

ΣΥΝΟΔΟΣ ΑΘΗΝΑ '99
Αθήνα 2 & 3 Δεκεμβρίου 1999

**ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΡΥΠΑΣΜΕΝΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ
ΥΠΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ**

Σ.Α. Σουφλής Ι.Φ. Γκόνος Φ.Β. Τοπαλής Ι.Α. Σταθόπουλος
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναλυτική περιγραφή του απλοποιημένου μοντέλου υπερπήδησης ρυπασμένων μονωτήρων υπό εναλλασσόμενη τάση (Mahdy - Khalifa) το οποίο έχει προταθεί ως ισοδύναμο κύκλωμα μονωτήρα και πηγής. Υπολογίζεται η μεταβολή του ρεύματος διαρροής κατά μήκος του σχηματιζόμενου τόξου σε συνάρτηση με το μήκος της ξηρής ζώνης και της ρύπανσης του μονωτήρα, μεταβάλλοντας την τάση και την εμπέδηση της πηγής του ισοδυνάμου κυκλώματος. Διαπιστώνεται η επίδραση της ρύπανσης στη λειτουργία του μονωτήρα και η πρόκληση μεγάλων μεταβολών στο ρεύμα διαρροής. Το φαινόμενο γίνεται εντονότερο όταν επικρατεί συνδυασμός μεγάλων τιμών ρύπανσης και τάσης της πηγής ή μήκους των ξηρών ζωνών.

**A SIMPLIFIED MODEL FOR AC FLASHOVER
OF POLLUTED INSULATORS**

S.A. Sufliis I.F. Gonos F.V. Topalis I.A. Stathopoulos
National Technical University of Athens, High Voltage Laboratory

This paper deals with the analytical description of the simplified model for AC flashover of polluted insulators (Mahdy - Khalifa) which has been proposed as the equivalent circuit which includes a voltage source and the insulator. The variation of leakage current with arc length below is calculated versus the dry band length and the pollution layer on the insulator, accounting the voltage and the source impedance. The effect of pollution at the insulator's operation is underlined and also the significant leakage current variation. The phenomena becomes more important when a combination of high pollution quantities, high voltage source measurements and high band lengths are observed.

1. Εισαγωγή

Ο όρος ρύπανση για τους μονωτήρες των δικτύων μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται στην επικάλυψη ακαθαρσιών (κατάλοιπα βιομηχανικών συγκροτημάτων, άμμου, σκόνης ρητίνης), δροσιάς ή θαλάσσιας άλμης (καθαλάτωση) σε ολόκληρη την επιφάνεια τους σε συνδυασμό πάντα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η συνύπαρξη ακαθαρσιών και δροσιάς ή ομίχλης αποτελεί τη δυσμενέστατη συνθήκη λειτουργίας των μονωτήρων των γραμμών και μπορεί να υποβιβάσει τη μονωτική τους ικανότητα σε ποσοστό μεταξύ 40% και 80%.

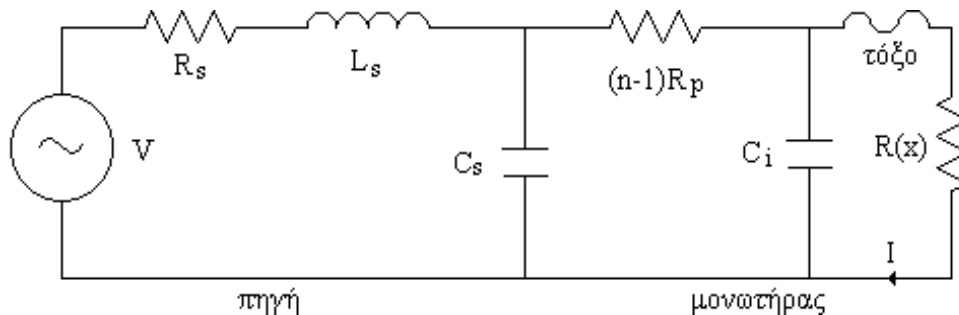
Η δημιουργία ηλεκτρικού τόξου σε ρυπασμένους μονωτήρες αποτελεί ένα από τα πιο πολύπλοκα προβλήματα στις υψηλές τάσεις. Τα τελευταία χρόνια, γίνονται εκτεταμένες έρευνες πάνω στο μηχανισμό ανάπτυξης ηλεκτρικού τόξου σε μονωτήρες, φαινόμενο γνωστό ως υπερπήδηση μονωτήρων. Διεξοδική μελέτη της διαδικασίας του φαινομένου απέδειξε ότι η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στο σχηματισμό μερικών τόξων κατά μήκος των ξηρών ζωνών οι οποίες δημιουργούνται με γνωστούς φυσικούς μηχανισμούς στο αγωγίμο στρώμα ρύπανσης, το οποίο καλύπτει την επιφάνεια του μονωτήρα [1-3].

Στην παρούσα εργασία γίνεται η αναλυτική περιγραφή του απλοποιημένου μοντέλου για υπερπήδηση ρυπασμένων μονωτήρων υπό εναλλασσόμενη τάση το οποίο έχει προταθεί από τους Mahdy – Khalifa [3]. Το μοντέλο περιγράφεται από ένα ισοδύναμο κύκλωμα το οποίο αποτελείται από δύο τμήματα: τον μονωτήρα και την πηγή. Ο μονωτήρας ισοδυναμεί (σχήμα 1) με χωρητικότητα C_i παράλληλα με το τόξο (σπινθηριστή) το οποίο είναι σε σειρά με τη ρυπασμένη επιφάνεια του μονωτήρα η οποία έχει αντίσταση $R(x)$ όπου x είναι το μήκος της ξηρής ζώνης. Εάν, αντί για ένα μονωτήρα θεωρηθεί αλυσίδα n μονωτήρων, έχοντας μόνο ένα σπινθηριστή, τα υπόλοιπα στοιχεία των μονωτήρων αυτών θα παριστάνονται από μία αντίσταση η οποία δίνεται από την σχέση $(n-1) \cdot R_p$, όπου R_p είναι οι ωμικές αντιστάσεις των σωμάτων των μονωτήρων. Η εμπέδηση της πηγής αποτελείται από μία ωμική αντίσταση R_s , μία επαγωγή L_s και μία χωρητικότητα C_s . Το μοντέλο αυτό ισχύει όταν ικανοποιούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- η αγωγιμότητα του ρυπασμένου στρώματος του μονωτήρα είναι ομοιόμορφη, ανεξάρτητη του χρόνου, της αναπτυσσόμενης θερμότητας και του ρεύματος διαρροής
- η αντίσταση της ρυπασμένης επιφάνειας είναι γραμμικά ανάλογη του μήκους ερπυσμού του μονωτήρα
- η τάση κατά μήκος του τόξου είναι γραμμικά ανάλογη του μήκους εξέλιξής του

2. Ανάλυση του μοντέλου

Όταν το διηλεκτρικό επανακτά τις μονωτικές του ιδιότητες έπειτα από διάσπαση, τότε στα άκρα του αναπτύσσεται τάση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το διηλεκτρικό (αέρας) εντοπίζεται στο ενδιάμεσο του σπινθηριστή. Κατά τη σβέση του τόξου αναπτύσσεται τάση επανάκτησης (recovery voltage) V_r κατά μήκος του σπινθηριστή. Επειδή ο σπινθηριστής αποτελεί μέρος του κυκλώματος στα άκρα του αναπτύσσεται πάντοτε τάση V_s . Κατά τον Rizk $V_r = V_s$ [4].



Σχήμα 1: Ισοδύναμο κύκλωμα

Ο μονωτήρας χωρητικότητας C_i , συνδέεται παράλληλα με το τόξο (σπινθηριστή) και αυτό σε σειρά με τη ρυπασμένη επιφάνεια του μονωτήρα αντίστασης $R(x)$. Το μήκος της ξηρής ζώνης συμβολίζεται με x . Εάν ο μονωτήρας είναι αλυσοειδής n στοιχείων, τότε με ένα μόνο σπινθηριστή τα υπόλοιπα στοιχεία αντιστοιχούν σε ισοδύναμη αντίσταση $(n-1) \cdot R_p$. Η αντίσταση κάθε στοιχείου συμβολίζεται R_p .

Η εμπέδηση της πηγής περιλαμβάνει μία ωμική αντίσταση R_s , μία επαγωγή L_s και μία χωρητικότητα C_s .

Το πλάτος του ρεύματος το οποίο διαρρέει το τόξο εξαρτάται από το δυναμικό της πηγής και τις παραμέτρους του υπόλοιπου κυκλώματος. Η τάση η οποία αναπτύσσεται κατά μήκος του τόξου έχει πλάτος και φάση τα οποία εξαρτώνται επίσης από τις παραμέτρους του υπόλοιπου κυκλώματος.

Η αντοχή του διηλεκτρικού στον σπινθηριστή αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση των δύο σφαιρών και αντιστρόφως ανάλογα με την απόλυτη θερμοκρασία η οποία αναπτύσσεται κατά την εμφάνιση του τόξου. Το μήκος του σπινθηριστή είναι μέρος του μήκους ερπυσμού του μονωτήρα το οποίο γεφυρώνεται από το αναπτυσσόμενο τόξο.

Η απόλυτη θερμοκρασία T_0 στο τόξο τη χρονική στιγμή διακοπής είναι περίπου 20% μικρότερη από τη θερμοκρασία T_m η οποία αναπτύσσεται στο τόξο τη στιγμή κατά την οποία ρέει το μέγιστο ρεύμα διαρροής I_m :

$$T_0 = \frac{1}{5} \cdot T_m \quad (1)$$

Πειραματικά δεδομένα για τιμές πάνω από 10 A του ρεύματος που διαρρέει το τόξο, αποδεικνύουν ότι η θερμοκρασία T_m συνδέεται με το I_m ως εξής [3]:

$$T_m = 5000 + 870 \cdot I_m \text{ (}^\circ\text{K)} \quad (2)$$

Μετρήσεις της θερμοκρασίας του τόξου αποδεικνύουν ότι είναι συνάρτηση του χρόνου $T(t)$ με αρχική συνθήκη τη στιγμή έναυσης του τόξου. Η σχέση $T(t)$ η οποία εκφράζει την απόλυτη θερμοκρασία του τόξου σε συνάρτηση με το χρόνο και με παράμετρο την T_0 είναι η εξής [3]:

$$T(t) = 300 + \left(e^{-0.8 \cdot t} + e^{-0.04 \cdot t} \right) \cdot \frac{(T_0 - 300)}{2} \quad (3)$$

Με δεδομένη την τάση διάσπασης $F(x)$ του διηλεκτρικού στην θερμοκρασία των 300 °K, για μεταβλητό μήκος σπινθηριστή x , η V_r προσδιορίζεται ως εξής:

$$V_r = \frac{300 \cdot F(x)}{T(t)} \quad (4)$$

Αναλύοντας το ισοδύναμο μοντέλο του μονωτήρα (Σχήμα 1), η τάση επανέναυσης $V_s(t)$ η οποία εμφανίζεται κατά μήκος του σπινθηριστή δίνεται από τη σχέση:

$$V_s(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \left[\sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi) - e^{-\alpha \cdot t} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) \right] \quad (5)$$

V : ενεργός τιμή τάσης της πηγής του κυκλώματος

f : συχνότητα δικτύου

f_0 : σταθερή συχνότητα η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s \cdot (C_s + C_i)}} \quad (6)$$

φ : συχνότητα συντονισμού ταλάντωσης μονωτήρα η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\varphi = \frac{\tan^{-1}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s)}{\left[R_s + R(x) + R_a + (n-1) \cdot R_p \right]} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{R_s + \frac{(n-1) \cdot C_i \cdot R_p}{(C_s + C_i)}}{2 \cdot L_s} \quad (8)$$

Το ρεύμα κατά μήκος του τόξου δίνεται από τη σχέση:

$$V = I \cdot \sqrt{[R_s + (n-1) \cdot R_p + R(x) + R_a]^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s)^2} \quad (9)$$

R_a : ωμική αντίσταση τόξου η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$R_a = \frac{V_{arc}}{I} \quad (10)$$

$R(x)$: ωμική αντίσταση ρυπασμένης επιφάνειας μονωτήρα σε συνάρτηση με το μήκος ξηρής ζώνης.

Η ωμική αντίσταση $R(x)$ της ρυπασμένης επιφάνειας του μονωτήρα εξαρτάται από την ακτίνα του r_a τόξου. Κατά την έναυσή του το τόξο δεν αναπτύσσεται μόνο από ένα σημείο της ξηρής ζώνης αλλά από πολλά, το ένα κοντά στο άλλο, τα οποία θεωρητικά σχηματίζουν ένα κύκλο ακτίνας r_a . Η $R(x)$ δίνεται από τη σχέση [3]:

$$R(x) = \frac{1}{\pi \cdot \sigma} \cdot \ln \left[\frac{2 \cdot (L - x)}{r_a} \right] \quad (11)$$

σ : είναι η αγωγιμότητα ρυπασμένης επιφάνειας

L : το μήκος ερπυσμού μονωτήρα

Η ενεργός τιμή της οριακής τάσης υπερπήδησης για το AC μοντέλο δίνεται από τη σχέση [3]:

$$\frac{V_c}{L} = 2000 \cdot \sigma^{-0.4} \quad (V_{rms} / cm) \quad (12)$$

Το ρεύμα διαρροής εξαρτάται παραμετρικά από την αγωγιμότητα του ρυπασμένου στρώματος και από το μήκος της ξηρής ζώνης x . Σε κατάσταση υπερπήδησης, το ρεύμα διατηρείται σταθερό έως να καλύψει το τόξο το 65% έως 90% του μήκους ερπυσμού του μονωτήρα και συνεπώς είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν με μεγάλη ακρίβεια στοιχεία του DC μοντέλου. Για υψηλές τάσεις V_c το ρεύμα αυξάνεται σιγά - σιγά για μικρά μήκη ξηρής ζώνης x αλλά πολύ γρήγορα διαρρέει το συνολικό μήκος ερπυσμού. Για χαμηλότερες τάσεις, το ρεύμα μειώνεται σιγά - σιγά για μικρές τιμές του x και έπειτα οδηγείται γρήγορα στο μηδέν πριν διαρρεύσει το συνολικό μήκος ερπυσμού.

Η DC τάση του τόξου δίνεται από τη σχέση [5]:

$$V_{arc} = A \cdot x \cdot I^{-n} \quad (13)$$

Η ωμική αντίσταση του σχηματιζόμενου τόξου επομένως δίνεται από τη σχέση :

$$R_a = A \cdot x \cdot I^{-(n+1)} \quad (14)$$

I: το ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου
 x: το μήκος ξηρής ζώνης
 A, n: οι σταθερές του τόξου (A = 131.5 , n = 0.374 [6]).

Η αγωγιμότητα της ρυπασμένης επιφάνειας δίνεται από τη σχέση [7]:

$$\sigma = 10^{-6} \cdot (369.05 \cdot C + 0.42) \quad (15)$$

C: ρύπανση μονωτήρα

Η ακτίνα του τόξου δίνεται από τη σχέση [8]:

$$r_a = \sqrt{\frac{I}{\pi \cdot 1.45}} \quad (16)$$

Θεωρείται ένας μονωτήρας (n = 1) και η Εξ. (9) γίνεται :

$$V = I \cdot \left\{ [R_s + R(x) + R_a]^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

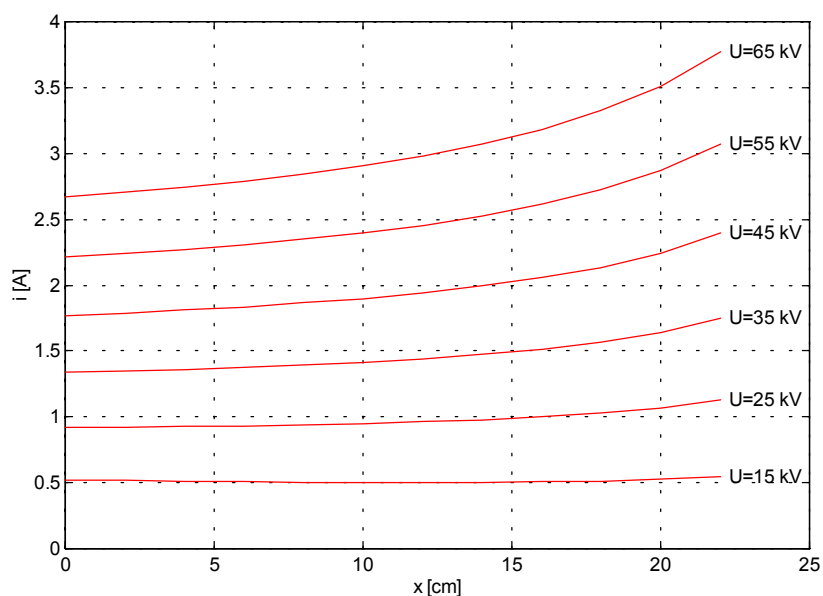
Τελικά με αντικατάσταση των Εξ. (11), (14), (16) στην (17) προκύπτει:

$$V = I \cdot \left\{ \left[R_s + \left[\frac{1}{\pi \cdot \sigma} \cdot \ln \frac{2 \cdot (L-x)}{\sqrt{\frac{I}{1.45 \cdot \pi}}} + (131.5 \cdot x \cdot I^{-1.374}) \right]^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Από τη σχέση αυτή θα προκύψουν διαγράμματα συσχετισμού του ρεύματος διαρροής με παραμέτρους τη ρύπανση C του μονωτήρα, το μήκος ξηρής ζώνης x, την τάση V της πηγής, την ωμική αντίσταση R_s της πηγής και την επαγωγική αντίσταση της πηγής.

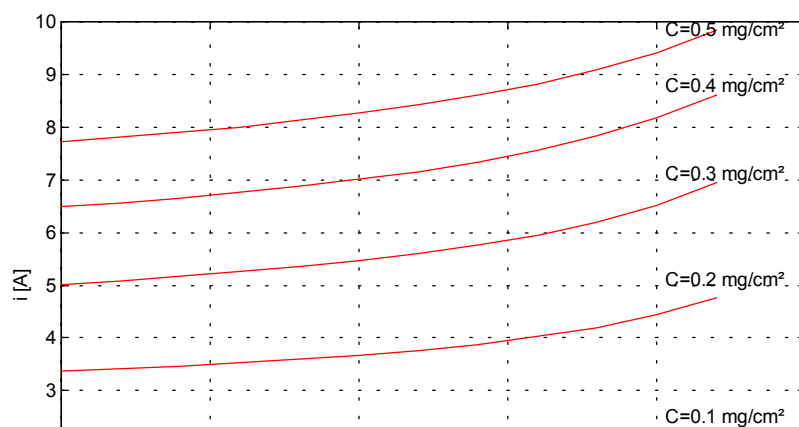
3. Αποτελέσματα

Για κάθε αύξηση της τάσης παρατηρείται σταθερή αύξηση του ρεύματος διαρροής η οποία σε συνδυασμό με την αύξηση του μήκους ξηρής ζώνης γίνεται σημαντική (Σχήμα 2). Η μεγαλύτερη μεταβολή στην κλίση της καμπύλης διαπιστώνεται στην υψηλότερη τάση 65 kV. Για μήκος ξηρής ζώνης 0 cm το ρεύμα διαρροής είναι 2.66 A, ενώ για μήκος ξηρής ζώνης 22 cm το ρεύμα είναι 3.77 A, δηλαδή $\Delta I = 1.11$ A.



Σχήμα 2: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με το μήκος ξηρής ζώνης x (R_s , X_s , C σταθερά)

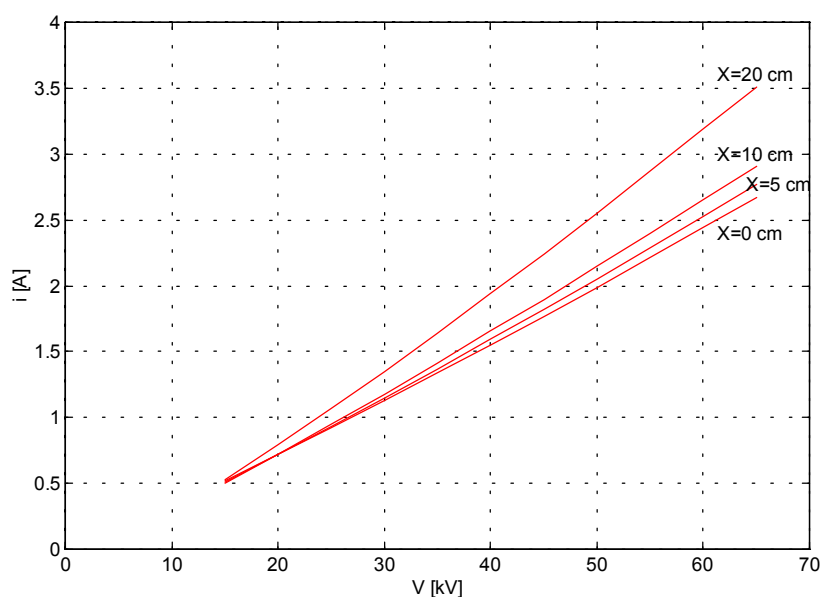
Όσο περισσότερο αυξάνει η ρύπανση του μονωτήρα τόσο περισσότερο αυξάνει το ρεύμα διαρροής ακόμη και για ελάχιστο μήκος ξηρής ζώνης (Σχήμα 3). Για $x = 0$ cm και $C = 0.02$ mg/cm² τότε $I = 0.28$ A, ενώ για $x = 0$ cm και $C = 0.5$ mg/cm² τότε $I = 7.71$ A, δηλαδή $\Delta I = 7.43$ A.



Σχήμα 3: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με το μήκος ξηρής ζώνης x (R_s , X_s , V σταθερά)

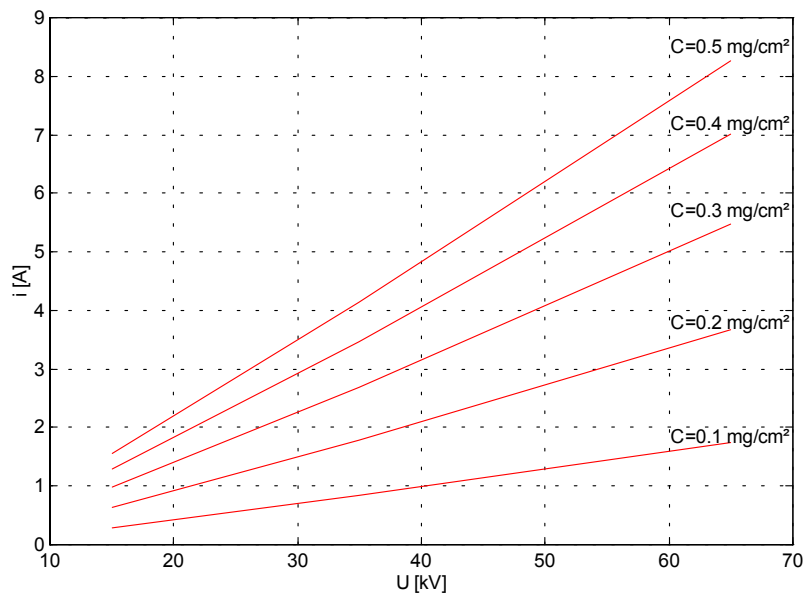
Όσο περισσότερο αυξάνει η τάση και το μήκος της ξηρής ζώνης τόσο περισσότερο αυξάνει το ρεύμα διαρροής (Σχήμα 4). Η μεγαλύτερη μεταβολή

στην κλίση της καμπύλης διαπιστώνεται για $x = 20$ cm και $V = 15$ kV τότε $I = 0.52$ A, ενώ για $x = 20$ cm και $V = 65$ kV τότε $I = 3.51$ A, δηλαδή $\Delta I = 2.99$ A.



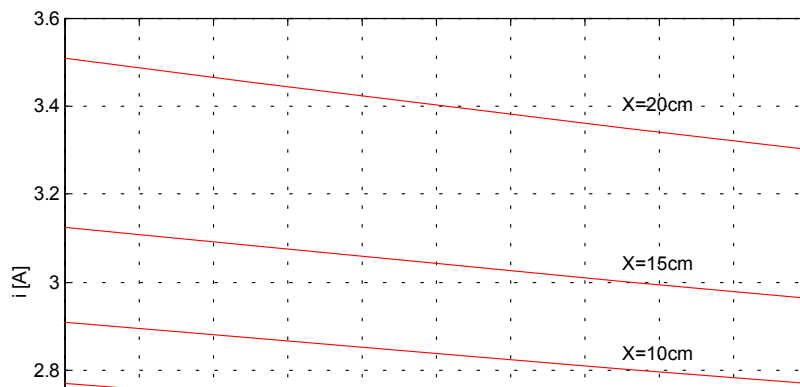
Σχήμα 4: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με την τάση V της πηγής (R_s , X_s , C σταθερά)

Όσο περισσότερο αυξάνει η ρύπανση τόσο περισσότερο αυξάνει το ρεύμα διαρροής. Η μεταβολή της τάσης της πηγής για μικρές τιμές της ρύπανσης δεν προκαλεί αξιόλογες μεταβολές στο ρεύμα διαρροής, ενώ για μεγάλες τιμές της ρύπανσης το ρεύμα διαρροής αυξάνεται επικίνδυνα (Σχήμα 5). Για ρύπανση 0.5 mg/cm² και τάση πηγής 15 kV το ρεύμα διαρροής είναι 1.55 A, ενώ για τάση πηγής 65 kV το ρεύμα διαρροής είναι 8.26 A, δηλαδή $\Delta I = 6.71$ A.



Σχήμα 5: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με την τάση V της πηγής (R_s , X_s , χ σταθερά)

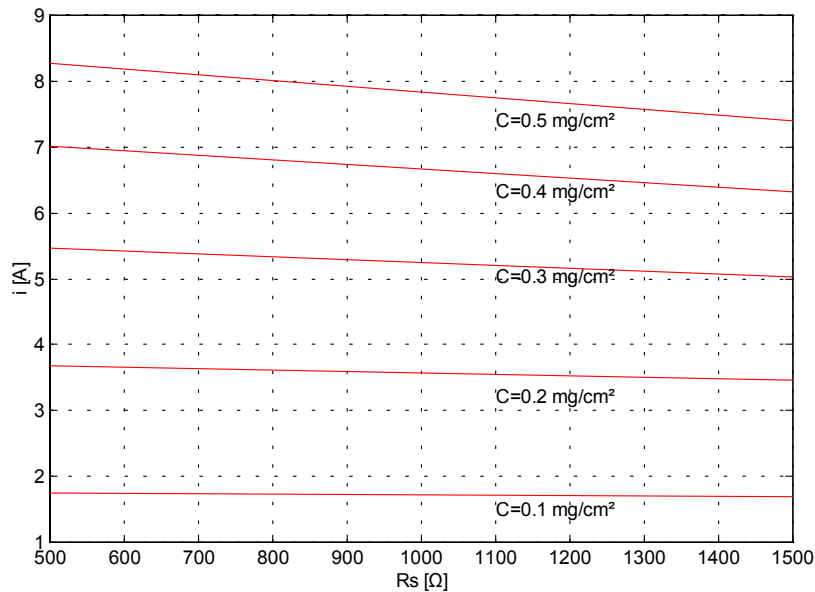
Η αύξηση της ωμικής αντίστασης προκαλεί μικρή μείωση του ρεύματος διαρροής (Σχήμα 6). Η μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης παρατηρείται για μήκος ξηρής ζώνης 20 cm, ωμική αντίσταση 500 Ω το ρεύμα διαρροής είναι 3.51 A, ενώ για ωμική αντίσταση 1500 Ω το ρεύμα διαρροής είναι 3.3 A, δηλαδή $\Delta I = 0.21$ A.



Σχήμα 6: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με την ωμική αντίσταση R_s της πηγής (V , X_s , C σταθερά)

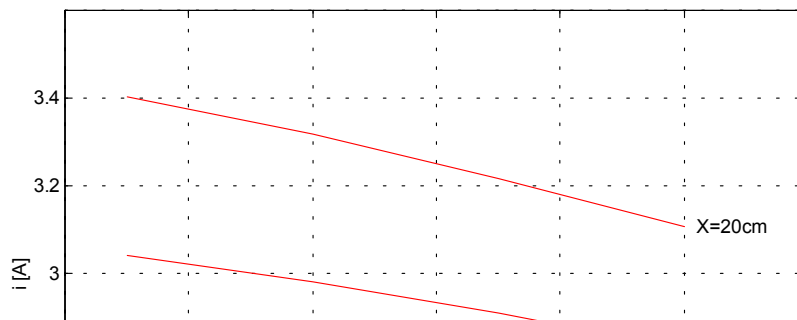
Όσο περισσότερο αυξάνει η ρύπανση τόσο περισσότερο αυξάνει το ρεύμα διαρροής (Σχήμα 7). Για ωμική αντίσταση 1500 Ω και ρύπανση 0.02 mg/cm^2 το

ρεύμα διαρροής είναι 0.3 A, ενώ για ρύπανση 0.5 mg/cm^2 το ρεύμα διαρροής είναι 7.38 A, δηλαδή $\Delta I = 7.08 \text{ A}$.



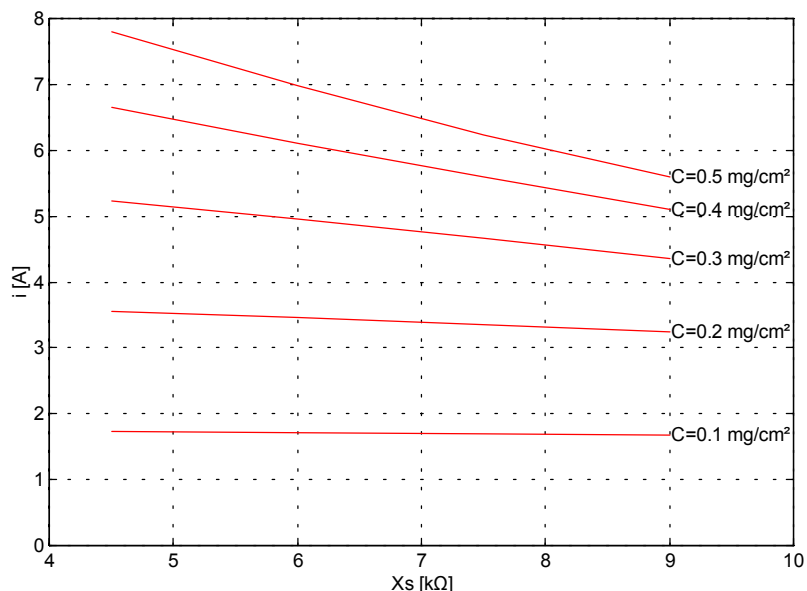
Σχήμα 7: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με την ωμική αντίσταση R_s της πηγής (V , X_s , C σταθερά)

Η αύξηση της επαγωγικής αντίστασης της πηγής προκαλεί μικρή μείωση του ρεύματος διαρροής (Σχήμα 8). Η μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης παρατηρείται για μήκος ξηρής ζώνης 20 cm και επαγωγική αντίσταση $4.5 \text{ k}\Omega$ το ρεύμα διαρροής είναι 3.4 A, ενώ για επαγωγική αντίσταση $9 \text{ k}\Omega$ το ρεύμα διαρροής είναι 3.1 A. δηλαδή $\Delta I = 0.3 \text{ A}$.

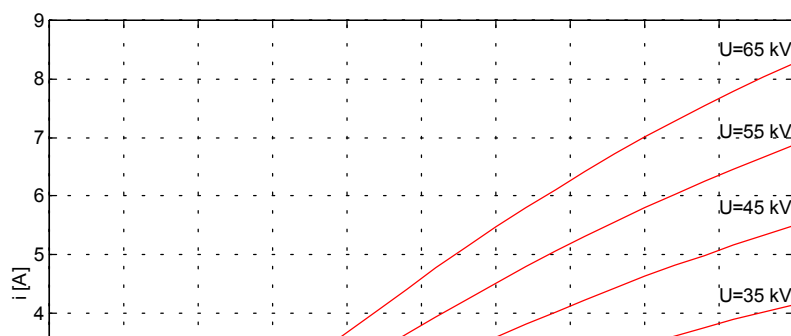


Σχήμα 8: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με την επαγωγική αντίσταση X_s της πηγής (V , R_s , C σταθερά)

Όσο αυξάνεται η ρύπανση παρατηρείται αύξηση του ρεύματος διαρροής. Η μεταβολή της επαγωγικής αντίστασης της πηγής για μικρές τιμές ρύπανσης προκαλεί ελάχιστες μεταβολές στο ρεύμα διαρροής (Σχήμα 9). Η μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης παρατηρείται για επαγωγική αντίσταση 4.5 kΩ και ρύπανση 0.02 mg/cm² το ρεύμα διαρροής είναι 0.3 A, ενώ για ρύπανση 0.5 mg/cm² το ρεύμα διαρροής είναι 7.8 A, δηλαδή $\Delta I = 7.5$ A.



Σχήμα 9: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με την επαγωγική αντίσταση X_s της πηγής (V , R_s , x σταθερά)



Σχήμα 10: Ρεύμα διαρροής κατά μήκος του τόξου σε συνάρτηση με την ρύπανση C του μονωτήρα (R_s , X_s , x σταθερά)

Όσο αυξάνεται η ρύπανση παρατηρείται αύξηση του ρεύματος διαρροής σε συνδυασμό με την αύξηση της τάσης της πηγής (Σχήμα 10). Η μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης παρουσιάζεται για τάση 65 kV και για ρύπανση 0.02 mg/cm² το ρεύμα διαρροής είναι 0.3 A, ενώ για ρύπανση 0.5 mg/cm² το ρεύμα διαρροής είναι 8.26 A, δηλαδή $\Delta I = 7.96$ A.

4. Συμπεράσματα

Η συστηματική μελέτη των προηγούμενων αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή του απλοποιημένου μοντέλου AC υπερπήδησης ρυπασμένων μονωτήρων θεμελιώνει την εξαιρετικά σημαντική επίδραση της ρύπανσης του μονωτήρα η οποία προκαλεί μεγάλες μεταβολές (αυξήσεις) στο ρεύμα διαρροής με καταστρεπτικές συνέπειες στις περισσότερες περιπτώσεις. Το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο όταν επικρατεί συνδυασμός μεγάλων τιμών ρύπανσης, τάσης και μήκους ξηρών ζωνών.

5. Βιβλιογραφία

- [1] Sufelis S. A., Stathopoulos I. A., Topalis F. V.: "On the Dielectric Behavior of Non-Uniformly Polluted Insulators"(in Greek), CIGRE, Greek Committee, Athens, November 1995.
- [2] Sufelis S. A., Gonos I. F., Topalis F. V.: "Computation Methods in Simulation of the Dielectric Behavior of Non-Uniformly Polluted Insulators". Proceedings of the IMACS International Symposium on Soft Computing in Engineering Applications (EURISCON '98), Athens, June 22 - 25, 1998.
- [3] Kalifa M., Mahdy A. B., Qureshi A.H.: "A Simplified Model for AC Flashover of polluted insulators". Proceedings of 5th International Symposium on High Voltage Engineering, Vol. II, Paper No. 51.07, Braunschweig, 1987.
- [4] Rizk: "Mathematical Models for Pollution Flashover". Electra, No. 78, pp. 71-103, October 1981.
- [5] Alston L. L., Zoledziowski S.: "Growth of Discharges on Polluted Insulation". Proceedings IEE, Vol. 110, No. 7, pp. 1260-1266, 1963.
- [6] Theodorakis G., Topalis F.V., Stathopoulos I.A.: "Parameter Identification of the Polluted Insulator Model". Proceedings of International Symposium on Simulation and Modelling, pp. 103-106, Lugano, 1989.
- [7] Xavier R.J., Rao Y. N.: "Study of surface conductivity and ESDD on contaminated porcelain insulating surfaces". Proceedings of 5th International Symposium on High Voltage Engineering, Vol. II, Paper No. 51.12, Braunschweig, 1987.
- [8] WILKINS, R.: "Flashover Voltage of High Voltage Insulators with Uniform Surface Pollution Films", IEE Proc., 1969, 116 (3) pp. 457-465.