

ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΘΟΔΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΜΕΝΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟ

Ν. Κουλουμπή, Γ. Μπατής, Ν. Κιούπης, Π. Αστερίδης

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 15780 Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ειδικών μεθόδων απαγωγής AC ως προς τη μείωση των παρεμβολών στις μετρήσεις καθοδικής προστασίας και στον περιορισμό της πιθανότητας διάβρωσης από εναλλασσόμενο ρεύμα σε αγωγό φυσικού αερίου που υπόκειται σε επαγόμενη εναλλασσόμενη τάση 50 Hz από γραμμές υψηλής τάσης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταλλικοί αγωγοί που ακολουθούν διαδρομές σε απόσταση μικρότερη του 1km από γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης υφίστανται την επίδραση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τα ρεύματα λειτουργίας και βραχυκυκλώματος των γραμμών αυτών. Ως συνέπεια, επικίνδυνες εναλλασσόμενες τάσεις μπορεί να αναπτυχθούν εξ' επαγωγής στους παρακείμενους αγωγούς και είναι πιθανόν να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία, διάβρωση των αγωγών (AC corrosion) και διαταραχές στο σύστημα καθοδικής προστασίας τους.

Σε αγωγούς που ήταν καθοδικά προστατευμένοι έχουν παρατηρηθεί ακόμη και διατρήσεις του τοιχώματος εξαιτίας διάβρωσης από εναλλασσόμενο ρεύμα [1]. Ως προς την πιθανότητα πρόκλησης διάβρωσης, πυκνότητες AC ρεύματος πάνω από 20A/m² θεωρούνται γενικά επικίνδυνες [2]. Υπό την επίδραση εναλλασσόμενων ρευμάτων παρατηρήθηκε επίσης μετατόπιση και διακυμάνσεις του φυσικού δυναμικού και του δυναμικού προστασίας και αύξηση της πυκνότητας του ρεύματος καθοδικής προστασίας [3,6].

Η παρουσία εναλλασσόμενης τάσης σε θαμμένους μεταλλικούς αγωγούς μπορεί επίσης να προκαλέσει δυσλειτουργία και βλάβες στις μονάδες Μετασηματιστών/Ανορθωτών (M/A) του συστήματος καθοδικής προστασίας μέσω επιβαλλόμενου ρεύματος.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Ο υπόγειος αγωγός που μελετήθηκε, εγκαταστάθηκε στο διάστημα μεταξύ 1993 και 1995 σε βάθος 1 έως 2 μέτρα στην περιοχή Στ. Ελλάδος. Ο αγωγός είναι χαλύβδινος (API 5L X-52 έως X-60) εξωτερικής διαμέτρου 762mm (30in.) και με πάχος τοιχώματος από 9.52mm έως 15.6mm. Έχει επικάλυψη πολυαιθυλενίου τριών στρώσεων συνολικού πάχους 3mm. Η καθοδική προστασία του αγωγού παρέχεται μέσω ανόδων μαγνητίτη (Fe₃O₄), από έναν M/A που λειτουργεί με έλεγχο δυναμικού. Η μονάδα M/A είναι εξοπλισμένη με ένα ειδικό ηλεκτρονικό φίλτρο που εμποδίζει την εναλλασσόμενη τάση του αγωγού να επιδράσει στη λειτουργία του. Ο υπό εξέταση αγωγός, μήκους 45km, είναι απομονωμένος ηλεκτρικά από την υπόλοιπη γραμμή στα δύο άκρα του, μέσω θαμμένων μονωτικών συνδέσμων. Η επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος στο τμήμα αυτό του αγωγού προερχόταν από επαγωγικά

φαινόμενα από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οχτώ γραμμές των 150kV και δύο των 400kV. Ο αγωγός είναι έμμεσα γειωμένος μέσω εκτονωτών υπερτάσεων που έχουν συνδεθεί μεταξύ αγωγού και συρμάτων γείωσης σε 18 επιλεγμένες θέσεις. Οι εκτονωτές υπερτάσεων αποτελούνται από ένα ζευγάρι αντιπαράλληλων θυρίστορ που ενεργοποιούνται από εναλλασσόμενο δυναμικό 25V περίπου και έχουν σκοπό την διατήρηση της AC τάσης του αγωγού σε τιμές μικρότερες των 25V. Η εγκατάσταση των εκτονωτών υπερτάσεων παρόλο που ήταν αρκετή για την προστασία του προσωπικού από ηλεκτροπληξία, φάνηκε ανεπαρκής για την ικανοποιητική λειτουργία της καθοδικής προστασίας.

Ως εκ τούτου, σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και συνδέθηκαν παράλληλα με κάθε εκτονωτή υπερτάσεων ηλεκτρονικές συσκευές, ικανές να απάγουν το εναλλασσόμενο ρεύμα και συγχρόνως να μην επιτρέπουν τη διέλευση του συνεχούς ρεύματος. Οι συσκευές αυτές ονομάστηκαν "Εκτονωτές Συνεχούς Λειτουργίας" ή ΕΣΛ, όπως συντομογραφικά θα αναφέρονται στο εξής.

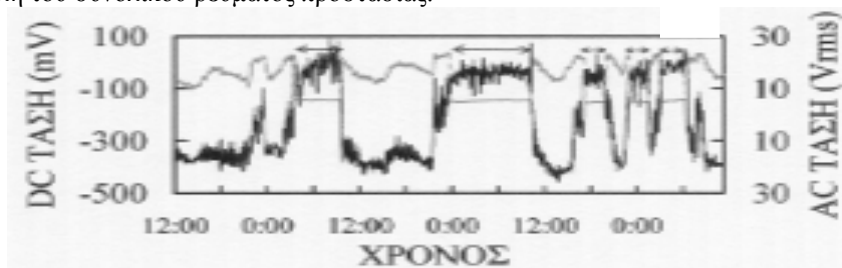
Ο ΕΣΛ σχεδιάστηκε για να πληροί τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά :

- Μέγιστο δυναμικό : 30V AC, 15V DC.
- Μέγιστο μακροχρόνιο εναλλασσόμενο ρεύμα εκφόρτισης : 10A.
- Αποκλεισμός της ροής συνεχούς ρεύματος προς/από την γείωση, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία της καθοδικής προστασίας.
- Αδιάκοπη, συνεχής λειτουργία χωρίς παροχή από εξωτερική πηγή.
- Μη μεταβολή των καταγραφών on-off δυναμικού.

Η αποτελεσματικότητα της καθοδικής προστασίας εκτιμήθηκε με βάση μετρήσεις πεδίου πριν και μετά την εγκατάσταση των ΕΣΛ. Οι μετρήσεις αυτές αφορούσαν στο DC & AC δυναμικό μεταξύ αγωγού-γείωσης, στα δυναμικά on-off και στο ρεύμα της καθοδικής προστασίας. Στις μετρήσεις, η καταγραφή των AC και DC τάσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ειδικά data logger σε επιλεγμένους μετρητικούς σταθμούς.

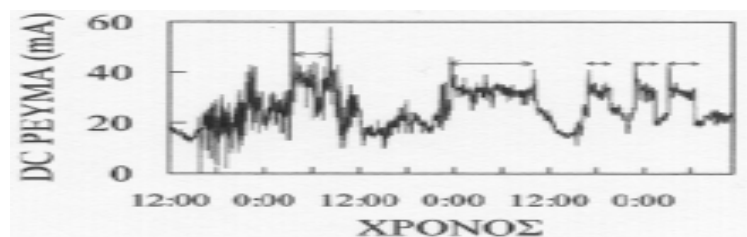
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η χρονική μεταβολή των AC και DC διαφορών δυναμικού μεταξύ αγωγού και σύρματος γείωσης, σε έναν μετρητικό σταθμό κοντά στον ένα ακραίο μονα θ σύνδεσμο, πριν την εγκατάσταση των ΕΣΛ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Στο Σχήμα 2 π α ιάζεται η αντίστοιχη μεταβολή του συνολικού ρεύματος προστασίας.



Σχήμα 1. Χρονική μεταβολή της DC και AC τάσης μεταξύ αγωγού-γείωσης στο ένα άκρο του αγωγού πριν την εγκατάσταση των ΕΣΛ. — DC ΤΑΣΗ AC ΤΑΣΗ.
(Περίοδοι ενεργοποιημένου εκτονωτή υπερτάσεων: \leftrightarrow).

Από το σχήμα 1 είναι προφανές ότι οι αρχικοί εκτονωτές υπερτάσεων δεν επέτρεπαν στον αγωγό να φτάσει σε επίπεδα επαγόμενης τάσης ψηλότερα των 25V. Εντούτοις, η πιθανότητα βλάβης του αγωγού δεν εκλείπει δεδομένου ότι διάβρωση προκαλούμενη από εναλλασσόμενα ρεύματα σε καθοδικά προστατευμένους αγωγούς έχει παρατηρηθεί ακόμη και σε επίπεδα τάσης περί τα 5V [2]. Συγχρόνως διαπιστώνεται αλληλοσυσχέτιση των χρονικών μεταβολών των AC και DC δυναμικών. Κατά τη διάρκεια των περιόδων που ο εκτονωτής υπερτάσεων

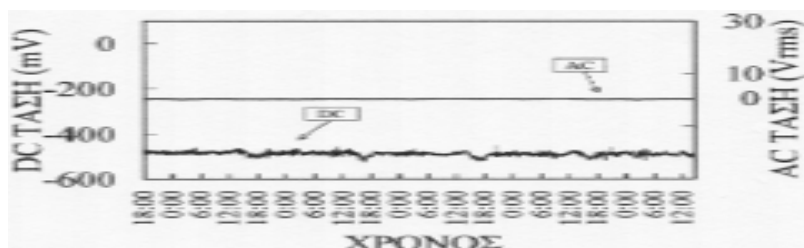


Σχήμα 2. Χρονική μεταβολή του συνολικού DC ρεύματος προστασίας πριν την εγκατάσταση των ΕΣΛ. (Περίοδοι ενεργοποιημένου εκτονωτή υπερτάσεων: \leftrightarrow).

είναι ενεργός, παρατηρείται σημαντική μείωση της απόλυτης τιμής της DC τάσης μεταξύ αγωγού και γείωσης με αντίστοιχη αύξηση του συνολικού ρεύματος προστασίας από τον Μ/Α. Αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη διαρροής συνεχούς ρεύματος διαμέσου του εκτονωτή η οποία μειώνει το επίπεδο της παρεχόμενης καθοδικής προστασίας του αγωγού.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι κατά τη διάρκεια περιόδων που ο εκτονωτής ήταν μη ενεργός αλλά τα AC δυναμικά είχαν υψηλές τιμές, εμφανιζόταν επίσης μείωση της DC τάσης μεταξύ αγωγού και γείωσης. Όμως στην περίπτωση αυτή η μείωση ήταν μικρότερης έκτασης. Συγχρόνως, το συνεχές ρεύμα καθοδικής προστασίας, παρουσίαζε συμπεριφορά (αυξομειώσεις) ανάλογη αυτής του AC δυναμικού. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το AC δυναμικό του αγωγού επιδρά στο DC δυναμικό του. Ο μηχανισμός αυτής της αλλαγής του DC δυναμικού μπορεί να αποδοθεί στην αποπόλωση που προκαλεί το AC δυναμικό στην καθοδική πόλωση του χάλυβα [3].

Μετά την σύνδεση των ΕΣΛ, η αντίστοιχη καταγραφή των AC και DC τάσεων μεταξύ της γείωσης και του αγωγού σε ένα μετρητικό σταθμό στον μονωτικό σύνδεσμο παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.



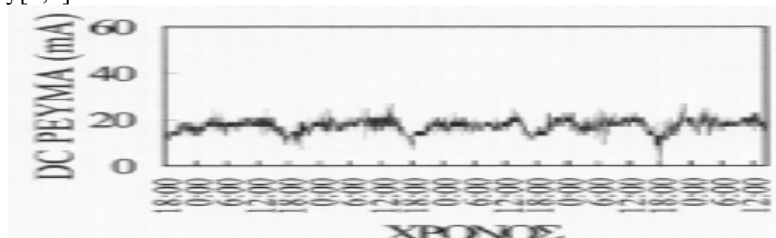
Σχήμα 3. Χρονική μεταβολή DC και AC τάσης μεταξύ αγωγού-γείωσης στο ένα άκρο του μετά την εγκατάσταση των ΕΣΛ.

Επίσης στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η αντίστοιχη μεταβολή του συνολικού ρεύματος προστασίας, ενώ στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η κατανομή του AC δυναμικού κατά μήκος του αγωγού πριν και μετά την εγκατάσταση των ΕΣΛ. Από το σχήμα 5 είναι φανερό ότι τα μετρούμενα AC δυναμικά στον αγωγό μειώθηκαν σε τιμές μικρότερες των 3V, δηλαδή είναι πολύ χαμηλότερες από το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο ασφάλειας των 65V, από το δυναμικό ενεργοποίησης των εκτονωτών (25V) και σε ασφαλή επίπεδα όσον αφορά κίνδυνο για διάβρωση του αγωγού από AC ρεύματα.

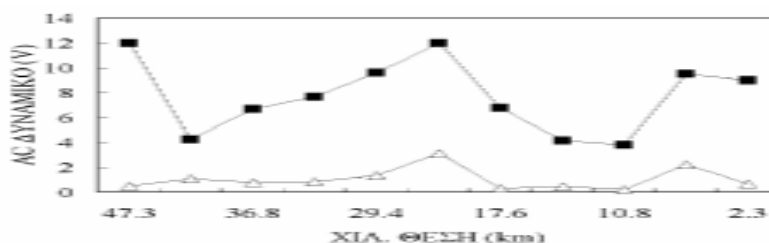
Επιπλέον, το ρεύμα καθοδικής προστασίας από τον Μ/Α ελαττώνεται και διατηρείται σημαντικά πιο σταθερό από το αντίστοιχο ρεύμα πριν την εγκατάσταση των ΕΣΛ.

Η απόλυτη τιμή της DC τάσης μεταξύ της γείωσης και του αγωγού αυξάνεται και συγχρόνως ελαχιστοποιείται η διακύμανσή της. Αυτό θεωρείται πολύ σημαντικό, εφόσον

χαμηλής συχνότητας αποκλίσεις δυναμικού μπορεί να συνοδεύονται από αυξημένες ταχύτητες διάβρωσης εάν οι τιμές των αποκλίσεων αυτών είναι κατά τακτά διαστήματα εκτός των επιτρεπόμενων ορίων της τιμής του δυναμικού προστασίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι ανεπαρκές η μέση τιμή του δυναμικού να παραμένει ηλεκτραρνητικότερη από το δυναμικό προστασίας [6,7].



Σχήμα 4. Χρονική μεταβολή του συνολικού DC ρεύματος προστασίας μετά την εγκατάσταση των ΕΣΛ.



Σχήμα 5. Κατανομή του AC δυναμικού κατα μήκος του αγωγού πριν (■) και μετά (Δ) την εγκατάσταση των ΕΣΛ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πριν την εγκατάσταση των ΕΣΛ, η επαγόμενη εναλλασσόμενη τάση κατά τη διάρκεια των ανενεργών περιόδων των αρχικών εκτονωτών υπερτάσεων επηρέαζε το δυναμικό καθοδικής προστασίας του αγωγού, το επίπεδο της DC τάσης μεταξύ αγωγού-γείωσης, τις αντίστοιχες διακυμάνσεις της τάσης αυτής και το ρεύμα προστασίας. Κατά τη διάρκεια των ενεργών περιόδων του αρχικού εκτονωτή υπερτάσεων, η DC τάση μεταξύ αγωγού-γείωσης παρουσίαζε τιμές κοντά στο 0, δείχνοντας ότι οι αρχικοί εκτονωτές άγουν το συνεχές ρεύμα. Παράλληλα τόσο το ρεύμα προστασίας όσο και οι διακυμάνσεις της DC τάσης ήταν αυξημένα. Τα στοιχεία αυτά έδειξαν ότι η γειτνίαση με γραμμές υψηλής τάσης όπως επίσης και η λειτουργία των αρχικών εκτονωτών υπερτάσεων επηρέαζαν δυσμενώς τη λειτουργία του συστήματος καθοδικής προστασίας. Αντιθέτως, μετά την εγκατάσταση των ΕΣΛ, τα επίπεδα των AC τάσεων μειώθηκαν, ενώ οι μεγάλες αποκλίσεις της DC τάσης εξαφανίστηκαν. Κατά συνέπεια, ο κίνδυνος διάβρωσης από εναλλασσόμενο ρεύμα κατέστη μικρότερος και οι πιθανότητες αποκλίσεων του δυναμικού του αγωγού από το επιτρεπόμενο δυναμικό προστασίας μειώθηκαν. Συγχρόνως μειώθηκε το συνολικό ρεύμα προστασίας, καταδεικνύοντας τη βελτιωμένη λειτουργία της καθοδικής προστασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Heim G. and Peez G., 3R Int. **27**:345 (1988).
- [2] Heim G. and Peez G., Gas-Erdgas **133**:137 (1992).
- [3] Chin D.-T. and Venkatesh S., J. Electrochem. Soc. **126**:1908 (1979).
- [4] Chin D.-T. and Sachdev P., J. Electrochem. Soc. **130**:1714. (1983).
- [5] Kajiyama F. and Nakamura Y., Corrosion **55**:200 (1999).
- [6] Pourbaix A., Carpentiers P. and Gregoor R., MP **39**:34 (2000).
- [7] Heim G., 3R Int. **21**:386 (1982).