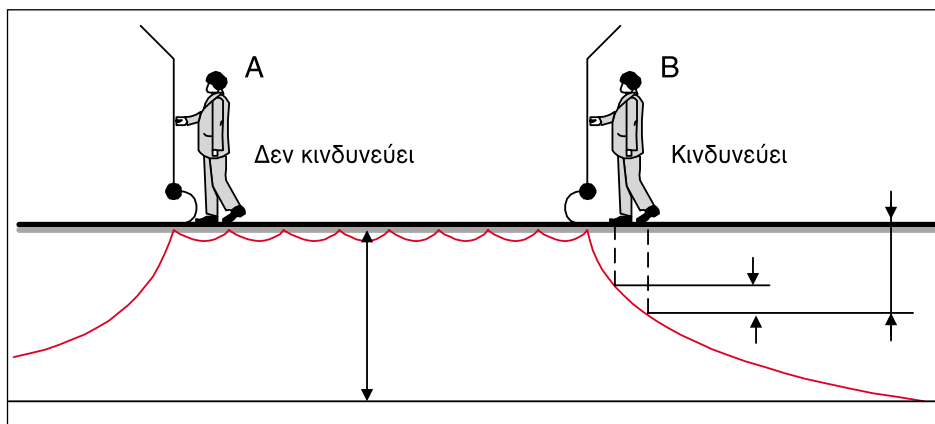


ΓΕΙΩΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ



Ενότητα 1.4

- 1.4.1** Συστήματα γειώσεων
- 1.4.2** Η αντίσταση γείωσης
- 1.4.3** Βηματική τάση και τάση επαφής
- 1.4.4** Ισοδυναμικές επιφάνειες
- 1.4.5** Θεμελιακή γείωση
- 1.4.6** Σύνδεση των διαφόρων ειδών γείωσης σε κοινό γειωτή



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ☞ να γνωρίζουν τους βασικούς ορισμούς των γειώσεων.
- ☞ να αναφέρουν τα συστήματα γειώσεων που συναντάμε σε έναν υποσταθμό.
- ☞ να ορίζουν την αντίσταση γείωσης ενός ηλεκτροδίου καρφωμένου στο έδαφος.
- ☞ να αναφέρουν τη βηματική τάση και την τάση επαφής.
- ☞ να διακρίνουν τα πλεονεκτήματα και τον τρόπο κατασκευής των ισοδυναμικών πλεγμάτων.

1.4 Γειώσεις υποσταθμών

Ορισμοί

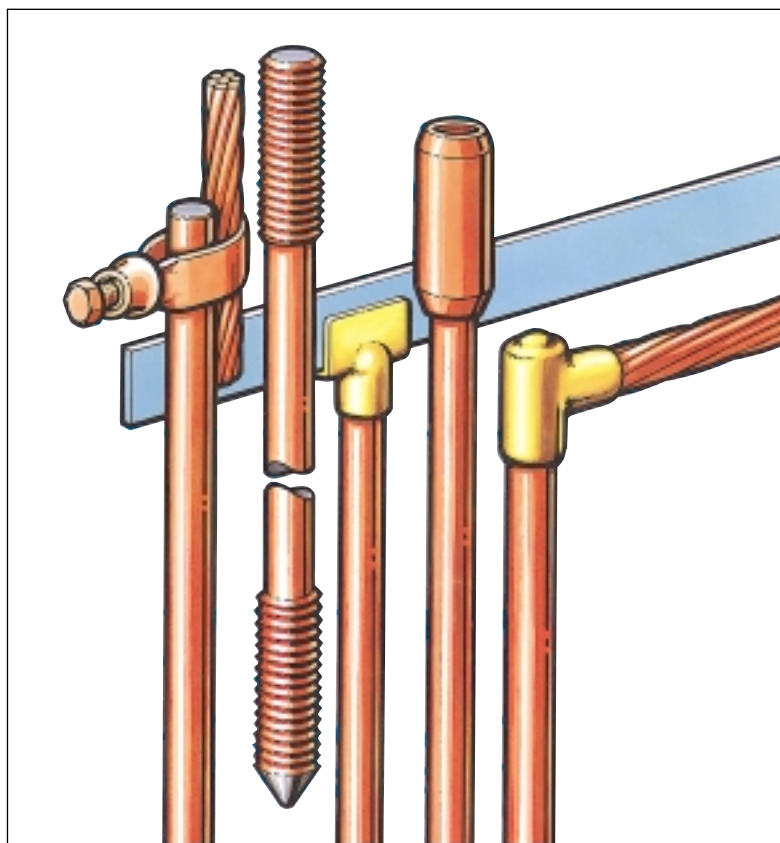
Γείωση είναι η σύνδεση ενός σημείου ηλεκτρικού κυκλώματος ή ενός μεταλλικού αντικειμένου με μία εγκατάσταση γείωσης.

Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα η περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης καρφωμένα ή θαμμένα μέσα στο χώμα σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m από την επιφάνεια της γής.

Γή είναι η αγώγιμη μάζα του εδάφους, του οποίου το δυναμικό σε οποιοδήποτε σημείο θεωρείται συμβατικά ίσο με το μηδέν.

Τα **ηλεκτρόδια γείωσης** (earth electrode) συνήθως είναι:

- ράβδοι κυκλικής ή άλλης διατομής
- πλάκες από γαλβανισμένη λαμαρίνα ή επικασιτερωμένο χαλκό
- ταινίες (τσέρκι) απο γαλβανισμένο χάλυβα διατομής 30x4 mm



Εικόνα 1.4 Ηλεκτρόδια γείωσης κυκλικής διατομής και διάφοροι τρόποι σύνδεσής τους με τον αγωγό γείωσης

1.4.1 Συστήματα γειώσεων

Στην Εικόνα 1.4.1 βλέπουμε τα τρία είδη γειώσεων που συναντάμε στους υποσταθμούς μέσης τάσης.

A. Γείωση προστασίας

Χωρίζεται σε δύο μέρη:

A1. Γείωση προστασίας μέσης τάσης

Στο σύστημα αυτό συνδέονται όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού που λειτουργούν με ονομαστική τάση $> 1 \text{ kV}$, τα οποία δεν ανήκουν στο ενεργό κύκλωμα αλλά μπορούν να γίνουν ενεργά σε περίπτωση σφάλματος ή ακόμα και τόξου. Τέτοια είναι ο πίνακας μέσης τάσης, το δοχείο του μετασχηματιστή, οι θωρακίσεις των καλωδίων μέσης τάσης κ.ά.

A2. Γείωση προστασίας χαμηλής τάσης

Στο σύστημα αυτό συνδέονται όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού με ονομαστική τάση $< 1 \text{ kV}$, δηλαδή ο πίνακας χαμηλής τάσης, οι θωρακίσεις των καλωδίων χαμηλής τάσης κ.λπ.

B. Γείωση λειτουργίας

Είναι η γείωση ενός σημείου του ενεργού κυκλώματος, π.χ η γείωση του ουδέτερου κόμβου της χα-

μηλής τάσης του μετασχηματιστή 20/0,4 kV. Αυτή είναι άμεση, δηλαδή δεν μεσολαβεί κάποια αντίσταση. (*)

Η γείωση είναι απαραίτητη για να μην εμφανισθούν επικίνδυνες τάσεις στο δίκτυο χαμηλής τάσης.

Τα δίκτυα με γειωμένο ουδέτερο κόμβο ονομάζονται και δίκτυα TN (T=Terre, N=Neutral). Στην κατηγορία αυτή ανήκει όλο το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (400 V) της ΔΕΗ. Τα δίκτυα που μελετάμε στο παρόν βιβλίο ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Σε ειδικές εγκαταστάσεις, όπως αίθουσες χειρουργείων, σφαγεία και γενικά χώρους με υγρασία, συναντάμε τα δίκτυα IT (Isolee Terre), δηλαδή δίκτυα με μονωμένο (αγεώτο) ουδέτερο κόμβο.

Γ. Γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Στη γείωση αυτή καταλήγουν οι αγωγοί του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας για να διαχετεύσουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γή.



Εικόνα 1.4.1 Τα τρία συστήματα γειώσεων

α. Γείωση προστασίας μέσης τάσης

β. Γείωση προστασίας χαμηλής τάσης

γ. Γείωση λειτουργίας (ουδέτερου) χαμηλής τάσης

(*) Αντίθετα στα δίκτυα 150/20 kV ο ουδέτερος του μετασχηματιστή στη πλευρά των 20 kV γειώνεται μέσω αντίστασης $R = 10 \Omega$ περίπου έτσι ώστε να περιορίζεται το ρεύμα σφάλματος προς γή.

1.4.2 Η αντίσταση γείωσης

Για να καταλάβουμε τη λειτουργία της γείωσης σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση, θα πρέπει αρχικά να καταλάβουμε τον τρόπο που λειτουργεί ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο καρφωμένο κάθετα στη γή, σε βάθος μεγαλύτερο από 0.5 m (Εικόνα 1.4.2). Σε βάθος κάτω από 0.5 m το χώμα παραμένει υγρό όλες τις εποχές του χρόνου και έτσι το ηλεκτρόδιο έρχεται σε καλή επαφή με τη γή.

Στο πάνω μέρος του ηλεκτροδίου συνδέουμε με καλώδιο τα μεταλλικά μέρη των ηλεκτρικών συσκευών. Όσο η εγκατάστασή μας λειτουργεί κανονικά, το ηλεκτρόδιο έχει το δυναμικό της γής αλλά και όλα τα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης που είναι συνδεδεμένα σε αυτό έχουν και αυτά το δυναμικό της γής.

Το πρόβλημα εμφανίζεται όταν σε περίπτωση σφάλματος κάποιας φάσης με τη γή, στο ηλεκτρόδιο εμφανισθεί μια τάση έστω U_0 ως προς την άπειρη γή.

Με τον όρο **άπειρη γή** θεωρούμε ένα σημείο στην επιφάνεια της γής, θεωρητικά σε άπειρη απόσταση από το γειωτή, στο οποίο έχουμε καρφώσει ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο.

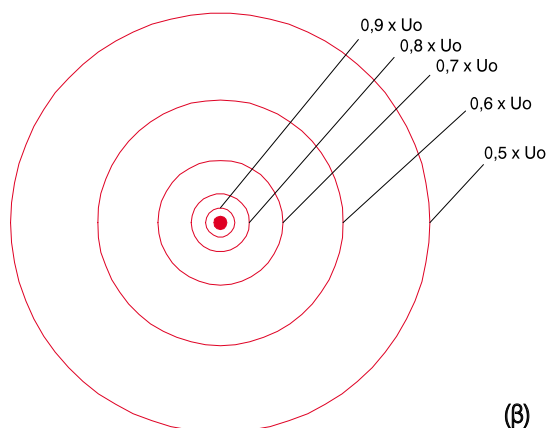
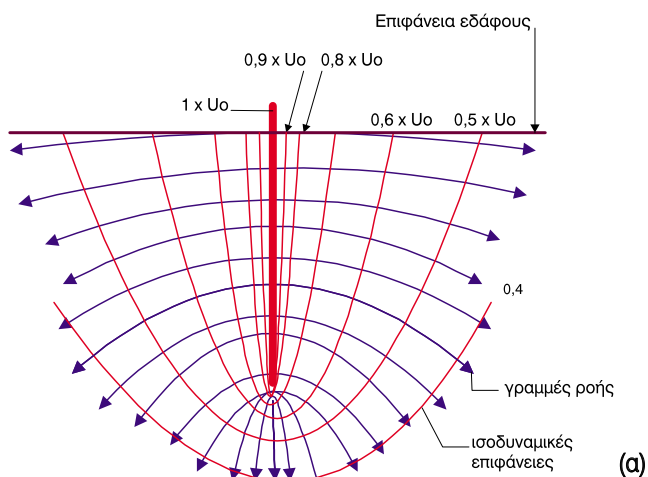
Πρακτικά η *άπειρη απόσταση* είναι περίπου 10 φορές το μήκος του ηλεκτροδίου, δηλαδή $2 \cdot 10 = 20 \text{ m}$.

Η τάση U_0 που εφαρμόσαμε στο ηλεκτρόδιο δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το πεδίο αυτό περιγράφεται με τις ισοδυναμικές γραμμές του (κόκκινες γραμμές) και τις γραμμές ροής του ρεύματος (μπλέ γραμμές) που ακολουθεί το ρεύμα για να καταλήξει στο σημείο της άπειρης γής. Οι γραμμές ροής είναι κάθετες στις ισοδυναμικές γραμμές.

Θα πρέπει να φανταστούμε τις ισοδυναμικές γραμμές και τις γραμμές ροής να διασχίζουν όλο το εσωτερικό της γήινης σφαίρας για να καταλήξουν στο δεύτερο ηλεκτρόδιο που είναι καρφωμένο σε άπειρη (θεωρητικά) απόσταση.

Αν διαιρέσουμε την τάση U_0 με το ρεύμα I_0 που εισέρχεται στο ηλεκτρόδιο (και εξέρχεται στην άπειρη γή) διασχίζοντας το εσωτερικό της γήινης σφαίρας), τότε έχουμε βρεί την **αντίσταση γείωσης R του ηλεκτροδίου**, δηλαδή

$$R = U_0 / I_0$$



Εικόνα 1.4.2 Ηλεκτρικό πεδίο γύρω από ένα ηλεκτρόδιο γείωσης
α. τομή της γής
β. κάτοψη (οι ισοδυναμικές γραμμές είναι ομόκεντροι κύκλοι)

Η **αντίσταση γείωσης** του ηλεκτροδίου δίνεται από τον προσεγγιστικό τύπο:

$$R = \frac{\rho}{L_{\text{EV}}}$$

όπου:

- L_{EV} = το μήκος του ηλεκτροδίου που βρίσκεται κάτω από το 0,5 m της επιφάνειας της γής, δηλαδή αν το ηλεκτρόδιό μας έχει καρφωθεί 2,0 m μέσα στη γή, το ενεργό μήκος του είναι 1,5 m
Όλα τα είδη γειωτών (πλάκας, ταινίας κλπ) πρέπει να τοποθετούνται σε βάθος $> 0,5$ m
- ρ = ειδική αντίσταση του εδάφους . Η ειδική αντίσταση εξαρτάται από το είδος του εδάφους. Για ελώδες υγρό έδαφος είναι $\rho=30 \Omega \cdot \text{m}$, ενώ για βραχώδες έδαφος φτάνει $\rho=3000 \Omega \cdot \text{m}$.

Παράδειγμα

Να υπολογίσετε την αντίσταση γείωσης ενός γαλβανισμένου χαλυβδοσωλήνα διαμέτρου 1" (1 ίντσας) που έχει καρφωθεί σε βάθος 2 m σε:

α. υγρό ελώδες έδαφος
β. βράχο

Λύση

Η αντίσταση γείωσης του ηλεκτροδίου δίνεται από τον προσεγγιστικό τύπο

$$R = \rho / L_{\text{EV}}$$

$$L_{\text{EV}} = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ m}$$

α. για υγρό ελώδες έδαφος $\rho=30 \Omega \cdot \text{m}$. Αντικαθιστούμε στον τύπο και έχουμε

$$R = 30 / 1,5 = 20 \Omega$$

β. για βραχώδες έδαφος $\rho=3000 \Omega \cdot \text{m}$. Αντικαθιστούμε στον τύπο και έχουμε

$$R = 3000 / 1,5 = 2000 \Omega$$

Για να μικρύνουμε την αντίσταση γείωσης, καρφώνουμε τρία ηλεκτρόδια στις κορυφές ενός ισόπλευρου τριγώνου (**τρίγωνο γείωσης**). Η πλευρά του τριγώνου πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το μήκος των ηλεκτροδίων, ώστε το ηλεκτρικό πεδίο του ενός να μην επηρεάζει σημαντικά το ηλεκτρικό πεδίο των άλλων.

Τα τρία ηλεκτρόδια συνδέονται μεταξύ τους, έτσι ώστε να λειτουργούν παράλληλα.

Η συνολική αντίσταση είναι η αντίσταση του ενός ηλεκτροδίου διαιρούμενη δια του τρία, δηλαδή τον αριθμό των ηλεκτροδίων.

Στο παράδειγμά μας, η συνολική αντίσταση είναι $R = 20 / 3 = 7 \Omega$ περίπου.

1.4.3 Βηματική τάση και τάση επαφής

Οι ισοδυναμικές γραμμές, στην επιφάνεια της γής, γύρω από ένα ηλεκτρόδιο γείωσης που βρίσκεται υπό τάση λόγω σφάλματος, είναι ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο το σημείο που έχουμε καρφώσει το ηλεκτρόδιο (Εικόνα 1.4.2β). Αν σχεδιάσουμε ένα σύστημα αξόνων, με κάθετο άξονα τις τιμές του δυναμικού των ισοδυναμικών κύκλων και οριζόντιο άξονα την απόστασή τους από το σημείο που είναι καρφωμένο το ηλεκτρόδιο, θα προκύψει η καμπύλη της Εικόνας 1.4.3 που ονομάζεται **προφίλ δυναμικού**.

Ενας άνθρωπος που τα δύο του πόδια βρίσκονται σε επαφή με δύο απ' αυτούς τους κύκλους θα βρεθεί σε τάση που είναι η διαφορά των δυναμικών των δύο κύκλων.

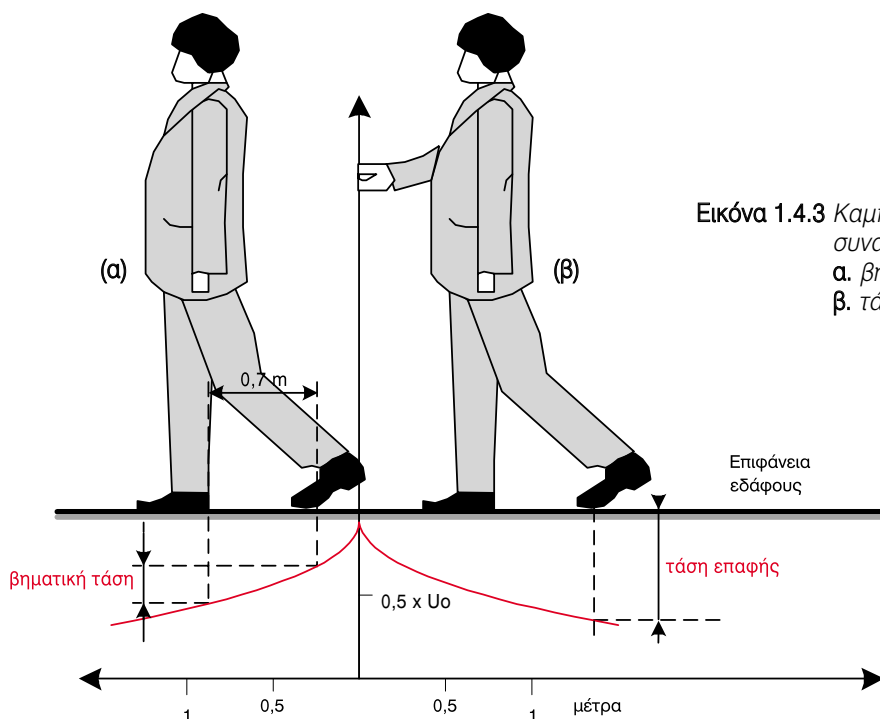
Θεωρώντας ότι η απόσταση μεταξύ των ποδιών - όταν βαδίζουμε - είναι 0,7 m, η τάση που υπάρχει μεταξύ δύο κύκλων με απόσταση μεταξύ τους 0,7 m, ονομάζεται **βηματική τάση** (step voltage).

Για να βρούμε τη βηματική τάση, στο προφίλ του δυναμικού, φέρνουμε καθέτους στα σημεία

που βρίσκονται τα πόδια του ανθρώπου. Οι κάθετες αυτές τέμνουν το προφίλ δυναμικού, και στον κάθετο άξονα διαβάζουμε την τιμή της βηματικής τάσης. Όσο απομακρυνόμαστε από το ηλεκτρόδιο, τόσο η βηματική τάση ελαττώνεται.

Αν ο άνθρωπος ακουμπά με το χέρι του στο ηλεκτρόδιο - ή σε κάποιο μεταλλικό αντικείμενο που συνδέεται με το ηλεκτρόδιο - τότε θα βρεθεί και σε τάση που είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ του ηλεκτροδίου και του ισοδυναμικού κύκλου που βρίσκεται το πόδι του. Η τάση αυτή λέγεται **τάση επαφής** (touch voltage).

Αν κάποια από τις δύο τάσεις (βηματική ή επαφής) υπερβεί τα 50 V για χρόνο μεγαλύτερο από 0,2 s, τότε ο άνθρωπος κινδυνεύει από ηλεκτροπληξία. Η τάση επαφής είναι πιο επικίνδυνη διότι το ρεύμα στη διαδρομή του από το χέρι στο πόδι περνά από το θώρακα του ανθρώπου.



Εικόνα 1.4.3 Καμπύλη προφίλ δυναμικού συναρτήση της απόστασης
α. βηματική τάση
β. τάση επαφής

1.4.4 Ισοδυναμικές επιφάνειες

Τα ρεύματα σε σφάλματα γής στα 20 kV μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος επιδιώκουμε χαμηλές αντιστάσεις γείωσης και τη δημιουργία ισοδυναμικών επιφανειών (ή εξίσωση δυναμικών) με τη βοήθεια γειωμένων πλεγμάτων στο δάπεδο του υποσταθμού (Εικόνα 1.4.4α).

Ως ισοδυναμικό πλέγμα χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα από διασταυρωμένα και συγκολλημένα χαλύβδινα σύρματα με διάμετρο 5 mm τουλάχιστον, με ανοίγματα το πολύ 30 x 30 cm. Το δομικό πλέγμα βρίσκεται μέσα στο μπετόν του δαπέδου σε βάθος 5-10 cm. Στο πλέγμα συγκολλούνται αναμονές από χαλύβδινες γαλβανισμένες ταινίες 30x4 mm. Στις αναμονές αυτές σύνδεονται (συγκολλητά ή βιδωτά) όλα τα μεταλλικά μέρη του υποσταθμού, π.χ. κυψέλες μέσης και χαμηλής τάσης, μεταλλικά κουφώματα, σωλήνες νερού κ.ά.

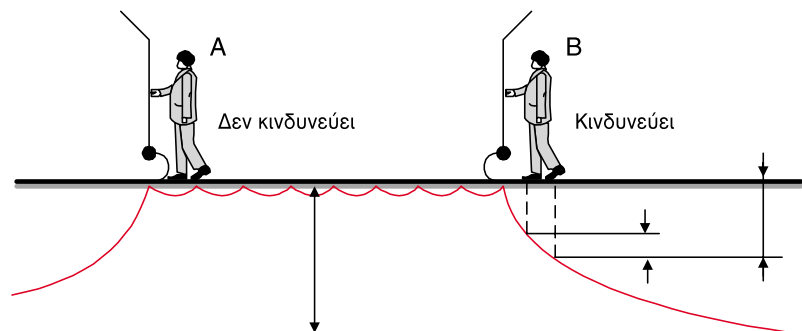
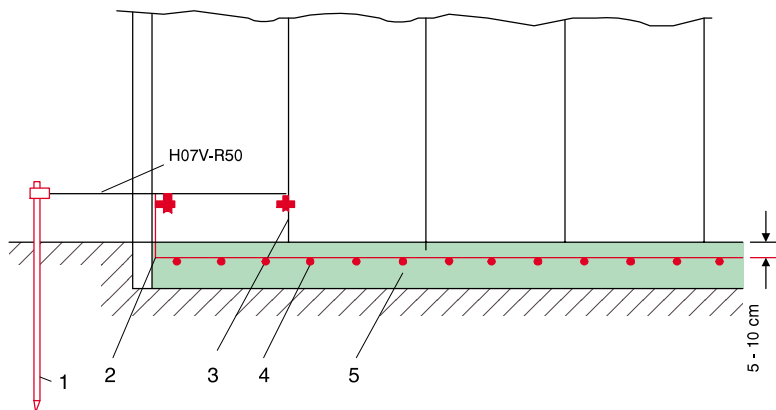
Σε περίπτωση σφάλματος γής, ολοκληρω το γειωμένο πλέγμα και όλα τα μεταλλικά μέρη που συνδέονται σε αυτό (μαζί με τους ανθρώπους που είναι παρόντες) μπορεί να ανέβει σε μερικές εκατοντάδες (ή χιλιάδες) Volts χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας (άνθρωπος A στην Εικόνα 1.4.4β).

Σε υπαίθριους χώρους που δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί η τεχνική των ισοδυναμικών επιφανειών, για να ελαττώσουμε το ρεύμα που θα περάσει μέσα από τα πόδια του ανθρώπου, καταφεύγουμε σε επιφάνειες που παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση, όπως η στρώση με άσφαλτο σε μεγάλο πάχος ή επίστρωση σε ικανό βάθος με καθαρά μεγάλα χαλίκια ή κροκάλες.

Τα χαλίκια ή ή κροκάλες παρέχουν μια πολύ καλή μόνωση, ακόμα και όταν είναι υγρά, εφόσον είναι καθαρά. Λάσπη ή φύλλα μεταξύ των χαλικιών ελαττώνουν τη μονωτική τους ικανότητα.

Εικόνα 1.4.4α Ισοδυναμικό πλέγμα σε υποσταθμό μέσης τάσης (τομή)

- 1 = ηλεκτρόδιο γείωσης
- 2 = χαλύβδινη ταινία
- 3 = σύνδεση με μεταλλικά μέρη
- 4 = δομικό πλέγμα
- 5 = μπετόν δαπέδου



Εικόνα 1.4.4β Προφίλ δυναμικού κατά μήκος ενός γειωμένου πλέγματος

1.4.5 Θεμελιακή γείωση

Η θεμελιακή γείωση θεωρείται η καλύτερη γείωση αλλά έχει το μειονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε νέα κτίρια.

Η θεμελιακή γείωση αποτελείται από ένα γειωτή ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτησή του γίνεται στη βάση των εξωτερικών τοίχων (Εικόνα 1.4.5α) και σχηματίζει ένα κλειστό βρόχο. Επειδή το έδαφος και το σκυρόδεμα των θεμελίων είναι υγρά όλο το έτος, πετυχαίνουμε σχετικά χαμηλές αντιστάσεις γείωσης. Τιμές των 2Ω ή μικρότερες δεν είναι σπάνιες.

Ο αγωγός του γειωτή μπορεί να είναι:

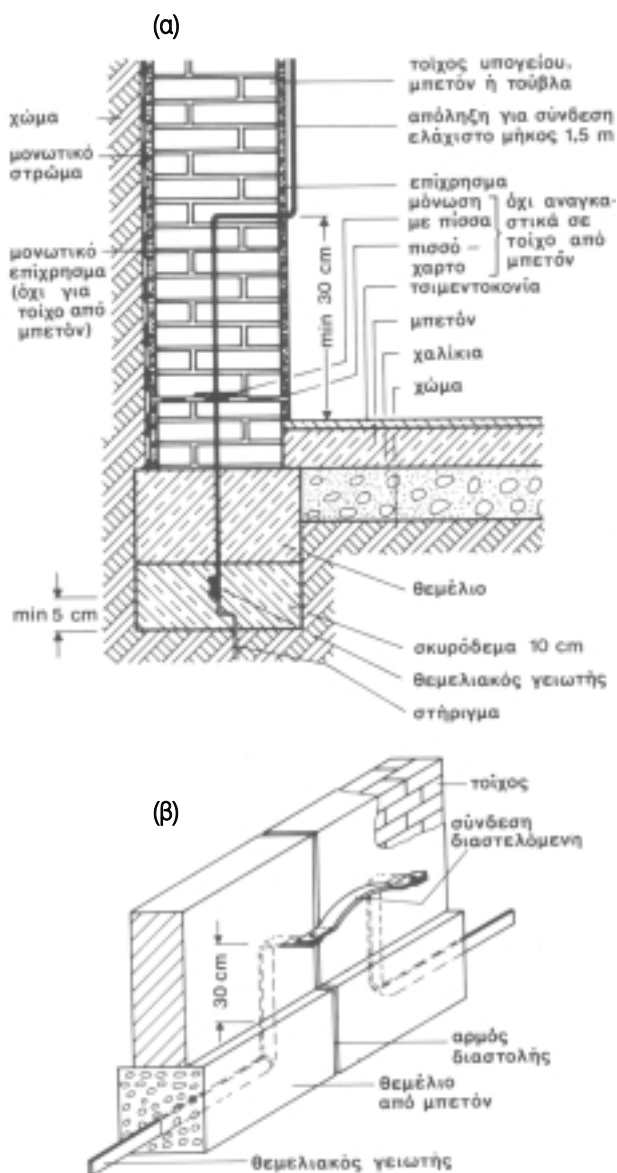
- γαλβανισμένη χαλύβδινη ταινία (τσέρκι) ελάχιστης διατομής $30 \times 3,5$ mm ή 25×4 mm. Συνιστάται διατομή 40×5 mm ή 50×4 mm
- βέργα γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστης διαμέτρου 10 mm. Συνιστάται διάμετρος 12 mm.

Μετά την εκσκαφή των θεμελίων κατασκευάζεται μία στρώση από σκυρόδεμα πάχους 6-10 cm (μπετόν καθαρισμού). Στη φάση αυτή τοποθετείται περιμετρικά των θεμελίων ο αγωγός του γειωτή. Αν χρησιμοποιήσουμε ταινία, τότε τοποθετείται με την πλατιά της πλευρά όρθια. Στην αγορά υπάρχουν διάφορα είδη εξαρτημάτων που μας βοηθάνε στη στερέωση της ταινίας. Στη συνέχεια τοποθετείται ο οπλισμός των θεμελίων και χύνεται όλο το θεμέλιο. Η όρθια τοποθέτηση της ταινίας εξασφαλίζει άνετη τοποθέτηση αλλά και ευκολία για λύγισμα στις γωνίες του κτιρίου.

Όταν το κτίριο έχει μεγάλες διαστάσεις προβλέπονται αρμοί διαστολής κατά μήκος των θεμελίων. Στους αρμούς διαστολής, η ταινία καταλήγει σε αναμονές, που γεφυρώνονται με εξωτερικούς διαστελόμενους συνδέσμους (Εικόνα 1.4.5β).

Συνιστάται να συνδέεται (με συγκόλληση ή σφύξιμο με σύρμα) στο γειωτή όλος ο οπλισμός του σκυροδέματος του κτιρίου.

Οι απολήξεις του γειωτή έχουν την ίδια διατομή με το ηλεκτρόδιο του γειωτή και μήκος 1.5 m και τοποθετούνται στον τοίχο εσωτερικά του κτιρίου. Η απόληξη απέχει στο κάτω μέρος της 30 cm από το έδαφος. Στις απολήξεις αυτές συνδέονται οι αγωγοί προστασίας (PE)



Εικόνα 1.4.5 Λεπτομέρειες θεμελιακής γείωσης

α. τομή θεμελίου

β. αρμός διαστολής

1.4.6 Σύνδεση των διαφόρων ειδών γείωσης σε κοινό γειωτή

Στους υποσταθμούς μέσης τάσης έχουμε πέντε κυκλώματα ή σύνολα κυκλωμάτων που πρέπει να γειωθούν.

- Στην είσοδο του υποσταθμού, στον εναέριο στύλο της ΔΕΗ γειώνονται οι απαγωγείς τάσης σε ξεχωριστό ηλεκτρόδιο και μακριά από τις άλλες γειώσεις.
- Στο μετασχηματιστή και τις κυψέλες των 20 kV γειώνονται τα μεταλλικά μέρη. Έχουμε δηλαδή τη γείωση προστασίας μέσης τάσης.
- Στο μετασχηματιστή γειώνεται ο ουδέτερος κόμβος. Έχουμε δηλαδή τη γείωση λειτουργίας.
- Στους πίνακες χαμηλής τάσης γειώνονται τα μεταλλικά μέρη. Έχουμε δηλαδή τη γείωση προστασίας χαμηλής τάσης.
- Στην εγκατάσταση γειώνεται το συλλεκτήριο σύστημα της αντικεραυνικής προστασίας.

Αν το άθροισμα όλων των παραπάνω αντιστάσεων γείωσης έχει τιμή μικρότερη του 1 Ω, τότε μπορούμε να συνδέσουμε τη γείωση του ουδέτερου κόμβου με τη γείωση της μέσης τάσης.

Αν δεν ισχύει η παραπάνω συνθήκη ($R < 1\Omega$), τότε θα πρέπει να έχουμε χωριστές γειώσεις και να ισχύει:

- η αντίσταση γείωσης της μέσης τάσης να είναι μικρότερη από 40 Ω,
- η αντίσταση γείωσης του ουδέτερου να είναι μικρότερη από 10 Ω

Οι γειωτές της χαμηλής τάσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 m μακριά από τους γειωτές μέσης τάσης, έτσι ώστε να μην αλληλοεπηρεάζονται οι δύο εγκαταστάσεις γείωσης. Επειδή ο ηλεκτρικός διαχωρισμός των δύο γειώσεων δεν είναι εύκολος πρέπει να γίνεται κάθε προσπάθεια για να επιτευχθεί η συνθήκη χαμηλής αντίστασης, δηλαδή $R < 1\Omega$.

Γειώσεις στη μέση τάση

Ερωτήσεις

1. Ποιά μέρη του υποσταθμού συνδέονται στη γείωση προστασίας μέσης τάσης;
2. Ποιά μέρη του υποσταθμού συνδέονται στη γείωση προστασίας χαμηλής τάσης;
3. Τι σημαίνει σύστημα TN και τι σύστημα IT; Που εφαρμόζεται το καθένα;
4. Εξηγήστε τον όρο άπειρη γή.
5. Από τι εξαρτάται η αντίσταση γείωσης ενός ηλεκτροδίου καρφωμένου στη γή;
6. Τι ονομάζουμε βηματική και τι τάση επαφής;
7. Περιγράψτε τον τρόπο κατασκευής του ισοδυναμικού πλέγματος στο εσωτερικό ενός υποσταθμού.
8. Περιγράψτε τον τρόπο κατασκευής της θεμελιακής γείωσης ενός υποσταθμού.
9. Πότε επιτρέπεται να έχουμε κοινή γείωση σε ένα υποσταθμό;

Ασκήσεις

1. Το τρίγωνο γείωσης των μεταλλικών μερών μέσης τάσης ενός υποσταθμού, αποτελείται από χαλύβδινα ηλεκτρόδια μήκους 3 m καρφωμένα σε υγρό έδαφος με ειδική αντίσταση $\rho = 30 \Omega/\text{m}$. Να βρείτε :
 - α. την αντίσταση γείωσης του τριγώνου
 - β. την τάση του τριγώνου όταν σε περίπτωση σφάλματος διέλθει ρεύμα 1000 A.
2. Η αντίσταση γείωσης για τις θεμελιακές γειώσεις υπολογίζεται από τον τύπο

$$R = \frac{2 \cdot \rho}{\pi \cdot D}$$

όπου ρ = ειδική αντίσταση του εδάφους στο βάθος των θεμελίων σε Ω/m

D = ισοδύναμη διάμετρος κύκλου με περίμετρο ίση με την περίμετρο του αγωγού γείωσης, υπολογίζεται από τον τύπο

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

όπου S = περίμετρος αγωγού θεμελιακής γείωσης

Να υπολογίσετε τη θεμελιακή γείωση ενός υποσταθμού με περίμετρο $S = 40 \text{ m}$