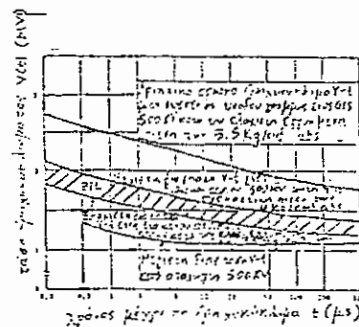
Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, το διάκενο δεν έχει καθόλου επίδραση στην πολικότητα ενώ υπάρχουν ελάχιστες μεταβολές των τάσεων διάσπασης. Οι μετρούμενες αυτές τιμές συμπίπτουν με τις τιμές που καθορίστηκαν από τις κλίσεις της πτώσης τάσης και από τον υπολογισμό του πεδίου.

Έχει εξακριβωθεί ότι δεν υπάρχει καμία ιδιαίτερη μεταβολή στις χαρακτηριστικές διάσπασης ακόμη και ύστερα από δοκιμές βραχυκύκλωσης των 50 KA - 6 κύκλων περισσότερο από 10 φορές και επίσης έχει εξακριβωθεί ότι το διάκενο σπινθήρος αντέχει την φασική τάση των 550 / $\sqrt{3}$ KV ακόμη και υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης.

Το διάκενο σπινθήρος έχει διακόψει με επιτυχία το χωρητικό ρεύμα των 150 A rms (ενεργός τιμή) εξαιτίας της ηλεκτροστατικής επαγωγής στις αποενεργοποιημένες γραμμές ενώ είναι ανθεκτικό στην τάση ανόρθωσης των 110 KV rms, τόσο όταν δεν υπάρχει ρεύμα βλάβης όσο και στην περίπτωση μετά από ρεύμα βλάβης

των 50 KA που έλαβε χώρα μέσα στο διάκενο. Επιπλέον το διάκενο σπινθήρος έχει επιτύχει στην εξάλειψη του ηλεκτρομαγνητικού επαγόμενου ρεύματος των 1.500 A στη γραμμή όπου υπάρχει βλάβη, σε συνθήκες γείωσης, ενώ είναι ανθεκτικό στην τάση ανόρθωσης των 12 KV rms. Επίσης έχει επιβεβαιωθεί η ανθεκτικότητα του διακένου σπινθήρος στην υπερτάση των 860 KV, η οποία δημιουργείται 1 δευτερόλεπτο μετά την εφαρμογή 6 κύκλων φόρτισης με ρεύμα 50 KA μέσα στο διάκενο.

Το σχήμα 3.7 απεικονίζει την οριακή καμπύλη βραχυκυκλώματος V-t της φάσης στη μόνωση της γείωσης του GIS του σχήματος 3.3. Επίσης απεικονίζει την καμπύλη διάσπασης V-t που αντιστοιχεί στο διάκενο αερίου του σχήματος 3.6 και ακόμη τη μέγιστη καμπύλη διάσπασης V-t του απαγωγέα υπερτάσης των 500 KV. Αυτό το σχήμα δείχνει καθαρά ότι το διάκενο σπινθήρος SF6 μπορεί σε μεγάλο βαθμό να προστατέψει τον GIS διατηρώντας το επίπεδο της τάσης των 1.800 KV στην περιοχή των 1,5 μsec περίπου και επίσης ότι οι χαρακτηριστικές διάσπασής του, συμφωνούν με αυτές του απαγωγέα υπερτάσης.



BIL: κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών

Σχήμα 3.7 Καμπύλες διαβάθμισης της μόνωσης για τις συσκευές στην είσοδο της γραμμής του GIS 500 KV για το προστατευτικό διάκενο στην είσοδο της γραμμής και για τον απαγωγέα του υποσταθμού

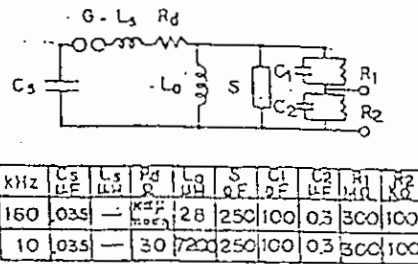
3.5 Διηλεκτρική αντοχή του υποσταθμού με μόνωση αερίου (GIS) ως προς τις ταλαντευόμενες υπερτάσεις

Ένας GIS κάτω από ορισμένες συνθήκες υπόκειται σε τέτοιες ταλαντευόμενες υπερτάσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1 (b), όταν το διάκενο αερίου SF₆ εξαφθοριούχου θείου διασπαστεί. Προκειμένου να εξακριβωθεί η μονωτική ικανότητα του GIS ως προς τέτοιου είδους ταλαντευόμενες υπερτάσεις, έγιναν δοκιμές βραχυκύκλωσης σε έναν μονοφασικό ζυγό κρουστικής στάθμης μόνωσης κεραυνών (BIL) των φ550 KV.

3.5.1. Το κύκλωμα δοκιμής και η κυματομορφή του

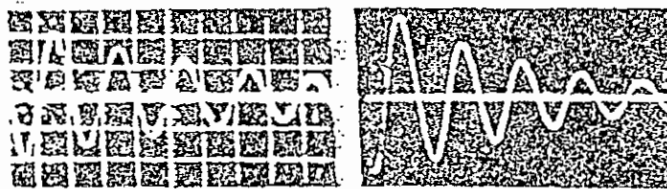
Παρόλο που η συχνότητα των ταλαντευομένων υπερτάσεων είναι της τάξης των MHz, στο κύκλωμα δοκιμής δημιουργήθηκαν ταλαντευόμενα κύματα απόσβεσης τόσο των 160 όσο και των 10 KHz με μέτωπο κύματος των 1,5 μsec, προκειμένου να μετρηθούν οι τάσεις διακοπής των μονωτήρων λόγω των συνθηκών της δοκιμής (βλέπε σχήμα 3.8). Αυτές οι ταλαντευόμενες υπερτάσεις χαμηλότερων συχνοτήτων είναι μάλλον πιο έντονες στα συστήματα μόνωσης με αέριο, σε σχέση με τις υπερτάσεις υψηλότερων συχνοτήτων και αυτό διότι όσο πιο μεγάλης διάρκειας είναι οι εφαρμοζόμενες τάσεις, τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό κλίσης, πτώσης τάσης για το SF₆ και ειδικότερα σε περιπτώσεις αρνητικής πολικότητας. Επομένως τέτοιες κυματομορφές στη δοκιμή δίνουν την πιο έντονη διηλεκτρική τάση

στους μονωτήρες και συνεπώς τα δεδομένα βραχυκυκλώματος είναι ασφαλή.



Σχήμα 3.8 Κύκλωμα δοκιμής για τη δημιουργία αποσβεστικών κυμάτων ταλαντευόμενης τάσης

Επιπλέον η τιμή της δεύτερης κορυφής του κύματος στη δοκιμή είναι πάνω από 80% της τιμής της πρώτης κορυφής με την ίδια πλευρική πολικότητα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9, ενώ η τιμή της δεύτερης κορυφής των ταλαντευόμενων κυμάτων που δημιουργούνται στο σύστημα εκτιμάται ότι θα είναι περίπου το 65% της τιμής της πρώτης κορυφής σύμφωνα με το σχήμα 3.1 (b). Εάν οι φορτίσεις χώρου δημιουργούνται από τάση του πρώτου μισού κύματος και δημιουργείται βραχυκύκλωμα στη μέγιστη τιμή του επομένου μισού του κύματος σε αντίστροφη πολικότητα, τότε η κυματομορφή της δοκιμής θα είναι πιο έντονη σε σχέση με τους μονωτήρες και είναι αποδεκτή.



(a) 160 kHz

(b) 10 kHz

Σχήμα 3.9 Οι κυματομορφές της δοκιμής

3.5.2 Αποτελέσματα δοκιμών

Η πίεση του αερίου του υπό δοκιμή μεταλλικού σκελετού ενός μονοφασικού ζυγού είναι ίση με $3,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$. Τάση ίση με 300 KV περίπου το 40% της προβλεπόμενης τάσης διακοπής, εφαρμόστηκε αρχικά ενώ στη συνέχεια της δοκιμής αυξάνεται συνεχώς με βήμα 20 KV μέχρι τη δημιουργία βραχυκυκλώματος. Έγιναν δοκιμές τόσο για θετική όσο και για αρνητική πολικότητα.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών απεικονίζονται στον πίνακα 2. Δεν βρέθηκε καμία αξιοσημείωτη διαφορά ανάμεσα στις τάσεις βραχυκυκλώματος για τις δοκιμές των 160 και 10 KHz. Βραχυκυκλώματα συμβαίνουν στην πρώτη μέγιστη τιμή και ποτέ στην δεύτερη μέγιστη τιμή αντίστροφης πολικότητας.

Πίνακας 2

Αποτελέσματα δοκιμών των τάσεων βραχυκυκλώματος στο μεταλλικό σκελετό των μονοφασικών ζυγών ως προς τα κύματα ταλαντευόμενης τάσης

KHz	Αρνητική τάση βραχυκυκλώματος (KV)		Θετική τάση βραχυκυκλώματος (KV)	
	Βραχυκύκλωμα	Μέσος όρος βραχυκ/τος	Βραχυκύκλωμα	Μέσος όρος βραχυκ/τος
160	725 726 681 691 710	707	πάνω από 720 << << 720 << << 700 -	720
10	670 715 726 690 700	700	698 709 680 715	701

Στο σχήμα 3.10 απεικονίζονται οι κυματομορφές και τα σημάδια εκκένωσης πάνω στο μονωτήρα κατά τα βραχυκυκλώματα. Στο

σχήμα αυτό φαίνεται ότι το βραχυκύκλωμα αρχίζει από το άκρο του κωνικού μονωτήρα, την περιοχή δηλαδή που καταπονείται έντονα.



Σχήμα 3.10 Τα σημάδια εκκένωσης στον κωνικό μονωτήρα για BIL 550 KV και οι κυματομορφές κατά τα εξωτερικά βραχυκυκλώματα

Οι τιμές βραχυκύκλωσης σε σχέση με τις ταλαντευομένες τάσεις του πίνακα 2, απεικονίζονται στο σχήμα 3.3. Οι τάσεις βραχυκύκλωσης σε σχέση με τις ταλαντευομένες τάσεις συμπίπτουν με τις τιμές των μονοφορικών τάσεων.

Τα παραπάνω αφορούν τους μονωτήρες κωνικού σχήματος για BIL 550 KV. Όμως όμοια μονωτική ικανότητα αναμένεται να έχουν και οι μονωτήρες 500 KV, καθώς η τάση σχεδιασμού είναι σχεδόν η ίδια με αυτή των μονωτήρων του BIL 550 KV.

Επομένως ο GIS έχει την δυνατότητα να ανταποκρίνεται επαρκώς στις ταλαντευομένες υπερτάσεις υψηλής συχνότητας και οι οποίες εμφανίζονται περιστασιακά όταν λαμβάνει χώρα η διάσπαση στο διάκενο.

3.6 Συμπεράσματα

Εξετάστηκε αναλυτικά και πειραματικά εάν τα διάκενα σπινθήρος SF6 μπορούν να εφαρμοστούν στη γραμμή του GIS έτσι ώστε να

παρέχουν προστασία, επειδή είναι αρκετά πιο οικονομικά.

Έτσι έχουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα που αφορούν τα 500 KV ή και μεγαλύτερες τιμές.

- (1) Η ανάλυση της διαβάθμισης της μόνωσης έδειξε ότι η χρήση διακένων σπινθήρος SF₆ με σταθερές και προσδιορισμένες χαρακτηριστικές διάσπασης, παρέχει ένα υψηλό βαθμό προστασίας του GIS τόσο με ανοιχτό όσο και με κλειστό διακόπτη, είτε ο υποσταθμός είναι τύπου υβριδίου είτε είναι πλήρης, συνδεδεμένος με εναέριες γραμμές.
- (2) Οι υπολογισμοί του πεδίου και οι χαρακτηριστικές καμπύλες V-t των μονωτικών συστημάτων με αέριο που προέκυψαν από πειράματα είναι σε θέση να δώσουν στον GIS τα κατάλληλα περιθώρια.
- (3) Η λεπτομερής ανάλυση του πεδίου κατέστησε δυνατό το σχεδιασμό του ηλεκτρικά συμμετρικού και σχεδόν ομοιόμορφου πεδίου στο διάκενο αερίου. Επιπλέον η ακτινοβολία του ηλεκτροδίου επηρεάζεται από την εκφόρτιση που δημιουργείται στο κάτω ηλεκτρόδιο. Συνεπώς υπάρχει μείωση του χρόνου καθυστέρησης. Έτσι οι συγγραφείς πέτυχαν όσον αφορά τη δημιουργία ενός διακένου σπινθήρος των 500 KV, το οποίο έχει μία ομαλή καμπύλη V-t με πολύ λιγότερες μεταβολές των τάσεων διάσπασης σε σχέση με τα κανονικά διάκενα αερίου και χωρίς την επίδραση της πολικότητας. Αυτό το διάκενο μπορεί να προστατέψει σε μεγάλο βαθμό του GIS διατηρώντας το επίπεδο της τάσης των 1.800 KV στην περιοχή των 1.5 μsec περίπου. Επιπλέον η

διάσπαση V-t του διακένου αερίου ακόμη και σε περίπτωση πτώσης πίεσεως, μπορεί να περιοριστεί σε ένα μικρό εύρος μεταξύ της V-t του GIS και της μέγιστης διάσπασης του απαγωγέα υπέρτασης.

(4) Καθώς τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από γραφίτηκ, το διάκενο σπινθήρος SF6 έχει μία εξαιρετική ικανότητα να μεταφέρει το ισχυρό ρεύμα τόξου αρκετές φορές χωρίς να παρουσιαστεί βλάβη. Εφαρμόστηκε για 10 φορές τόξο (βολταϊκό) 50 KA 6-κύκλων μέσω του διακένου χωρίς να συμβεί καμιά μεταβολή στις χαρακτηριστικές διάσπασης του διακένου. Οι ικανότητες διακοπής των επαγμένων ρευμάτων και η ανθεκτικότητά του ως προς τις υπερτάσεις, αποδείχτηκαν επίσης επαρκείς στις περιπτώσεις διακένων σε λειτουργία.

(5) Ο GIS έχει μια εξαιρετική μονωτική ικανότητα απέναντι στις ταλανταυομένες υπερτάσεις που περιστασιακά εμφανίζονται στην περίπτωση όπου το διάκενο αερίου διασπαστεί.

Από τα προαναφερόμενα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι τα διάκενα σπινθήρος SF6 είναι αποτελεσματικά ως προς την προστασία της εισόδου της γραμμής για τον υποσταθμό με μόνωση αερίου (GIS) 500 KV με κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών BIL των 1.800 KV.

Κεφάλαιο 4^ο

Επίδραση του περιβάλλοντος μέσου και η συμπεριφορά της λειτουργίας αντιστάσεων μεταλλικού οξειδίου (MO) σαν απαγωγείς υψηλής τάσης

Περίληψη

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στην απευθείας χρήση αντιστάσεων μεταλλικού οξειδίου (Metal oxide-MO) σαν απαγωγείς υπέρτασης χωρίς διάκενα σπινθήρος, ενώ επίσης λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά τους σε περιβάλλοντα διαφόρων αερίων όπως αυτά που δημιουργούνται εξ' αιτίας μερικής εκκένωσης στο εσωτερικό του απαγωγέα. Δίνεται έμφαση στη συμπεριφορά τους στον αέρα με προϊόντα αποσύνθεσης και σε SF₆ με προϊόντα αποσύνθεσης. Επιπλέον γίνεται αναφορά σε έρευνες σχετικές με απαγωγείς υπέρτασης μεταλλικού οξειδίου (MO) ενός συστήματος 110 KV ύστερα από αρκετά χρόνια λειτουργίας, όσον αφορά την σύνδεση του αερίου και το ρεύμα διαρροής.

4.1 Ορολογία - λέξεις κλειδιά

Προϊόντα αποσύνθεσης, πιθανή διάρκεια ζωής, αντιστάσεις μεταλλικού οξειδίου, βλαβερά αέρια, μερικές εκκενώσεις, μόλυνση, σταθερότητα στην λειτουργία, βήματα σταθεροποίησης, απαγωγέας υπέρτασης, περιβάλλον μέσο.

4.2 Εισαγωγή

Οι απαγωγείς υπέρτασης όταν σχεδιάζονται για εξωτερικές εγκαταστάσεις, είναι εκτεθειμένοι σε ένα μεγάλο αριθμό επιδράσεων από τον καιρό και τις περιβαλλοντικές επιδράσεις άσχετες με την εσωτερική κατασκευή τους. Ακόμη και οι συμβατικοί απαγωγείς που περιέχουν σειρές διατάξεων διακένων σπινθήρων και τμήματα αντιστατών SiC, όταν βρεθούν σε περιβάλλον N₂ είναι δυνατόν να παρουσιάσουν δυσλειτουργία, εξαιτίας των περιβαντολλογικών επιδράσεων. Στρώματα μόλυνσης από βιομηχανική ρύπανση, όταν υγραίνονται από την ομίχλη, την υγρασία της ατμόσφαιρας, η βροχή, η αλμύρα στις παράκτιες περιοχές, ο πάγος κλπ. Συμβάλλουν σε επιπλέον καταπόνηση του ενεργού τμήματος λόγω της αύξησης της κατανομής της εξωτερικής τάσης και συνεπώς οδηγούν σε μία ανομοιόμορφη κατανομή της τάσης στα διάκενα σπινθήρος. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει διάσπαση και βλάβη στον απαγωγέα. Επιπλέον η μερική εκκένωση που προκαλείται από την

ανομοιόμορφη κατανομή της τάσης, μπορεί επιπρόσθετα να δημιουργήσει μακροπρόθεσμες μεταβολές στις αντιστάσεις ρύθμισης που είναι συνδεδεμένες παράλληλα με το διάκενα σπινθήρος και συνεπώς να δημιουργήσουν βλάβες στον απαγωγέα. Κατά το παρελθόν δεν είχε γίνει καμία λεπτομερώς διερεύνηση των προαναφερωμένων φαινομένων. Βελτιώσεις στο σύστημα ρύθμισης οδήγησαν στην προστασία του διακένου σπινθήρος από τη μόλυνση.

Οι αρχές της δεκαετίας του '80 χαρακτηρίστηκαν από μία αυξανόμενη χρήση της νέας γενιάς των απαγωγέων υπέρτασης, το ενεργό μέρος των οποίων περιλαμβάνει τώρα μόνο αντιστάσεις μεταλλικών οξειδίων εκτεθειμένες στον ατμοσφαιρικό αέρα ή SF₆ στους απαγωγείς με μεταλλική επένδυση αντίστοιχα. Συνεπώς τα αρχικά προβλήματα των απαγωγέων υπέρτασης λόγω της δυσλειτουργίας του διακένου σπινθήρος εξαιτίας της μόλυνσης, σταμάτησαν να υπάρχουν.

Όμως πολύ σύντομα βρέθηκε ότι η μόλυνση - βιομηχανική μόλυνση ή η αλμύρα της θάλασσας - δεν έχει μόνο επίδραση στις αντιστάσεις μεταλλικού οξειδίου αλλά επιδρά και στην δημιουργία ηλεκτρικής εκκένωσης στο εσωτερικό του απαγωγέα η οποία αποσυνθέτει τα περιβάλλοντα αέρια και τα μετατρέπει σε βλαβερά αέρια. Συνεπώς μπορεί να αλλάξει τις χαρακτηριστικές των αντιστάσεων μεταλλικού οξειδίου (MO) και να προκαλέσει ζημιά στα τμήματα υποστήριξης του ενεργού τμήματος.

Στις εργασίες της IEC TC 37 WG 4, δεν υπάρχει καμία δοκιμή σχετικά με το πρόβλημα των βλαβερών αερίων. Μερικές

εκκενώσεις με όριο 50 PC σε συνεχή τάση λειτουργίας, έδειξαν ότι δεν είναι κατάλληλες για αυτό. Επομένως οι χρήσεις των απαγωγέων υπέρτασης μεταλλικού οξειδίου δημιουργούν τις ακόλουθες προδιαγραφές :

1. Σε μία στεγνή, καθαρή κατάσταση ο απαγωγέας υπερτάσης πρέπει να είναι ελεύθερος από εσωτερικές μερικές εκκενώσεις μέχρι την τάση μεταξύ φάσης και γείωσης.
2. Καθώς οι μερικές εκκενώσεις είναι δυνατόν να συμβαίνουν πάντα εξαιτίας περιβαλλοντολογικών επιδράσεων, οι αντιστάσεις μεταλλικού οξειδίου που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι ανθετικές στα βλαβερά αέρια που δημιουργούνται εξαιτίας των μερικών εκκενώσεων.

Σύμφωνα με τα στατιστικά της VDEW (Ένωση Ηλεκτρικών Σταθμών Παραγωγής της Γερμανίας), το 1988 βρίσκονταν σε λειτουργία στην Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Γερμανίας οι παρακάτω απαγωγείς MO (στις παρενθέσεις δίνεται το ποσοστό επί τοις εκατό σε σχέση με το σύνολο των εγκατεστημένων απαγωγέων).

Συστήματα μέσης τάσης (10 ως 30 KV) : 7425 (1,8%)

Σύστημα 110 KV : 471 (3,3%)

Σύστημα 220 KV : 123 (7%)

Σύστημα 380 KV : 48 (7%)

Δεν συμπεριλαμβάνονται οι ουδέτεροι απαγωγείς. Οι ποικίλες επιδράσεις των βλαβερών αερίων στα τμήματα μεταλλικών οξειδίων περιγράφονται στη συνέχεια.

4.3 Διαδικασία της δοκιμής

4.3.1. Αντιστάσεις μεταλλικού οξειδίου που εξετάστηκαν

Για τις δοκιμές έγινε μία επιλογή από μεταβλητές αντιστάσεις (varistors) διαφορετικών κατασκευών σε σχέση με την σύνθεση του κεραμικού MO και με τη διαδικασία παραγωγής (πίνακας I). Επίσης λήφθηκαν υπόψη και υλικά από την εφαρμογή της τεχνικής MO (μεταλλικού οξειδίου).

Τύπος μεταβλητής αντίστασης	Διάμετρος σε mm	Υψος σε mm	Υπολειμα-τική τάση ως τα 10KA 8/20 μ s	Υλικό σύνθεσης	Τρόπος παραγωγής
A	80	24	5.0 KV	1	I
B	75	23	6.7 KV	2	II
C	70	24	7.0 KV	3	III
D	70	24	7.0 KV	3	IV
E	20	1.5	0.7 KV	4 χωρίς επένδυση	V

Πίνακας I

Δεδομένα σχετικά με τις αντιστάσεις μεταλλικού οξειδίου που εξετάστηκαν.

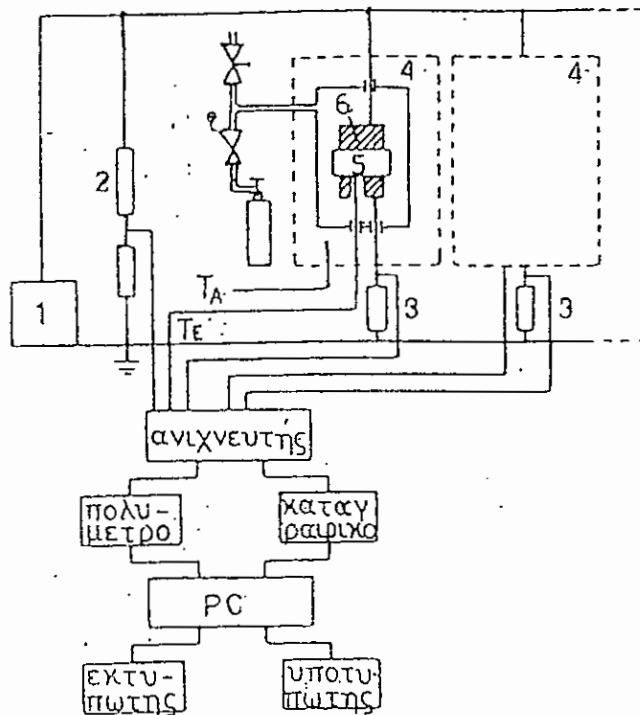
4.3.2. Τεστ γήρανσης (επιταχυνόμενης καταπόνησης)

Τα τεστ γήρανσης έγιναν με σκοπό την εξάλειψη οποιουδήποτε μη αποδεκτού παράγοντα καταπόνησης που είναι επικίνδυνος, όσον αφορά την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος. Σύμφωνα με το σχέδιο IEC TC 37 WH 4, έγινε τέτοιου είδους δοκιμή σε τμήμα MO σε ανεβασμένη θερμοκρασία των 115°C και υπό την επίδραση συνεχόμενης τάσης λειτουργίας. Αυτές οι δοκιμές με διαφορετικά κάθε φορά περιβάλλοντα μέσα, λαμβάνουν υπόψη την πιθανή δημιουργία επιβλαβών αερίων καθώς και τη μείωση του οξυγόνου που δημιουργούνται λόγω μερικών εκκενώσεων. Οι απώλειες ισχύος στα δείγματα της δοκιμής χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της φθοράς. Χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία σαν παράγοντα επιτάχυνσης είναι πιθανόν να βγουν συμπεράσματα για την πιθανή διάρκεια ζωής μέσω μίας δοκιμής που διαρκεί περίπου 1.000 ώρες.

Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα μέτρησης και επεξεργασίας υποβοηθούμενο από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (Σχήμα 4.2).

- 1 - Παραγωγή τάσης ac
 - 2 - Διαιρέτης τάσης
 - 3 - Αντιστάσεις shunts
 - 4 - Κλίβανοι ηλεκτρικής θερμάνσεως
 - 5 - Αντίσταση μεταλλικού οξειδίου
 - 6 - Τμήματα αλουμινίου (για σταθεροποίηση της θερμοκρασίας)
- TA - Θερμοκρασία κλιβάνου

TE - Θερμοκρασία αντίστασης ΜΟ (115°C)



Σχήμα 4.1 Διάταξη της δοκιμής για τα τεστ γήρανσης

Χρησιμοποιήθηκε ένας ανιχνευτής για να μεταδίδει τις μεταβολές της θερμοκρασίας, της τάσης και του ρεύματος στα αντίστοιχα όργανα, το καταγραφικό και το πολύμετρο. Τα δεδομένα των μετρήσεων επεξεργάζονται στη συνέχεια από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή και εκτυπώνονται σε ένα εκτυπωτή ή σε ένα υποτυπωτή.

4.4 Συμπεριφορά σε περιβάλλον με αέρια

4.4.1. Επίδραση της υγρασίας

Στους απαγωγείς που είναι καλά σφραγισμένοι και περιέχουν στεγνό αέρα όπως και στους απαγωγείς με μόνωση αερίου που διαθέτουν SF₆, η σχετική υγρασία περιορίζεται συνήθως σε ένα πολύ μικρό ποσοστό επί τοις εκατό. Δεν αναμένεται καμία αύξηση στο ρεύμα εξαιτίας αυτού του μικρού ποσοστού υγρασίας τόσο στον αέρα όσο και στο SF₆. Αυτό αποδείχτηκε σε δοκιμές που είχαν διάρκεια 5.000 ωρών περίπου. Μόνο η επίδραση του περιβάλλοντος με υδρατμούς, προκαλεί αισθητή αύξηση στο ρεύμα μετά από δοκιμή διάρκειας περίπου 100 ωρών. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν διαφορές στη λειτουργία με SF₆ ή με αέρα.

Είναι πιθανόν ότι η αιτία της αύξησης του ρεύματος σε ένα περιβάλλον με υδρατμούς, αποδίδεται στην απορρόφηση, στη διάχυση και στην περίπτωση υλικού με ανοιχτό πορώδες, στην τριχοειδή ανύψωση του νερού, με συνέπεια την αύξηση της αγωγιμότητας. Η διαδικασία είναι αντίστροφη καθώς οι αρχικές ηλεκτρικές ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν με θέρμανση των δειγμάτων σε κλίβανο. Πρέπει να σημειωθεί ότι ανοιχτό πορώδες παρατηρήθηκε μόνο κατά την περίπτωση σκόπιμα παραγόμενων για αυτό, δειγμάτων για τις δοκιμές.

4.4.2. Επίδραση από περιβάλλοντα διαφορετικών αερίων

Κατ' αρχήν εξετάζεται η συμπεριφορά σε διαφορετικά αέρια. Τέτοια αέρια είναι δυνατόν να υπάρχουν σαν συστατικά του μέσου που περιβάλλει την αντίσταση μεταλλικού οξειδίου (MO) στο εσωτερικό του απαγωγέα και κατά την περίπτωση αποσύνθεσης.

Επιβλαβή αέρια είναι δυνατόν να δημιουργούνται για παράδειγμα εξαιτίας μερικών εκκενώσεων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκκένωσης. Καθώς οι διαδικασίες αυτές είναι σπάνιες και μόνο μικρής διάρκειας, τα επιβλαβή αέρια που δημιουργούνται με αυτό το τρόπο συμβαίνουν μόνο σε μικρή έκταση. Επιπλέον στους εξωτερικούς απαγωγείς (που είναι εκτεθειμένοι στην ατμόσφαιρα), μία αύξηση στο ηλεκτρικό δυναμικό λόγω εξωτερικής μόλυνσης και συνεπώς μία μεταβολή στην κατανομή της τάσης μέσα στον απαγωγέα μπορεί να οδηγήσει σε εσωτερικές μερικές εκκενώσεις. Σύμφωνα με τις αναφορές κάποιων βιβλιογραφιών, εκκενώσεις που δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο όπως έχει παρατηρηθεί προκαλούν μία μείωση στο ποσοστό του οξυγόνου μέσα στον απαγωγέα που ακολουθείται από ταυτόχρονο σχηματισμό επιβλαβών αερίων όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του αζώτου (NO_2), αμμωνία (NH_3) (βλέπε επίσης και στο κεφάλαιο 4.6, πίνακας II). Η παρουσία της υγρασίας είναι επίσης δυνατόν να οδηγήσει στο σχηματισμό νιτρικού οξέος (HNO_3).

Κατά την αποσύνθεση του SF_6 σχηματίζεται ένας αριθμός από

βάσεις, ιόντα ή ουδέτερα μόρια (SF_x) όταν λαμβάνει χώρα η διάσπαση των ατόμων του φθορίου. Μαζί με την επίδραση της υγρασίας δημιουργούνται τότε ενεργά οξέα όπως το υδροφθορικό οξύ (HF), διοξείδιο του θείου (SO₂) και θειικό οξύ (H₂SO₄) των οποίων η ικανότητα διάβρωσης είναι γνωστή.

4.4.3. Αποτελέσματα από προηγούμενες εργασίες

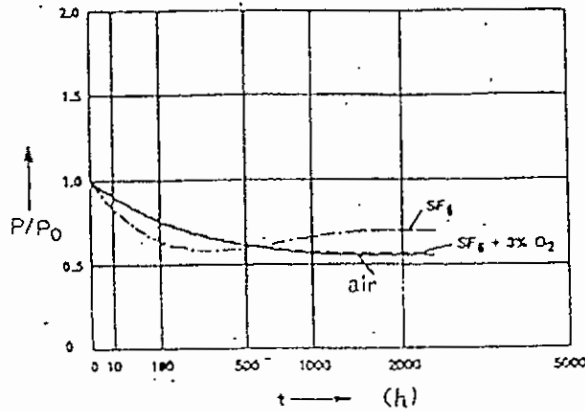
Διάφορες δοκιμές σχετικές με αρκετές περιπτώσεις βλαβών σε απαγωγείς αποδεικνύουν ότι θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο περιεχόμενο σε οξυγόνο του μέσου που περιβάλλει τις αντιστάσεις μεταλλικού οξειδίου. Για παράδειγμα η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του ξηρού αρχικά αέρα, πέφτει σε μερικές περιπτώσεις κάτω από 1%. Για την περίπτωση αντιστάσεων μεταλλικού οξειδίου (MO) καταγράφηκε γρήγορη γήρανση λόγω της απουσίας του οξυγόνου, γεγονός που επηρέασε κυρίως τους απαγωγείς που δεν είχαν προστατευτική επικάλυψη.

Βιβλιογραφίες αναφέρουν ότι η παρουσία του οξυγόνου παίζει σημαντικό ρόλο για την μακροπρόθεσμη σταθερότητα των αντιστάσεων MO ακόμη και κατά τη διάρκεια καθορισμένων διαδικασιών παραγωγής. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές η μεταβολή των χαρακτηριστικών της αντίστασης MO σε υψηλές θερμοκρασίες εκδηλώθηκε με την ελάττωση αερίων όπως μείγματα CO/CO₂. Επιπλέον εξακριβώθηκε μία εξάρτηση της αντίστασης από την μερική πίεση του οξυγόνου του περιβάλλοντος μέσου. Η μεταβολή εξηγήθηκε από τις διόδους χαμηλής αντίστασης σε ορισμένες περιοχές του κεραμικού και

από τις μειώσεις των ηλεκτρικά δραστικών εμποδίων μεταξύ των κόκκων του οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO). Οι δοκιμές που περιγράφηκαν και που αφορούν προηγούμενες εργασίες, δείχνουν ότι είναι δυνατόν να επανακτηθούν οι ιδιότητες των αντιστάσεων MO κατά την λειτουργία τους σεοξειδωτικά περιβάλλοντα.

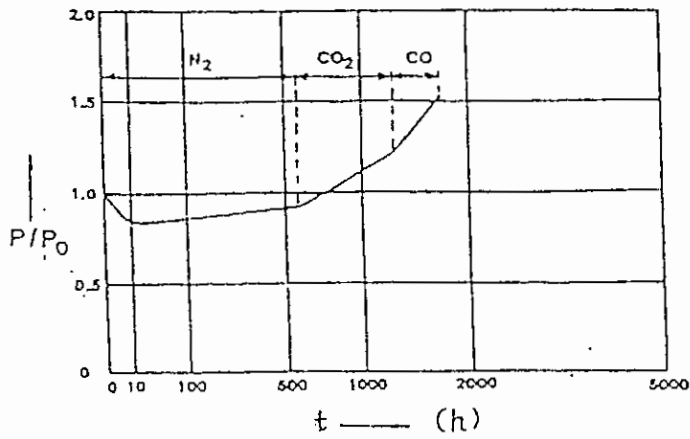
4.4.4. Επιπρόσθετες έρευνες

Τα αποτελέσματα που φαίνονται στο σχήμα 4.2 δείχνουν την επίδραση του οξυγόνου στην συμπεριφορά της αντίστασης μεταλλικού οξειδίου. Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο (δείγμα εργαστηρίου τύπου A), έγινε μετατροπή της ισχύος σε στοιχείο κατά τη διάρκεια επιταχυνόμενης δοκιμής διάρκειας ζωής στους 115°C όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.2 ($\dot{U} = 0,47 \cdot k10KA$). Παρατηρήθηκαν ουσιαστικά οι ίδιες καμπύλες απώλειας ισχύος για τις αντιστάσεις MO τόσο στον αέρα όσο και σε μείγμα SF₆/O₂ (3%O₂). Στην περίπτωση αυτή δεν παρατηρήθηκε καμιά φθορά λόγω γήρανσης. Όμως στην περίπτωση όπου είχαμε καθαρό SF₆ μετά την αρχική διαβάθμιση (βελτίωση στις χαρακτηριστικές τάσης - ρεύματος), παρατηρήθηκε μία μικρή αύξηση η οποία όπως και με τις χαρακτηριστικές V-I, αντιστοιχεί σε καταπόνηση και μπορεί να αποδοθεί στην απουσία του οξυγόνου. Προσθέτοντας οξυγόνο στο αέριο της δοκιμής, μπορεί πάλι να δημιουργηθεί μία μείωση στις απώλειες ισχύος.

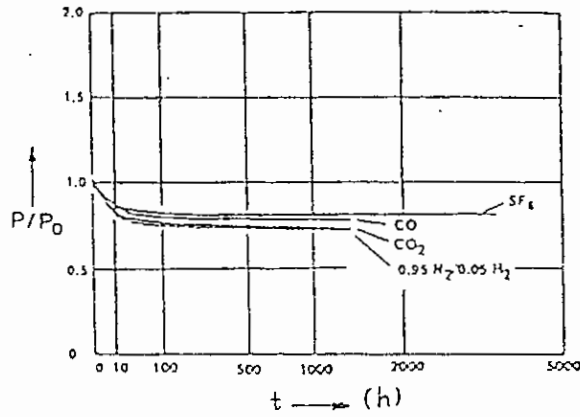


Σχήμα 4.2 Δοκιμή διάρκειας ζωής στους 115°C : οι απώλειες ισχύος στις αντιστάσεις MO (τύπος A) σε συνάρτηση με το χρόνο δοκιμής για λειτουργία σε διάφορα περιβάλλοντα

Έρευνες σχετικές με τον τύπο Β δείχνουν την επίδραση διαφορετικών αερίων κατά την διαδικασία της καταπόνησης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3 έχουμε μία επιτάχυνση της καταπόνησης κατά τη σειρά N₂, CO₂, CO. Κατά τη διάρκεια των εργασιών για την σταθεροποίηση των αντιστάσεων MO, βρέθηκε ότι με κατάλληλη επιλογή της σύνθεσης, με ένα έλεγχο της διαδικασίας παραγωγής και με την κατάλληλη επιλογή της επικάλυψης, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής των στοιχείων MO τύπου C (σχήμα 4.4), τα οποία δεν αντιδρούν κατά την λειτουργία τους σε περιβάλλοντα αναγωγής όπου υπάρχει αύξηση στην απώλεια ισχύος. Επιπλέον έχει δειχθεί ότι όλα τα βήματα σταθεροποίησης τα οποία έγιναν, είναι μία απαραίτητη προϋπόθεση για σταθερή λειτουργία σε περιβάλλοντα αναγωγής. Ακόμη και στην περίπτωση κατά την οποία μόνο ένα βήμα σταθεροποίησης δεν πραγματοποιηθεί (για παράδειγμα ο τύπος D) τότε παρατηρείται μία μεγάλη αύξηση στις απώλειες ισχύος, τουλάχιστον στο CO (βλέπε σχήμα 4.5).

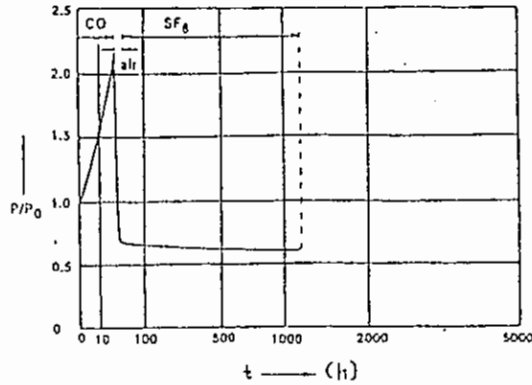


Σχήμα 4.3 Δοκιμή γήρανσης στους 115°C : οι απώλειες ισχύος στην αντίσταση MO (τύπος B) σε συνάρτηση με το χρόνο δοκιμής και λειτουργία σε διάφορα περιβάλλοντα



Σχήμα 4.4 Δοκιμή γήρανσης στους 115°C : αντιστάσεις MO (τύπος C) χωρίς αύξηση στις απώλειες ισχύος σε αναγωγικά περιβάλλοντα

Εάν τα στοιχεία MO αντιδρούν στην έλλειψη οξυγόνου στους απαγωγείς με SF_6 με αύξηση της απώλειας ισχύος, τότε θα πρέπει να προστεθεί μία μικρή αναλογία οξυγόνου στο SF_6 . Αυτό δεν εξασθενεί την διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού αερίου αλλά όμως δεν εξασφαλίζει από την άλλη πλευρά και την βεβαιότητα για μία μακροπρόθεσμη σταθερή λειτουργία (βλέπε σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.5 Δοκιμή γήρανσης στους 115°C : αντίσταση MO (τύπος D) όπου ένα από τα βήματα σταθεροποίησης δεν έγινε και εμφανίζεται μία μεγάλη αύξηση στις απώλειες ισχύος σε περιβάλλον CO

4.4.5. Συζήτηση

Η μη γραμμικότητα στη V-I χαρακτηριστική προέρχεται από το φράγμα δυναμικού που επικρατεί μεταξύ των κόκκων ZnO-ZnO. Σύμφωνα με αναφορές αυτά τα φράγματα δυναμικού σχηματίζονται λόγω συμπύκνωσης. Φυσικά ανάλογα αυτών των φραγμάτων δυναμικού είναι οι ατέλειες που υπάρχουν στο κρυσταλλικό πλέγμα του ZnO (κενές θέσεις οξυγόνου που λειτουργούν σαν δότες και κενές θέσεις ψευδαργύρου που λειτουργούν σαν δέκτες).

Η συγκέντρωση στις περιοχές των ατελιών αυτών ελέγχεται από την παρουσία ενός εξωγενούς δότη καθώς επίσης και από φαινόμενα διάχυσης κατά την περίοδο ψύξης των κεραμικών. Οι συγκεντρώσεις αυτές αποτελούνται από κενές θέσεις οξυγόνου που κυριαρχούν στο εσωτερικό του κόκκου σε μία περιοχή μικρού πάχους γύρω από την ένωση κόκκου με κόκκο, δημιουργώντας έτσι μία n-i-n ομογενή σύνδεση.

Σύμφωνα με αναφορές όταν εφαρμόζεται τάση λειτουργίας το ηλεκτρικό πεδίο τροποποιείται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα οξυγόνου συσσωρεύονται στην επιφάνεια του κόκκου κατά την περίπτωση ανεπαρκώς σταθεροποιημένων κεραμικών. Από την επιφάνεια το οξυγόνο μπορεί αρκετά εύκολα να μετακινηθεί κατά μήκος το ορίων του κόκκου. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις στις ελαττωματικές περιοχές στις επαφές των κόκκων δημιουργώντας στη συνέχεια υποβάθμιση του ύψους του φράγματος δυναμικού. Αυτό το μοντέλο εξηγεί ποιοτικά την λειτουργία καταπόνησης στον αέρα, κεραμικών από μεταβλητές αντιστάσεις (varistors) που είναι ανεπαρκώς σταθεροποιημένων.

Σ' ένα περιβάλλον με ελαττωμένη μερική πίεση οξυγόνου (για παράδειγμα σε N_2), λαμβάνει χώρα μία εντατικοποιημένη διασπορά του οξυγόνου κατά μήκος των ορίων των κόκκων προς την επιφάνεια του αντιστάτη MO. Συνεπώς το φράγμα δυναμικού μειώνεται ακόμη πιο γρήγορα οδηγώντας σε μία πιο γρήγορη αύξηση της απώλειας ισχύος (Σχήμα 4.3 τύπος B, στο N_2). Εάν η αντίσταση MO είναι ακόμη εκτεθειμένη σε αναγωγικό περιβάλλον, για παράδειγμα CO τότε τα αποτελέσματα είναι ακόμη πιο έντονα (Σχήμα 4.3, τύπος B).

Η γρήγορη μεταβολή στην κατανάλωση ισχύος εξαιτίας του περιβάλλοντος (τύπος B, σχήμα 4.3 και τύπος D, σχήμα 4.5) δείχνει ότι η αποσύνθεση του υλικού αρχικά συμβαίνει στις περιφερειακές περιοχές του στοιχείου. Η σύγκριση των στοιχείων τύπου C και τύπου D δείχνει ότι μόνο ένας συνδυασμός σύνθεσης υλικών και διαδικασίας παραγωγής καταλήγει σε

σταθερές αντιστάσεις MO χωρίς καταπόνηση ακόμη και σε αναγωγικό περιβάλλον (CO, σχηματιζόμενο αέριο).

4.5 Συμπεριφορά του αέρα με προϊόντα αποσύνθεσης και του SF6 με προϊόντα αποσύνθεσης

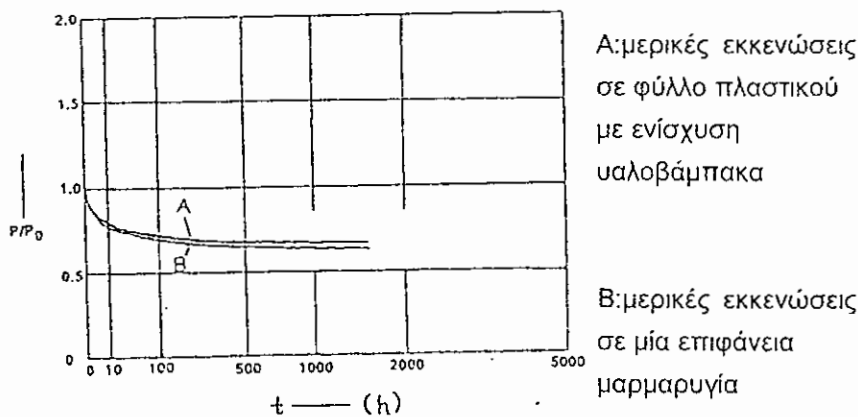
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι δυνατόν να συμβαίνουν εσωτερικές μερικές εκκενώσεις στους απαγωγείς υπέρτασης. Το ποσό του φαινομενικού φορτίου που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση μερικών εκκενώσεων είναι συνήθως κάτω από το όριο ανίχνευσης, στην περίπτωση ξεχωριστών στοιχείων αντιστάσεων MO. Όμως μερικές εκκενώσεις μπορεί να συμβούν μέσα στους απαγωγείς σε περίπτωση που αυτοί επηρεάζονται από μόλυνση. Πρέπει στην περίπτωση αυτή να αναμένεται ζημιά στο υλικό των αντιστάσεων MO και στα εσωτερικά τμήματα καθώς επίσης και αποσύνθεση του περιβάλλοντος μέσου εξαιτίας αυτών των μερικών εκκενώσεων. Στόχος πρέπει να είναι η αποφυγή των μερικών εκκενώσεων μέσα στον απαγωγέα παίρνοντας τα κατάλληλα μέτρα κατά τη φάση της σχεδίασης.

4.5.1. Επίδραση του αέρα με προϊόντα αποσύνθεσης

Η αποσύνθεση του αέρα έχει δυσμενή επίδραση στα στοιχεία MO, με τη μορφή της καταπόνησης η οποία κυρίως εμφανίζεται

στις αντιστάσεις που δεν έχουν προστατευτική επικάλυψη. Παραπάνω υπήρχε αναφορά στις μακροχρόνιες επιδράσεις των προϊόντων εκκένωσης σε ευαίσθητες αντιστάσεις ΜΟ, που δημιουργούνται στο εργαστήριο, σε ξηρό αέρα και σε ξηρό άζωτο. Καμιά μεταβολή δεν παρατηρήθηκε στη περίπτωση ξηρού οξυγόνου.

Κατά τη διάρκεια των ερευνών διεξήχθησαν αρκετές δοκιμές επιταχυνόμενης καταπόνησης (γήρανσης) σε ανεβασμένες θερμοκρασίες (115°C) και σε διάφορα αέρια τα οποία χαρακτηρίζουν τα συστατικά του αποσυντιθέμενου αέρα (βλέπε παράγραφο 4.4.2). Αντίστοιχες πραγματικές δοκιμές γήρανσης σε ανεβασμένες θερμοκρασίες στον αέρα με ταυτόχρονες μερικές εκκενώσεις, έδειξαν επίσης ότι στην περίπτωση σταθεροποιημένων στοιχείων (τύπος C, σχήμα 4.6) δεν συμβαίνουν καθόλου δυσμενείς μεταβολές στις χαρακτηριστικές της αντίστασης.

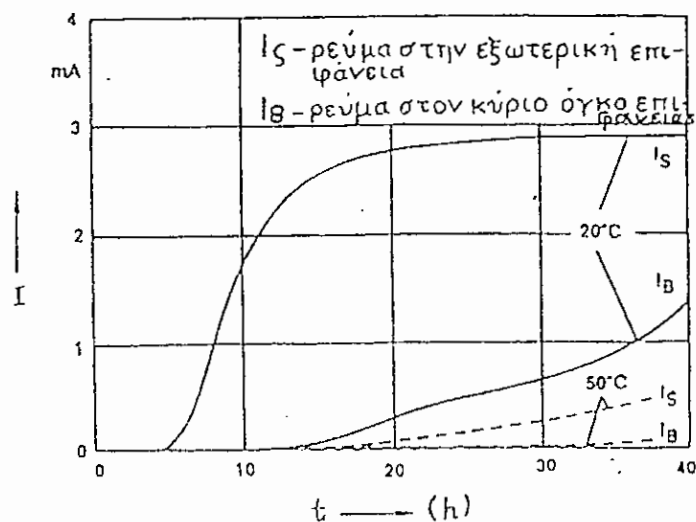


Σχήμα 4.6 Δοκιμή γήρανσης στους 115°C : απώλειες ισχύος στις αντιστάσεις ΜΟ (τύπος C) σε συνάρτηση του χρόνου της δοκιμής με μερικές εκκενώσεις στον αέρα

4.5.2. Επίδραση του SF6 με προϊόντα αποσύνθεσης

Η επίδραση του SF6 με προϊόντα αποσύνθεσης στη λειτουργία της αντίστασης MO έχει αναφερθεί λεπτομερώς στην παράγραφο 4.5. Εκεί βρέθηκε ότι κατά τη παρουσία προϊόντων αποσύνθεσης του SF6 με αυξημένη υγρασία του αερίου της δοκιμής, παρατηρείται μία αύξηση της διαρροής ρεύματος μετά από σύντομες και πιο σύντομες χρονικές περιόδους. Μία αυξημένη ένταση της αποσύνθεσης SF6 έχει το αντίστοιχο αποτέλεσμα. Μόνο σε μία σχεδόν ανυδρή ατμόσφαιρα δεν υπάρχει καμιά επίδραση. Μπορεί να υποθεθεί ότι η αιτία της αύξησης στη διαρροή του ρεύματος, είναι η δημιουργία ηλεκτρολυτών νερού (προϊόντα διάσπασης) οι οποίοι σχηματίζουν ηλεκτρικά αγωγιμα στρώματα στην επιφάνεια του στοιχείου και συνεπώς μειώνουν την αντίσταση.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7 (τύπος E) το αυξανόμενο ρεύμα στη μεταβλητή αντίσταση (varistor) προκαλεί θέρμανση του υπό δοκιμή απαγωγέα, που αναστέλλει την επιπλέον προσρόφηση της υγρασίας και των προϊόντων αποσύνθεσης SF6 και επομένως έχει ισορροπητική επίδραση στο ρεύμα. Αρχικά λαμβάνουν χώρα βλάβες στην επιφάνεια του στοιχείου εξαιτίας των προϊόντων αποσύνθεσης. Συνεπώς ανάλογα με την γεωμετρία της αντίστασης MO, η αύξηση στην διαρροή του ρεύματος προσδιορίζεται αρχικά από την κατάσταση των επιφανειακών περιοχών που βρίσκονται ανάμεσα στις επιφάνειες επαφής και από την ενέργεια που ταυτόχρονα μετατρέπεται σ' αυτές τις περιοχές του στοιχείου.



Σχήμα 4.7 Ρεύμα αντίστασης MO (τύπος E) στην κύρια περιοχή της επιφάνειας και ρεύμα στην εξωτερική (μετρημένο με σύστημα δακτυλίου) επιφάνεια σαν συνάρτηση του χρόνου με μόνιμη αποσύνθεση SF₆, σχετική υγρασία 75%, θερμοκρασία 20°C και 50°C

4.6 Εξέταση ολοκληρωμένων απαγωγέων υπέρτασης

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι αιτίες των βλαβών για τις εν λειτουργία αντιστάσεις MO υπέρτασης, έγινε εξέταση αρκετών απαγωγέων μεταλλικού οξειδίου που ήταν σε λειτουργία για αρκετά χρόνια σε συνθήκες βιομηχανικής ρύπανσης. Οι δοκιμές αυτές έγιναν στην Εταιρεία Ερευνών Υψηλής Τάσης και Υψηλών Ρευμάτων, στο Μόναχο της Γερμανίας.

Οι απαγωγείς που εξετάστηκαν ήταν απλοί απαγωγείς (προβλεπόμενη τάση περίπου στα 150 KV) από ένα σύστημα των 110 KV που λειτουργούσε για 3 χρόνια. Πρώτα απ' όλα έγινε εξέταση ως προς τα συστατικά του αερίου που βρέθηκε στους απαγωγείς. Τα αποτελέσματα σχετικά με αυτό φαίνονται στον

πίνακα II.

Πίνακας II

Σύνθεση του αερίου (σε όγκο %) σε απαγωγείς μετά από 3 χρόνια λειτουργίας (κυρίως κατά τις δοκιμές στεγανοποίησης ο απαγωγέας C, έχει σχεδόν την αρχική σύνθεση αερίου εκτός από μικρό περιεχόμενο σε CO και CO₂).

Τύπος απαγωγέα	N ₂	O ₂	CO	CO ₂	Άλλα αέρια
a	79.9	1.1	1.3	9.4	8.3
b	83.8	1.1	4.6	8.7	1.8
c	76.0	15.3	0.4	0.5	7.8
d	87.2	5.0	3.1	4.5	0.2
e	82.3	2.4	2.1	4.7	8.5
f	80.0	2.5	4.3	5.2	8.0
g	79.8	2.8	3.8	5.8	7.8
h	82.0	2.3	2.4	4.4	8.9

Είναι αξιοσημείωτο ότι εκτός από τους απαγωγείς c και d, η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο έχει μειωθεί σ' όλους τους απαγωγείς σε λιγότερο από 3%. Η κατανάλωση του οξυγόνου δείχνει ότι συνέβησαν εκκενώσεις μέσα στον απαγωγέα όπου εφαρμόστηκε τάση μεταξύ γραμμή και γείωσης κατά τη διάρκεια 3 ετών λειτουργίας δεν παρατηρήθηκαν τάσεις από γραμμή σε γραμμή διά μέσου των απαγωγέων που προκαλούνταν από σφάλματα γείωσης.

Μετά από αυτό έγινε μέτρηση για τρεις φορές των ρευμάτων διαρροής των απαγωγέων που φαίνονται στον πίνακα II υπό τάση γραμμής προς γείωση ($63 \text{ KV} = 110 \text{ KV}/\sqrt{3}$, που αντιστοιχεί περίπου στο 55% της συνεχούς τάσης λειτουργίας του απαγωγέα). Η ωμική συνιστούσα προσδιορίστηκε με ταλαντογράφο. Οι μετρήσεις έγιναν με την διερεύνηση του αερίου

και μετά τους απενεργοποιημένους χρόνους ανάκτησης των 1.000 ωρών και 2.000 ωρών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διαρροή ρεύματος του απαγωγέα ήταν αρκετά μεγαλύτερη από την αρχική. Κατά τη διάρκεια του απενεργοποιημένου χρόνου ανάκτησης, η διαρροή ρεύματος ελαττώθηκε. Όμως δεν προσεγγίστηκε η αρχική τιμή ακόμη και μετά από 2.000 ώρες. Στην πρώτη μέτρηση δηλαδή μερικές ημέρες μετά την απενεργοποίηση, η ωμική συνιστούσα ήταν 1.2 mA, που ισούται περίπου με 20 φορές την αρχική τιμή. Πιθανότατα αυτό το ρεύμα ήταν ακόμη μεγαλύτερο κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Αυτό σημαίνει ότι ο απαγωγέας αναπόφευκτα θα πάθαινε βλάβη κάποια στιγμή νωρίτερα ή αργότερα. Αυτό επίσης δείχνει ότι η έλλειψη οξυγόνου μπορεί να είναι επικίνδυνη για τους απαγωγείς MO εάν τα στοιχεία τους δεν είναι σταθερά έναντι των παραπάνω επιδράσεων. Οι απαγωγείς b, c, d, e, f, g, h δεν έδειξαν κάποια αξιοσημείωτη αύξηση του ρεύματος διαρροής κατά την πρώτη μέτρηση. Μερικοί από τους προαναφερόμενους απαγωγείς ανοίχθηκαν. Ίχνη διάβρωσης βρέθηκαν στα μεταλλικά στοιχεία στήριξης και ίχνη εκκένωσης βρέθηκαν στην εσωτερική πλευρά της πορσελάνης. Οι αντιστάσεις MO για όλους τους απαγωγείς a.....h που διερευνήθηκαν εντάσσονται στην κατηγορία τύπου B του πίνακα I.

Επίσης με σκοπό τον έλεγχο καινούριων απαγωγέων υπέρτασης μεταλλικού οξειδίου με καθαρή, στεγνή επιφάνεια πορσελάνης για εσωτερικές μερικές εκκενώσεις σε τάσεις σχετικές με αυτές του συστήματος μεταξύ 63 KV και 123 KV, στην εταιρεία FGH πήραν

διάφορους τύπους, αφαίρεσαν το ενεργό τμήμα για να κολλήσουν ταινίες ενός λεπτού στρώματος σε διάφορα σημεία (κατάλληλα σημεία ήταν οι πλάκες στήριξης ή οι ενδιάμεσες πλάκες) και τις συναρμολόγησαν πάλι στο πορσελάνινο περίβλημα. Κατά τις διάφορες δοκιμές διάρκειας μίας ώρας, βρέθηκε ότι αυτοί οι απαγωγείς με τα καθαρά περιβλήματα δεν παρουσίασαν εσωτερικές μερικές εκκενώσεις για τάσεις μέχρι και 71 KV. Όμως σε μερικούς απαγωγείς εξακριβώθηκαν μερικές εκκενώσεις σε τάση των 110 KV (που αντιστοιχεί στην συνεχή τάση λειτουργίας), η οποία προσεγγίζεται σε μία σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο όπου εμφανίστηκαν βλάβες στη γείωση του συστήματος (βλάβες στα πηνία). Αυτές οι δοκιμές επιβεβαίωσαν επίσης τις προδιαγραφές που επισημάνθηκαν στην εισαγωγή, σχετικά με την απαλλαγή ενός νέου απαγωγέα υπό συνεχή τάση λειτουργίας από μερικές εκκενώσεις.

4.7 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή έγινε σχεδιασμένη επιλογή περιβλημάτων απαγωγέων μεταλλικού οξειδίου και επίσης κατασκευή αντιστάσεων που δεν επάγουν μερικές εκκενώσεις μέσα σ' ένα στεγνό και καθαρό απαγωγέα MO με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να προστατεύονται από τη μόλυνση που δημιουργεί φθορές. Από τη θεωρία αλλά και από την πράξη μπορεί να δειχθεί ότι με κατάλληλη επιλογή του συνθετικού υλικού με ένα κατάλληλο έλεγχο της διαδικασίας παραγωγής και μία επιλεγμένη

επίστρωση, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν αντιστάσεις MO οι οποίες να επιδεικνύουν μία συμπεριφορά σωστής λειτουργίας σε αναγωγικά περιβάλλοντα (σε περιβάλλοντα με μείωση αερίων). Μετρήσεις σε εν λειτουργία απαγωγείς επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από πρακτικές εφαρμογές.

Βιβλιογραφία

- (1) J. C. Cronin, R. G. Colclaser and R. F. Lehman, «Transient Lightning Overvoltage Protection Requirement for a 500 - kv Gas-Insulated Substation», F 77 197-7, Submitted for preentation at the IEEE PES Winter Meeting, New York, NY, January, 1977.
- (2) J. L. Koepfinger, D. C. Bacvarov and R. G. Rocamora, «The Surge Protection of an SF6 Gas-Insulated Substation Supplied by Pipe-Type Cables», F 78 208-1, Submitted for presentation at the IEEE PES Winter Meeting, New York, NY, January, 1978.
- (3) N. Nagai, T. Nitta and K. Ujita, «SF6 Gas-Filled Surge Arresters for Power Systems», A 78-173-7, Submitted for presentation at the IEEE PES Winter Meeting, New York, NY, January, 1978.
- (4) Hi-Tension News (The Ohio Brass Company), December, 1976, pages 6-8.
- (5) B. Wahlstrom, H. Holmborn and A. Schei, «Overvoltage Protection of Metal-Enclosed SF6-Substations Insulation Coordination Philosophy and Surge Arrester Characteristics», CIGRE 33-03, 1976.
- (6) S. Tominaga, K. Azumi, T. Nitta, N. Nagai, M. Imataki and H. Kuwahara, «Reliability and Application of Metal Oxide Surge Arresters for Power Systems», F 78 703-1, Submitted for

- presentation at the IEEE PES Summer Meeting, Los Angeles, CA, July, 1978.
- (7) H. Hartmann and U. Burger, «Lightning Arresters for Metal-Clad SF6 Switchgear With Voltages from 72.5 to 525 kV», Brown Boveri Review, November, 1977, pages 667-670.
- (8) H. W. Anderl, C. L. Wagner and T. H. Dodds, «Insulation Coordination for Gas-Insulated Substations», T 73 034-6, Submitted for presentation at the IEEE PES Winter Meeting, New York, NY, January, 1973.
- (9) C. Dubanton, H. Larrue, I. C. Henry and I. Vigreux, «Performance of Metal-Clad SF6-Insulated Substations Under Various Dielectric Stresses», CIGRE 33-08, 1976.
- (10) H. W. Anderl, C. L. Wagner and T. H. Dodds, «Insulation Coordination for Gas-Insulated Substations», IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-92, Sept.Oct. 1973, pp. 1622-1630.
- (11) B. Wahistrom, H. Holmborn and A. Schei, «Overvoltage Protection of Metal-Enclosed SF6 Substations, Insulation Coordination Philosophy and Surge Arrester Characteristics», CIGRE 33-03, 1976 Session.
- (12) H. M. Ryan and W. L. Watson, «Electrical Breakdown and Voltage-Time Characteristics in SF6 at High Pressures», Presented at the International High Voltage Symposium, Zurich, 9-13 September 1975.
- (13) E. R. Whitehead and G. W. Brown, «Field and Analytical

- Studies of Transmission Line Shielding - Part II, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-88, May 1969, pp. 617-620.
- (14) Popolansky, «Frequency Distribution of Amplitudes of Lightning Current», Electra No 22, May 1972, pp. 139-147.
- (15) W. Diesendorf, «Overvoltages in High Voltage Systems», The Rensselaer Bookstore, Troy, NY, 1971.
- (16) K. Berger, et al. «Parameters of Lightning Flashes», Electra No 41, July 1975, pp. 23-37.
- (17) G. W. Brown, «Lightning Performance II - Updating Backflash Calculations», Submitted for presentation at the IEEE Winter Power Meeting, New York, January 1977.
- (18) M. Ouyang and P. G. Kendall, «Tests on Distortion and Attenuation of Waves on an Overhead Line», IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-94, March/April 1975, pp. 498-507.
- (19) G. W. Brown, «Lightning Performance I. Shielding Foulure Simplified», Presented for publication at the IEEE Winter Power Meeting, New York, January 1977.
- (20) «Electrical Transmission and Distribution Reference Book», Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh PA, Fourth Edition, 1964, Chapter 17, pp. 578-609.
- (21) D. C. Bacvarov, «Digital Computation of Transients in SF6 Gas-Insulated Systems», MSEE Thesis, University of Pittsburgh, 1975.



- (22) S. Menju, H. Aoyagi, K. Takahashi and H. Oh-no: Dielectric Breakdown of High Pressure SF6 in Sphere and Coaxial Cylinder Gaps, IEEE Trans PAS Bol PAS-93 No. 5 Sep/Oct 1974.
- (23) M. Murano, Y. Kawaguchi and S. Kojima: Lightning Surge Phenomena on Electric Power System with Sf6 Gas-Insulated Apparatus IEEE Paper No. C 72 218-1.
- (24) S. Menju, Y. Tsuchikawa and N. Kobayashi: Electric Potential and Field of Conical Insulators for SF6 Metalclad Switchgear, IEEE Trans PAS Vol. PAS-91, No.2 March/April 1972.
- (25) Y. Kawaguchi, K. Sakata and s. Menju: Dielectric Breakdown of Sulphur Hexafluoride in Nearly Uniform Fields, IEEE Trans PAS Vol. PAS-90 No.3 May/June 1971.
- (26) S. Takahashi, i. Oh-shima and S. Menju: Flashover Initiation Mechanisms of SF6 Gas Gaps, NAS Conference on Electric Insulation and Dielectric Phenomena, Oct. 19, 1977.
- (27) H. Singer, H. Steinbigler and P. Weiss: A Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields, IEEE Trans PAS Vol. PAS-93 No. 5 Sept./Oct. 1974.
- (28) Ch. Dubanton, J. C. Henry, H. Larrue and J. Vigreux: Performance of Metalclad SF6-Insulated Substations under Various Dielectric Stresses, CIGRE 1976 Session 33-08.
- (29) S. Menju and K. Takahashi: DC Dielectric Strength of A SF6 Gas Insulated System, IEEE F 77 130-8.

