

Συστήματα γείωσης υποσταθμών υψηλής τάσεως

Μεθοδολογία σχεδίασης, ανάλυσης και μέτρησης

I. Γκόνος⁽¹⁾, B. Κονταργύρη⁽¹⁾, I. Σταθόπουλος⁽¹⁾, Γ. Μάνος⁽²⁾

(1) Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π.,

(2) Ελληνική Τεχνοδομική Ενεργειακή Α.Ε.

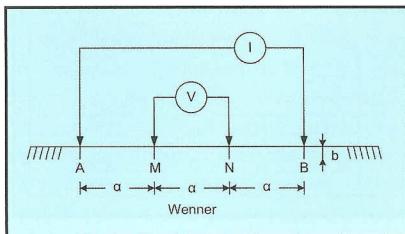
Η κατασκευή πλήθους ιδιωτικών υποσταθμών (Υ/Σ) υψηλής τάσης (αιολικά πάρκα, πλεκτροκίνηση ΟΣΕ, ιδιωτικοί σταθμοί παραγωγής) έχει δημιουργήσει μία σειρά ερωτημάτων στις εταιρείες που σχεδιάζουν τους υποσταθμούς. Η παρούσα εργασία προσπαθεί να συνοψίσει την αποκτηθείσα εμπειρία και να δώσει κάποιους απλούς κανόνες για την σχεδίαση των συστημάτων γείωσης.

Σύστημα γείωσης ονομάζεται το σύνολο οριζόντιων και κατακόρυφων πλεκτροδίων γείωσης που αποτελείται από έναν αριθμό διασυνδεδεμένων, γυμνών αγωγών τοποθετημένων στη γη και πάρεχει μια κοινή γείωση για πλεκτρικές συσκευές ή μετατιθηκές κατασκευές, συνήθως σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα πλέγματα που τοποθετούνται οριζόντια κοντά στην επιφάνεια της γης είναι, συνήθως, επίσης αποτελεοματικά στον έλεγχο των επιφανειακών κλίσεων του δυναμικού. Ένα τυπικό πλέγμα συνήθως συμπληρώνεται από έναν αριθμό ράβδων, και μπορεί να συνδεθεί στο πλέγμα γείωσης ώστε

να ελαττωθεί η συνολική αντίσταση της γείωσης [1].

Βηματική τάση Estep ονομάζεται η διαφορά δυναμικού στην επιφάνεια της γης που εφαρμόζεται μεταξύ των ποδών ενός ατόμου, το οποίο κάνει βήμα ανοίγματος 1m, και δεν έρχεται σε επαφή με άλιτο γειωμένο αντικείμενο. Εφόσον η κλίση του δυναμικού στη γη είναι μεγαλύτερη στην περιοχή που γειτονεύει με το πλεκτρόδιο, συνεπάγεται ότι η μέγιστη βηματική τάση υπό συνθήκες σφάλματος προς γη, προφανώς, προκύπτει στη θέση σφάλματος [1].

Τάση επαφής Etouch ονομάζεται η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην ανύψωση δυναμικού γης (GPR) και στο δυναμικό επιφανείας στο σημείο όπου ένα άτομο στέκεται ενώ συγχρόνως έχει ένα χέρι σε επαφή με μια γειωμένη δομή. Ο κίνδυνος από αυτό τον τύπο της επαφής είναι μεγαλύτερος από τον κίνδυνο που σχετίζεται με τη βηματική τάση, γιατί η τά-



■ Σχήμα 1: Συνδεσμολογία μέτρησης της ειδικής αντίστασης.

σημειώνεται δια μέσου του σώματος και μπορεί να επηρεάσει τους μυς της καρδιάς [1].

Πολλές φορές στην επιφάνεια του εδάφους τοποθετείται το μεγόμενο «υδρικό επιφάνειας» (υδρικό με υψηλότερη ειδική αντίσταση από το πάνω στρώμα του χώματος) σε στρώμα πάχους 0.08 – 0.15m, με σκοπό την αύξηση της αντίστασης επαφής. Εποιητικό που το έδαφος κάτω από το υδρικό επιφάνειας έχει μικρότερη ειδική αντίσταση από αυτό, μόνο ένα μικρό μέρος του ρεύματος σφάλματος θα κινηθεί προς τα επάνω και το ρεύμα, που θα διαρρέει το άτομο, θα μειωθεί. Η μείωση αυτή εξαρτάται τόσο από τη διαφορά των ειδικών αντιστάσεων του υδρικού επιφάνειας και του υποκείμενου στρώματος εδάφους όσο και από το πάχος του υδρικού επιφάνειας. Η επίδραση των δύο αυτών παραγόντων εκφράζεται από τον εμπειρικό συντελεστή C_s [1]:

$$C_s = 1 - 0.09 \cdot (1 - \rho / \rho_s) / (2 \cdot h_s + 0.09) \quad (1)$$

όπου ρ_s και h_s η ειδική αντίσταση και το πάχος του υδρικού επιφάνειας (σε $\Omega \cdot m$ και m , αντίστοιχα).

Τα επιτρεπτά όρια για τη βηματική και την τάση επαφής (σε V) δίνονται από τις εξισώσεις 2 και 3 [1]:

$$E_{step} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot C_w / \sqrt{t_s} \quad (2)$$

$$E_{touch} = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot C_w / \sqrt{t_s} \quad (3)$$

όπου t_s είναι η διάρκεια που το ρεύμα διαρρέει το ανθρώπινο σώμα (σε sec) και C_w σταθερά με τιμές 0.116 / 0.157 για σωματικό βάρος 50kg / 70kg αντίστοιχα. Όταν δεν χρησιμοποιείται υδρικό επιφάνειας, τότε $C_s = 1$ και ρ_s

$= \rho$, όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση του εδάφους.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του συστήματος γείωσης μιας εγκατάστασης στοχεύει στην ασφαλή μετατοποίηση της διαθέσιμης δυνατικότητας των περιορισμάτων των κλίσεων δυναμικού γης σε τέτοια επίπεδα τάσης, ώστε, υπό συνθήκες σφάλματος, να μην κινδυνεύουν ούτε τα άτομα που βρίσκονται στην περιοχή, ούτε ο εξοπλισμός. Η μελέτη για το σχεδιασμό ενός συστήματος γείωσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ασφαλή όρια για τη βηματική τάση και την τάση επαφής, ανάλογα με τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή του ρεύματος σφάλματος και το συνολικό χρόνο εκκαθάρισης του [1]. Για το σχεδιασμό και κατασκευή ενός συστήματος γείωσης είναι απαραίτητη η γνώση της δομής του εδάφους του γηπέδου, όπου πρόκειται να κωροθετηθεί η υπό προστασία εγκατάσταση. Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της δομής του εδάφους (πλήθος στρωμάτων, βάθος και ειδική αντίσταση κάθε στρώματος) είναι επιβεβλημένος για τη σχεδίαση ενός ασφαλίσυτο συστήματος γείωσης με ταυτόχρονη ειλαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής του. Μετρήσεις της ειδικής αντίστασης του εδάφους, που διεξήχθησαν σε διάφορες περιοχές της χώρας, έδειξαν ότι το έδαφος έχει συνήθως πολυστρωματική δομή. Επομένως, είναι απαραίτητη μία μεθοδολογία για τον υπολογισμό των παραμέτρων της δομής του εδάφους (ειδική αντίσταση

και βάθος του κάθε στρώματος του εδάφους). Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διαθέσιμες μεθοδολογίες για τον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων για διστρωματική [4-7], τριστρωματική [8] και πολυστρωματική δομή [6, 7, 9] του εδάφους, οι οποίες χρησιμοποιούν μετρήσεις της ειδικής αντίστασης του εδάφους.

Μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους

Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης του εδάφους έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές [1-3]. Οι κυριότερες από αυτές είναι [1, 2, 7] α) η μέθοδος Wenner, β) η μέθοδος Schlumberger, γ) η μέθοδος των διπόλων, δ) η μέθοδος Lee, ε) ο εναλλασσόμενος σχηματισμός, στ) η τετραγωνική διάταξη και z) η μέθοδος της μέτρησης της αντίστασης γείωσης.

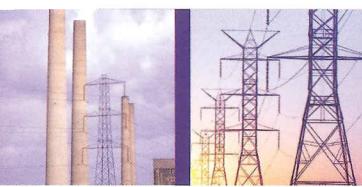
Ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται τα βοηθητικά ηλεκτρόδια στην πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδο (Wenner) φαίνεται στο Σχήμα 1. Σύμφωνα με τη μέθοδο Wenner, χρησιμοποιούνται τέσσερα βοηθητικά ηλεκτρόδια, τοποθετημένα σε ευθεία γραμμή και ισαπέχοντα το ένα από το άλλο απόσταση α. Τα ηλεκτρόδια εμφυτεύονται με το κάτω άκρο τους μερικώς στο έδαφος (βάθος b), ενώ το άνω άκρο τους συνδέεται σε ένα μετρητικό δργανό, το γειωσόμετρο. Το ρεύμα κυκλοφορεί μεταξύ των δύο ακράιων ηλεκτροδίων και μετρείται η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα δύο με-

Οικόπεδο	α [m]	2	4	8	12	16	20	24
A	ρ [$\Omega \cdot m$]	498	428	350	280	226	168	120
B	ρ [$\Omega \cdot m$]	240	209	173	142	115	82	64

■ Πίνακας 1: Μετρήσεις ειδικής αντίστασης του εδάφους.

Μοντέλο εδάφους	Οικόπεδο	ρ_1 [$\Omega \cdot m$]	ρ_2 [$\Omega \cdot m$]	h [m]	RMS σφάλμα [%]
Μονοστρωματικό	A	266,39	-	-	57,09
	B	133,20	-	-	53,05
Διστρωματικό	A	453,43	58,51	9,71	5,58
	B	221,58	32,23	9,72	4,74

■ Πίνακας 2: Μοντελοποίηση του εδάφους.



Ηλεκτρισμός

σαία πλεκτρόδια. Ο λόγος της διαφοράς δυναμικού προς το ρεύμα σήμεραν αρχίζεται ως φανόμενον αντίσταση R (η ένδειξη του οργάνου) και εξαρτάται από τη γεωμετρία του πλεκτροδίου και την ειδική αντίσταση του εδάφους. Η φανόμενον ειδική αντίσταση του εδάφους ρ υποβλογίζεται από την σχέση (4) [1]:

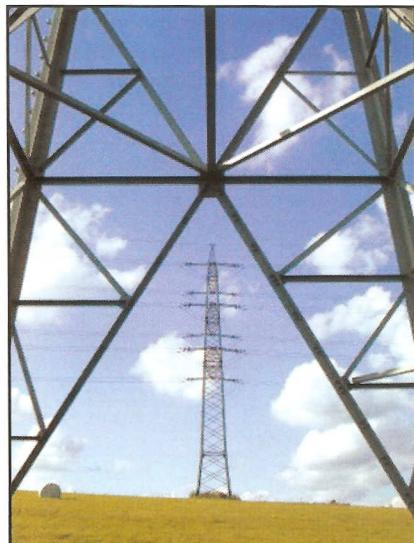
$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{1 + 2 \cdot a / \sqrt{a^2 + 4 \cdot b^2} - a / \sqrt{a^2 + b^2}} \quad (4)$$

Όταν $a > > b$, τότε η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται ως εξής:

$$\rho \approx 2 \cdot \pi \cdot R \cdot a \quad (5)$$

Για τη σχεδίαση του συστήματος γείωσης απαιτείται να έχουμε ως δεδομένα εισόδου τη μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Αυτό προϋποθέτει κατάλληλη επιλογή για:

- τους άξονες μέτρησης (πλήθος μετρήσεων, θέσεις, αποστάσεις)
- την εποχή του έτους, που θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Η ειδική αντίσταση του εδάφους μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Γ' αυτό τονίζεται ότι είναι απαραίτητη η μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε και εμφανίζεται τη μέγιστη τιμή.
- Τον έλιγχο της αξιοποσιάς του φορέα, που πραγματοποιεί τις μετρήσεις



Μοντέλο εδάφους	Οικόπεδο	Τάση επαφής			Βηματική τάση		
		Χωρίς υλικό επιφανείας	Υλικό επιφανείας 10cm, με $\rho=2500\Omega m$	Υλικό επιφανείας 10cm, με $\rho=10000\Omega m$	Χωρίς υλικό επιφανείας	Υλικό επιφανείας 10cm, με $\rho=2500\Omega m$	Υλικό επιφανείας 10cm, με $\rho=10000\Omega m$
Μονοστρωματικό	A	218,8	593,4	1828,9	411,8	1910,2	6852,1
	B	186,7	580,0	1814,8	283,1	1856,6	6795,7
Διστρωματικό	A	264,0	611,3	1848,4	592,4	1981,6	6930,2
	B	208,0	589,0	1824,2	368,5	1892,4	6833,2

■ Πίνακας 3: Μέγιστες επιτρεπόμενες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής.

Απότομη αλέχημας	R [Ω]	E_T [V]	E_S [V]	C_x [μF]	C_T [$V/\Omega m$]	C_S [$V/10m$]
50m×100m με φάρτο 1,73	36619	5408		154,0	137,5	20,3
10m				162,4	127,5	18,0
50m×100m με φάρτο 5m	1,64	33962	4785			
50m×100m με φάρτο 3m	1,61	32884	4649	165,5	123,4	17,5
75m×100m με φάρτο 5m	1,43	28957	4122			
10m				186,3	108,7	15,5
75m×100m με φάρτο 3m	1,36	26899	3692	195,9	101,0	13,9
75m×100m με φάρτο 2m	1,34	26133	3626	198,8	98,1	13,6
75m×125m με φάρτο 5m	1,26	24962	3542			
10m				211,4	93,7	13,3
75m×125m με φάρτο 3m	1,21	23192	3170	220,2	87,1	11,9
75m×125m με φάρτο 2m	1,18	22553	3116	225,8	84,7	11,7

■ Πίνακας 4: Αντίσταση γείωσης και μέγιστες αναπτυσσόμενες τάσεις για μονοστρωματικό έδαφος στο οικόπεδο A.

σεις, η οποία αποδεικνύεται με τη χρήση των υπηρεσιών διαπιστευμένου εργαστηρίου, διαθέτοντος έμπειρο προσωπικό και χρονιμοποιούντος κατάλληλο διακριτικό εξοπλισμό.

Σχεδίαση συστημάτων γείωσης υποσταθμών

Προκειμένου να σχεδιαστεί και να μοντελοποιηθεί το σύστημα γείωσης ενός υποσταθμού είναι απαραίτητο να καθοριστεί το πρότυπο, με το οποίο θα γίνει η σχεδίαση, και να διευκρινιστούν τα απαιτούμενα για την προσομοίωση στοιχεία, όπως το είδος του εδάφους (μονοστρωματικό, διστρωματικό, κ.λπ.), που θα χρησιμοποιηθεί στη μοντελοποίηση, η μορφολογία του εδάφους, η συχνότητα, το βάρος του ανθρώπου καθώς και ο προϋπολογισμός που διατίθεται για την σχεδίαση-κατασκευή. Επιπλέον, εφόσον δεν καθοριστούν το ρεύμα βραχυκύμιωσης και η διαστασιολόγηση των αγωγών, θα πρέπει να δοθούν τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό τους.

Αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούμε για την σχεδίαση και κατασκευή του συστήματος γείωσης είναι:

1. Επιλογή των υποψήφιων θέσεων εγκατάστασης. Τα κριτήρια, που πρέπει να ικανοποιούνται, για την επιλογή της θέσης του υποσταθμού είναι:

- Μικρή απόσταση (κάτω αν είναι δυνατόν) από την υφιστάμενη γραμμή υψηλής τάσης, έτοις ώστε να μην απαιτείται περιβαλλοντική μελέτη.
- Σωστή χωροθέτηση του έργου: Επιλογή κώρου αφ' ενός, μεν, κατάλληλου από πλευράς επικινδυνότητας για τους κατοίκους, αφ' ετέρου, δε, μακριά από αρκαιολογικούς κώρους και τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλιμπους ή ενδιαφέροντος
- Κατάλληλη τοποτέχνηση του κώρου, ώστε να αποφευχθούν αντιδράσεις των κατοίκων πλάγια οπικής ρύπανσης
- Κατάλληλο οικόπεδο. Έδαφος με χαμηλή ειδική αντίσταση, ικανή έκταση ώστε να αναπτυχθεί ο υποσταθμός με απαίτηση μίγιων χωματουργικών έργων και ξεκάθαρο ιδιοκτιστικό καθεστώς.

2. Μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους με τη μέθοδο Wenner για κάθε υποψήφια θέση εγκατάστασης. Σε κάθε υποψήφια θέση, μετράται η ειδική αντίσταση, ίσως ώστε να αναπτυχθεί ο υποσταθμός με απαίτηση μίγιων χωματουργικών έργων και ξεκάθαρο ιδιοκτιστικό καθεστώς. Η προδιαγραφή της ΔΕΗ [12] ζητάει τρεις έως πέντε άξονες ανάλογα με τις μετρούμενες τιμές της ειδικής αντίστασης. Ο υπεύθυνος της μέτρησης μπορεί να επιλέγει τους άξονες: α) στις πλευρές, β) στις διαγωνίους και γ) με «τυχαίο» τρόπο ώστε να περιλαμβάνονται όλες οι αλλαγές του εδάφους στο μετρούμενο οικόπεδο. Σε κάθε άξονα θα μετρήσουνται μετρήσεις 2, 4, 8, 12 και 16m. Εάν υπάρχει μεγάλη μεταβολή των με-

τρούμενων τιμών τότε λαμβάνονται μετρήσεις επιπλέον στα 20 και 24m.

3. Υπολογισμός του μοντέλου εδάφους, βάσει μετρήσεων της ειδικής αντίστασης του εδάφους για όλες τις θέσεις στις οποίες έχουμε μετρήσεις. Για κάθε απόσταση μέτρησης ως τιμή λαμβάνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων της ειδικής αντίστασης του εδάφους για όλους τους άξονες, στους οποίες έχουμε μετρήσεις. Στην συνέχεια εξετάζεται η ποθυστρωματικότητα του εδάφους. Συνήθως το έδαφος προσομοιώνεται ως μονοστρωματικό ή διστρωματικό. Ως κριτήριο για την επιλογή του μοντέλου του εδάφους έχουμε την ελαχιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ των μετρούμενων τιμών της ειδικής αντίστασης του εδάφους και αυτών που μας δίνει το μοντέλο προσομοίωσης. Για τον υπολογισμό των παραμέτρων του εδάφους (πλήθος / ειδική αντίσταση / πάχος στρωμάτων) είτε χρησιμοποιείται μεθοδολογία, που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. [6, 7], ή που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων της RESAP του προγράμματος CDEGS.

4. Υπολογισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης ασφαλίσυς βηματικής τάσης και της μέγιστης επιτρεπόμενης ασφαλίσυς τάσεως επαφής. Για χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος 0,5s, συχνότητα 50Hz και βάρος ανθρώπου 50kg [10] υπολογίζουμε τα ασφαλή όρια των βηματικών τάσεων και των τάσεων επαφής για το έδαφος του υποσταθμού. Επίσης, υπολογίζουμε τα ασφαλή όρια που προκύπτουν μετά την προσθήκη υλικού επιφανείας (π.χ. καλίκι ή ασφαλτος) κατάλληλου πάχους (π.χ. 15 ή 10cm).

5. Καθορισμός της μέγιστης τιμής ρεύματος σφάλματος. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος σφάλματος καθορίζεται από την προδιαγραφή της ΔΕΗ [10] ίση με 30 kA για Y/Σ που ανήκουν στο διασυνδεδεμένο σύστημα Μεταφοράς 150 kV. Για υποσταθμούς με μία, δύο ή περισσότερες πύλες εφαρμόζεται συντελεστής διαίρεσης



ρεύματος (Sf) 0,9, 0,8 και 0,7, αντίστοιχα [10].

6. Σχεδιασμός τυπικού πλέγματος γείωσης. Ανάλογα με τις διαστάσεις του οικοπέδου και το μέγεθος του υποσταθμού σχεδιάζεται ένα τυπικό πλέγμα. Το τυπικό πλέγμα συνήθως είναι ορθογώνιο (π.χ. 50m_100m, 75m_100m ή 75m_125m). Οι εξωτερικές διαστάσεις του πλέγματος καθορίζουν κατά κύριο λόγο την τιμή της αντίστασης γείωσης. Το πόσο πυκνό θα είναι το πλέγμα (π.χ. με «μάτι» 10m ή 5m ή 3m) καθορίζει την τιμή των αναπτυσσόμενων τάσεων.

7. Υπολογισμός της αντίστασης γείωσης. Με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος (π.χ. MALZ του CDEGS) υπολογίζουμε για το βέβητο μοντέλο του εδάφους, που αντιστοιχεί στις μετρήσεις μας, την τι-

μή της αντίστασης γείωσης του πλέγματος.

8. Υπολογισμός της βηματικής τάσης και της τάσης επαφής για κάθε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους πάνω από το πλέγμα γείωσης. Με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος (π.χ. MALZ του CDEGS) υπολογίζουμε τις αναπτυσσόμενες τάσεις για το βέβητο μοντέλο του εδάφους, που αντιστοιχεί στις μετρήσεις μας

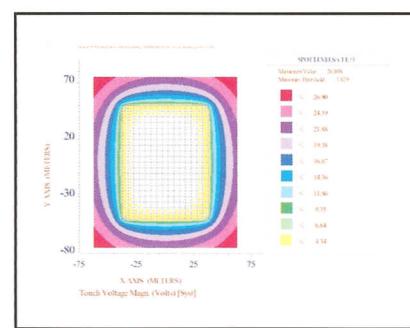
9. Έβεγχος των τιμών των παραπάνω μεγεθών.

Είναι επιθυμητό η αντίσταση γείωσης να είναι μικρότερη από 1Ω, ενώ απαιτείται οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις επαφής να μην ξεπερνούν τα ασφαλή όρια, όπως αυτά ορίζονται από το Πρότυπο [1].

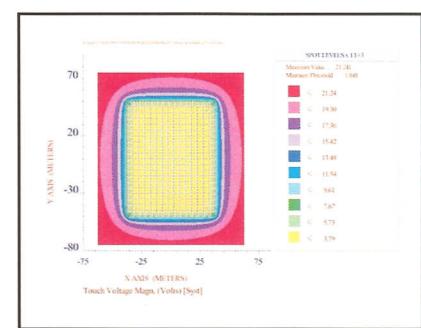
10. Εάν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του βήματος 9, τότε η σχεδίαση έχει ολοκληρωθεί (οπότε ακολουθεί το βήμα 13), αλλιώς το επόμενο βήμα 11.

• Βεβίωση συστήματος γείωσης με αύξηση της επιφάνειας του συστήματος γείωσης, πύκνωση του πλέγματος γείωσης, προσθήκη κατακόρυφων πλεκτροδίων, προσθήκη κώματος με καμπλή ειδική αντίσταση ή βεβητικών εδάφους, χρήση κατάλληλου υλικού επιφανείας, συνήθως καμικιών, στην επιφάνεια του εδάφους πάνω από το σύστημα γείωσης, εάν αυτό επιφέρει αλλιαγή στα όρια ασφαλείας και αλλιαγές στην περιφράξη (γείωση, υλικό κατασκευής)

11. Επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας από το βήμα 6.



Σχήμα 2: Τάση επαφής για το πλέγμα 50m_100m με «μάτι» 3m, τοποθετημένο στο οικόπεδο Β, για επίστρωση του εδάφους με υλικό επιφανείας πάχους 10cm, ειδικής αντίστασης 10000Ωm και χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος 500ms. a) για μονοστρωματική και β) για διστρωματική προσέγγιση του εδάφους.



12. Κατασκευή του συστήματος γείωσης. Θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην κατασκευή του συστήματος γείωσης σύμφωνα με την μεθότη.

13. Πραγματοποίηση τυχόν επιπλέον βεβτιώσεων, όπου τούτο είναι τεχνικά αναγκαίο και εφικτό.

14. Μέτρηση της αντίστασης γείωσης και αναπτυσσόμενων βιηματικών τάσεων και τάσεων επαφής. Κρίσιμες παράμετροι σε αυτό το στάδιο είναι [3]:

- Η ειλάχιστη τιμή του εγχυόμενου ρεύματος (προτείνεται να είναι >50Α).
- Η απόσταση για την έγχυση του ρεύματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 6,5 φορές η μέγιστη διάσταση του συστήματος γείωσης [3]. Χρησιμοποιώντας τους στύλους της μέσης τάσης μπορούμε να φθάσουμε σε απόσταση της τάξεως των αρκετών εκατοντάδων μέτρων. Το σημείο που θα γίνει η έγχυση του ρεύματος πρέπει να έχει καμπυλή αντίσταση – αυτό εξασφαλίζεται είτε με αρκετά κατακόρυφα πλεκτρόδια είτε, ακόμα, με προσθήκη μεταθλικών πλακών. Επίσης, είναι δυνατή η προσθήκη νερού για να μειωθεί η αντίσταση. Πρέπει, όμως, να προστίθεται νερό σε όλη τη διάρκεια έγχυσης του ρεύματος διαφορετικά, ήλιγχω θέρμανσης, θα μεταβάλλεται η τιμή της αντίστασης και κατά συνέπεια και η τιμή του εγχυόμενου ρεύματος.

• Τα σημεία μέτρησης των βιηματικών τάσεων, τάσεων επαφής, metal

to metal (πλήθος μετρήσεων, οπωδήποτε σε όλες τις γωνίες).

Παραδείγματα σχεδίασης συστημάτων γείωσης υποσταθμών

Έστω ότι υπάρχουν δύο οικόπεδα (Α, Β) με μέσο όρο μετρήσεων ειδικής αντίστασης του εδάφους, όπως παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Το έδαφος προσομοιώνεται είτε ως μονοστρωματικό είτε ως διστρωματικό (Πίνακας 2). Το σφάλμα της μονοστρωματικής προσομοιώσης του εδάφους είναι 57,09% για το οικόπεδο Α, το οποίο κρίνεται μη ικανοποιητικό, ενώ το σφάλμα κατά τη διστρωματική προσέγγιση μειώνεται σημαντικά (5,58%). Οι μέγιστες επιτρεπόμενες βιηματικές τάσεις και τάσεις επαφής στα δύο οικόπεδα για μονοστρωματικό ή διστρωματικό έδαφος παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 για διάρκεια σφάλματος 0,5s, συχνότητα 50Hz και βάρος ανθρώπου 50kgr.

Αντίσταση στόχευσης	Οικόπεδο Α			Οικόπεδο Β		
	R [Ω]	E _T [V]	E _S [V]	R [Ω]	E _T [V]	E _S [V]
50m+100m με σχέση 10m	1,24	33802	7170	0,62	16848	3532
50m+100m με σχέση 5m	1,09	29134	5709	0,55	14572	2824
50m+100m με σχέση 3m	1,03	27386	5320	0,52	13715	2635
75m+100m με σχέση 10m	0,93	24795	5208	0,47	12411	2571
75m+100m με σχέση 5m	0,81	21241	4109	0,41	10876	2038
75m+100m με σχέση 3m	0,77	20034	3854	0,39	10085	1916
75m+125m με σχέση 10m	0,78	20643	4299	0,40	10349	2124
75m+125m με σχέση 5m	0,68	17613	3396	0,35	8869	1688
75m+125m με σχέση 3m	0,65	16620	3186	0,33	8383	1586

■ Πίνακας 5: Αντίσταση γείωσης και μέγιστες αναπτυσσόμενες τάσεις για διστρωματικό έδαφος στα οικόπεδα Α και Β.

Για το μονοστρωματικό έδαφος η αντίσταση (R) του συστήματος γείωσης, η μέγιστη βιηματική τάση(ES) και η μέγιστη τάση επαφής (ET) δίνονται από τις παρακάτω προσεγγιστικές εξισώσεις:

$$R = \frac{\rho}{C_R} \quad (6)$$

$$E_T = C_T \cdot \rho \cdot S_f \quad (7)$$

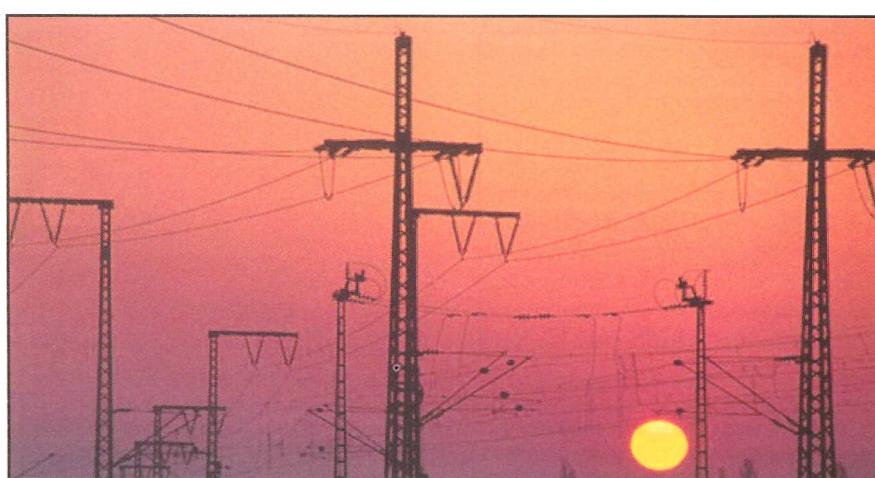
$$E_S = C_S \cdot \rho \cdot S_f \quad (8)$$

όπου οι τιμές των παραμέτρων CR, CT και CS δίνονται για τα συγκεκριμένα πλέγματα στον Πίνακα 4, και Sf είναι ο συντελεστής διαίρεσης ρεύματος ανάλογα με τον αριθμό των πυμών του Υποσταθμού. Για μονοστρωματικά εδάφη ο υπολογισμός των ανωτέρω μεγεθών (Εξ. 6-8) μπορεί να γίνει και με αναμυτικές σχέσεις [1].

Στους Πίνακες 4 και 5 παρουσιάζονται οι τιμές της αντίστασης γείωσης και οι μέγιστες αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής και βιηματικές τάσεις για ρεύμα σφάλματος 30kA στο οικόπεδο Α και για διάφορα τυπικά πλέγματα γείωσης. Οι πραγματικά αναπτυσσόμενες τάσεις είναι μικρότερες (οι τιμές του πίνακα πρέπει να πολλαπλασιασθούν με τον συντελεστή διαίρεσης ρεύματος).

Από τη διερεύνηση, που έγινε προκειμένου να επιλεγεί η θέση του υποσταθμού και να κατασκευαστεί ένα ασφαλές σύστημα γείωσης, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όταν τοποθετείται πλέγμα διαστάσεων 75m_100m με «μάτι» 5m στο οικόπεδο Α και εφαρμόζεται το μονοστρωματικό μοντέλο, οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής είναι κάτω των επιτρεπόμενων ορίων στην περιοχή που καλύπτει το εγκατάσταση του υποσταθμού, εφ' όσον έχει γίνει επίστρωση της επιφάνειας του εδάφους με υψηλό επιφανείας πάχους 10cm και ειδικής αντίστασης 10000Ωm (άσφαλτος). Αντίθετα, όταν εφαρμοστεί το διστρωματικό μοντέλο, οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής είναι άνω των επιτρεπόμενων ορίων σε όλη την περιοχή του υποσταθμού. Συνεπώς, στην περίπτωση του μονοστρωματικού μοντέλου εδάφους εί-



vai δυνατό να οδηγηθεί κανείς (όταν το πάνω στρώμα του διστρωματικού μοντέλου έχει υψηλότερη τιμή από την τιμή του μονοστρωματικού εδάφους) στην κατασκευή ενός μη ασφαλιούσα συστήματος γείωσης, γεγονός το οποίο οφείλεται στο μεγάλο σφάλμα που παρουσιάζει το μονοστρωματικό μοντέλο.

- Όταν χρησιμοποιούμε διστρωματικό μοντέλο εδάφους η αντίσταση γείωσης μειώνεται σε σχέση με το μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους, αυτό όμως δεν ομαίνει ότι το σύστημα γείωσης είναι πιο ασφαλές. Οι αναπτυσσόμενες βιοματικές τάσεις και τάσεις επαφής εξαρτώνται από την ειδική αντίσταση του άνω στρώματος του εδάφους, η οποία είναι δυνατό να αυξηθεί κατά τη διστρωματική πρόσγιση του εδάφους.

- Όταν τοποθετείται πλέγμα διαστάσεων 50m_100m με «μάτι» 3m στο οικόπεδο B και εφαρμόζεται είτε το μονοστρωματικό είτε το διστρωματικό μοντέλο, οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής είναι κάτω των επιτρεπόμενων ορίων στην περιοχή που καλύπτει η εγκατάσταση του υποσταθμού, εφ' όσον έχει γίνει επίστρωση της επιφάνειας του εδάφους με υδρικό επιφανείας πάχους 10cm και ειδικής αντίστασης 10000Ωm (άσφαλτος) (Σχήμα 2).

- Η εξασφάλιση βιοματικών τάσεων κάτω από τα αποδεκτά όρια είναι ευκολότερο πρόβλημα από το αντίστοιχο των τάσεων επαφής. Αφενός γιατί τα όρια είναι μεγαλύτερα και αφετέρου γιατί, σχεδόν πάντα, η εξάλειψη των τάσεων επαφής προκαλεί και εξάλειψη των επικίνδυνων βιοματικών τάσεων. Στο σχήμα 3a παρουσιάζεται, ως μήνυση, η επίστρωση με καλίκι σε όπλο το οικόπεδο. Για την εξαφάνιση των επικίνδυνων βιοματικών τάσεων στο όριο του συστήματος γείωσης είναι απαραίτητη η επίστρωση ασφαλτού (Σχήμα 3b).

- Όταν αναπτύσσονται επικίνδυνες τάσεις τότε ως μήνυση μπορεί να προταθεί η ύπαρξη οικοπέδου με μεγαλύτερη έκταση από το σύστημα γείωσης ώστε η περίφραξη να απέχει αρκετά (του μέτρου 2m) από το

πλέγμα. Διαφορετικά, σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί για την περίφραξη του οικοπέδου να χρησιμοποιείται μη μεταλλικό υλικό (π.χ. πέτρινος τοίχος), τότε οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής γύρω από την περίφραξη να μην είναι επικίνδυνες. Φυσικά, ο συνδυασμός των δύο μήνυσεων είναι τεχνικά καλύτερη μήνυση οικονομικά όμως εί-

ναι οιμαντικά ακριβότερη.

- Η τιμή της αντίστασης γείωσης εξαρτάται κυρίως από τη συνολική διάσταση του πλέγματος και όχι από τη διάσταση του «ματιού». Το πυκνό, όμως, πλέγμα εξασφαλίζει τη μείωση των αναπτυσσόμενων βιοματικών τάσεων και τάσεων επαφής. Η πύκνωση, όμως, του πλέγματος δεν εί-

Φωτοενέργεια
Φωτοβολταϊκά Συστήματα
Ανεμογεννήτριες

Η εταιρεία δραστηριοποιείται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας από το 1999

**Φωτοβολταϊκά
Ανεμογεννήτριες
Μετατροπείς δικτύου
για αυτόνομα συστήματα
Μπαταρίες**

**Ρυθμιστές φόρτισης
Βάσεις στήριξης
Υδριδικά συστήματα
παραγωγής ενέργειας**

Συντήρηση και αναβάθμιση υφισταμένων συστημάτων.
Τεχνική υποστήριξη
Ενεργειακές μελέτες
Τεχνικοοικονομικές μελέτες
και υποβολή πλήρη φακέλου για ένταξη σε χρηματοδοτικά προγράμματα.

Πλήρης εγκατάσταση και παράδοση του έργου με το κλειδί στο χέρι

ΦΩΤΟΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ
Αναπαύσεως 3 - 63200 Νέα Μουδανιά Χαλκιδικής
Τηλ.: 2373-024727, Fax: 2373-024781
www.fotoenergia.gr email : info@fotoenergia.gr



Ηλεκτρισμός



vai τεχνοοικονομικά αποδεκτή μετά από ένα όριο. Μεγαλύτερη μείωση των αναπτυσσόμενων τάσεων επιτυχάνεται με την επίστρωση της επιφάνειας του εδάφους με υδρούχο επιφανείας, συνήθως πάχους 10cm και ειδικής αντίστασης 2500Ωm (χα-
δίκι) ή 10000Ωm (άσφαλτος).

- Στην περίπτωση ομοιόμορφου εδάφους, η αντίσταση γείωσης είναι γραμμική συνάρτηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους για συγκεκριμένο σύστημα γείωσης (Εξίσωση 6).
- Στην περίπτωση χρόνης ασφάλτου ως υδρούχο επιφανείας πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την απορροή των υδάτων στο χώμα (με ύπαρξη καναλιών με σχάρες) έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η κατάλληλη υγρασία σε αυτό

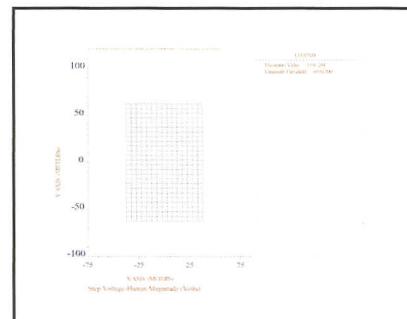
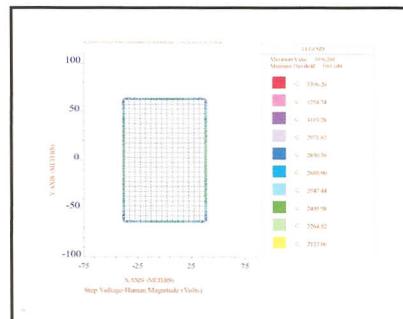
Συμπεράσματα

Το κύριο ζητούμενο στην μελέτη, σκεδίαση και κατασκευή ενός υποσταθμού είναι η μη ανάπτυξη επικίνδυνων βιματικών τάσεων και τάσεων επαφής. Επιπλέον, στόχος της σκεδίασης του συστήματος γείωσης πρέπει να είναι η βέβαιη διάταξη των στοιχείων υποσταθμού, η επλακιστοποίηση της αντίστασης γείωσης του πλέγματος, καθώς και η επλακιστοποίηση των αναπτυσσόμενων τάσεων επαφής και βιματικών τάσεων. Για να είναι οι αναπτυσσόμενες τάσεις μικρότερες από τα επιτρεπτά όρια α-

σφαλείας απαιτούνται μέτρα όπως: α) Μεγαλύτερη έκταση υποσταθμού, β) Πικνότερο πλέγμα, γ) Χρόνη κατάλληλου υδρούχου επιφανείας, δ) Κατάλληλη περιφραξή.
Με την παρούσα εργασία προτείνεται ότι, το τελικό κριτήριο στη σκεδίαση δεν πρέπει να είναι μόνο η επλακιστοποίηση της συνοδικής αντίστασης γείωσης, αλλά επιπροσθέτως, και μάλιστα μεγαλύτερης σημασίας, η τήρηση των βιματικών τάσεων και των τάσεων επαφής κάτω των επιτρεπτών ορίων ασφαλείας, όπως υπολογίζονται με βάση το Πρότυπο ANSI/IEEE Std 80-2000 [1].

Βιβλιογραφία

- [1] ANSI/IEEE Std 80-2000, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 2000.
 - [2] IEEE Std 81-1983, "IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system", 11 March 1983.
 - [3] IEEE Std 81.2-1991, "IEEE guide to measurement of impedance and safety characteristics of large, extended or interconnected grounding systems", June 1992.
 - [4] Aravanis J., Tzouvelekis E., Chronopoulos C., Antoniou T., "Computing Method of the Equivalent resistivity of non-uniform Soil for the Design of transmission Substation Grounding Grids", Proceedings of the 38th International Universities
 - [5] Del Alamo J.L., "A comparison among eight different techniques to achieve an optimum estimation of electrical grounding parameters in two-layered earth", IEEE Transactions on Power Delivery, 8, 4, October 1993, pp. 1890-1899.
 - [6] Gonos I.F., Stathopoulos I.A., "Estimation of Multi-Layer Soil Parameters using Genetic Algorithms", IEEE Transactions on Power Delivery, January 2005, pp. 100-106.
 - [7] Γκόνος Ι.Φ., "Μεταβατική συμπεριφορά συστημάτων γείωσης", Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετόπιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2002.
 - [8] Yang H., Yuan J., Zong W., "Determination of three-layer earth model from wenner four-probe test data", IEEE Transactions on Magnetics, 37, 5, September 2001, pp. 3684-3687.
 - [9] Takahashi T., Kawase T., "Analysis of apparent resistivity in a multi-layer earth structure", IEEE Transactions on Power Delivery, 5, 2, April 1990, pp. 604-612.
- Προδιαγραφή ΔΕΗ/ΔΝΕΜ-ΥΣ1, Τόμος Ι - Αναθεώρηση 6Α (ΔΝΕΜ-ΥΣ1.Ι-6Α), "Τεχνική Περιγραφή Υπαίθριου Υ/Σ Μεταφοράς 150kV / MT για Σύνδεση Ανεξάρτητου Παραγωγού με το Σύστημα", Αύγουστος 2009.



■ Σχήμα 3: Βιματική τάση για το πλέγμα 75m_125m με «μάτι» 5m, τοποθετημένο στο οικόπεδο Α, για επίστρωση του εδάφους με υδρούχο επιφανείας πάχους 10cm, ειδικής αντίστασης α) 2500Ωm και β) 10000Ωm και χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος 500ms.