ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΓΕΙΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Χ. Α. Χριστοδούλου, Β. Π. Ανδροβιτσανέας, Ι. Φ. Γκόνος
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Τ.Κ. 15780, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Αθήνα
e-mail: christod@central.ntua.gr

Περίληψη

Η μέτρηση της αντίστασης γείωσης των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων πραγματοποιείται συνήθως με τη μέθοδο πτώσης δυναμικού, με χρήση δύο βοηθητικών ηλεκτροδίων και κατάλληλου μετρητικού οργάνου. Σε ορισμένες περιπτώσεις η μέτρηση είναι δυσχερής ή ακόμα και αδύνατη, είτε λόγω έλλειψης του απαιτούμενου χώρου για την έμπηξη των ηλεκτροδίων είτε λόγω της σύνδεσης του ουδετέρου αγωγού και του αγωγού προστασίας στον μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση ουδετέρωσης. Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της μέτρησης της αντίστασης γείωσης της συμβατικής μεθόδου με αντίστοιχα εναλλακτικών μεθόδων για συστήματα γείωσης του ελληνικού δικτύου.

Λέξεις – κλειδιά: αντίσταση γείωσης, άμεση γείωση, ουδετέρωση, βρόχος σφάλματος

Abstract

The Fall-of-Potential test method is the most common procedure for the measurement of the grounding resistance, by using two auxiliary earth electrodes and an appropriate tester. However, the measurement of the grounding resistance applying the above method is not always attainable, due to lack of space for the placement of the auxiliary electrodes. Moreover, in the case of TN systems, the connection of the neutral and the protective wires affects the outcome of the measurement. In the current work, the measurement results by using the Fall-of-Potential method are compared with results obtained by alternative measurement procedures, considering earthing systems of the Hellenic network.

Keywords: grounding resistance, TT system, TN system, fault loop

1. Εισαγωγή

Η τιμή που λαμβάνει η αντίσταση γείωσης μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης είναι ζήτημα εξαιρετικής σημασίας για την αποτελεσματική προστασία των χρηστών έναντι ηλεκτροπληξίας (Androvitsaneas 2016). Τα τελευταία χρόνια προβλέπεται από το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (ΕΛΟΤ 2004) η κατασκευή θεμελιακών γειώσεων στις νέες εγκαταστάσεις, σε αντίθεση με τα παλαιότερα χρόνια που εφαρμοζόταν το τρίγωνο γείωσης (ράβδοι) ή ακόμη και η σύνδεση με μεταλλικούς σωλήνες ύδρευσης. Όσον αφορά στο σύστημα γείωσης, στην Αττική (με ορισμένες εξαιρέσεις)

χρησιμοποιείται η άμεση γείωση, ενώ στον υπόλοιπο ελλαδικό χώρο η ουδετερογείωση.

Κατά τον έλεγχο των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, προβλέπεται η μέτρηση της αντίστασης γείωσης, η τιμή της οποίας θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις ελάχιστες απαιτήσεις του ισχύοντος Προτύπου. Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (ΕΛΟΤ 2004) περιγράφεται η μεθοδολογία μέτρησης με τη χρήση βοηθητικών ηλεκτροδίων και κατάλληλου μετρητικού οργάνου. Ωστόσο, σε αστικές, κυρίως, περιοχές, όπου δεν υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης των βοηθητικών ηλεκτροδίων στις απαιτούμενες αποστάσεις, η μέτρηση καθίσταται αδύνατη. Επιπλέον, σε συστήματα ουδετερογείωσης, στα οποία έχει γίνει η σύνδεση ουδετέρου αγωγού και αγωγού προστασίας στον μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, η μέτρηση της αντίστασης γείωσης περιλαμβάνει τον παράλληλο συνδυασμό των αντιστάσεων γείωσης όλων των συνδεδεμένων καταναλωτών και της αντίστασης γείωσης του ουδετέρου του μετασχηματιστή διανομής. Για την περίπτωση των συστημάτων άμεσης γείωσης, το Πρότυπο προτείνει την έμμεση μέτρηση της αντίστασης γείωσης μέσω του βρόχου σφάλματος. Για την περίπτωση των συστημάτων ουδετερογείωσης, δίνεται η δυνατότητα από ορισμένα όργανα (με χρήση δύο αμπεροτσιμπίδων) της μέτρησης της αντίστασης γείωσης της εγκατάστασης μαζί με τον παράλληλο συνδυασμό όλων των υπολοίπων αντιστάσεων γείωσης (καταναλωτών και μετασχηματιστή διανομής).

Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της μέτρησης της αντίστασης γείωσης με τις εξής μεθόδους: βοηθητικών ηλεκτροδίων, βρόχου σφάλματος και δύο αμπεροτσιμπίδων για διάφορες εγκαταστάσεις στο ελληνικό δίκτυο.

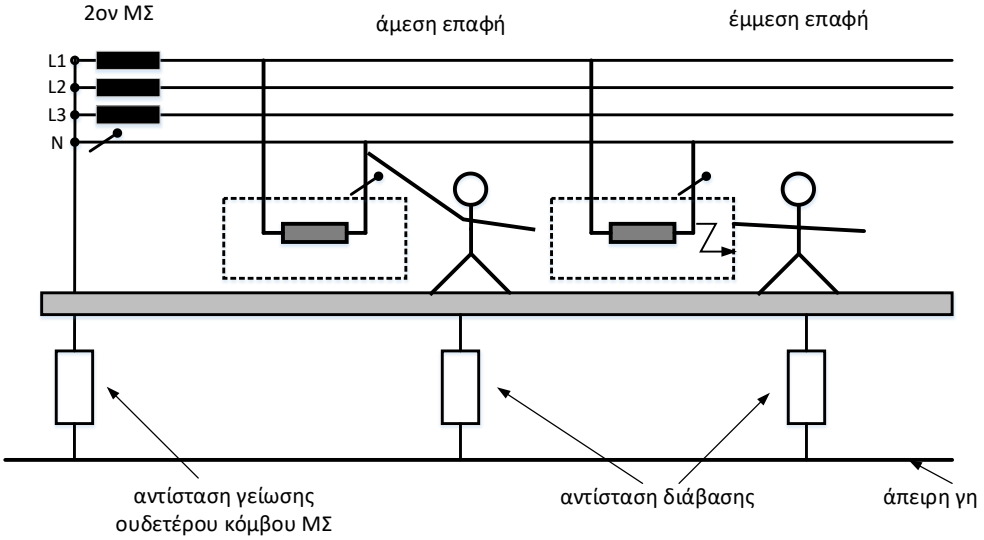
2. Συστήματα σύνδεσης των γειώσεων

Σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση θα πρέπει να εφαρμόζονται κατάλληλα μέτρα προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας τόσο από άμεση επαφή (με ένα ενεργό τμήμα της εγκατάστασης) όσο και από έμμεση επαφή (με ένα εκτεθειμένο αγώγιμο τμήμα, το οποίο αποκτά δυναμικό λόγω σφάλματος), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Βασική προϋπόθεση για την ασφαλή λειτουργία μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης είναι η χαμηλή τιμή της αντίστασης γείωσης (ABB 2010, Schneider 2016). Ειδικότερα, τα σφάλματα που μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη επικίνδυνων τάσεων επαφής ως προς γη στα μεταλλικά περιβλήματα συσκευών ή άλλων αγώγιμων αντικειμένων είναι (ΕΛΟΤ HD 384, 2004):

- σφάλμα προς το μεταλλικό περίβλημα συσκευής
- ανύψωση του δυναμικού του αγωγού προστασίας λόγω διακοπής του ουδέτερου αγωγού
- σφάλμα που γειώνει μια φάση του δικτύου της ΧΤ
- σφάλμα που γειώνει μια φάση του δικτύου της ΜΤ.

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (ΕΛΟΤ 2004), στα συστήματα σύνδεσης των γειώσεων των τριφασικών και μονοφασικών συστημάτων τροφοδότησης χρησιμοποιείται γενικότερα η ακόλουθη κωδικοποίηση: το πρώτο γράμμα αφορά στη σχέση του συστήματος τροφοδότησης με τη γη (Τ: γειωμένος ουδέτερος κόμβος του μετασχηματιστή διανομής, Ι: αγείωτος ουδέτερος κόμβος μετασχηματιστή διανομής ή γειωμένος ουδέτερος κόμβος μετασχηματιστή διανομής μέσω μιας σύνθετης αντίστασης σημαντικής τιμής), ενώ το δεύτερο γράμμα αφορά στη σχέση των εκτεθειμένων αγώγιμων μερών της εγκατάστασης προς τη γη (Τ: άμεση σύνδεση με

τη γη, N: σύνδεση με τον ουδέτερο του συστήματος τροφοδότησης). Τα επόμενα γράμματα (αν υπάρχουν) αφορούν στη σχέση του ουδετέρου και του αγωγού προστασίας (S: ανεξάρτητοι αγωγοί ουδετέρου και αγωγού προστασίας, C: συνδυασμός ουδετέρου και αγωγού προστασίας σε κοινό αγωγό).



Σχήμα 1: Άμεση και έμμεση επαφή.

Τα δίκτυα διανομής, ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών και το σύστημα γείωσης που χρησιμοποιούν, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Σύστημα TN (ουδετερογείωση ή ουδετέρωση): Τα συστήματα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TN, έχουν τον ουδέτερο κόμβο του Μ/Σ άμεσα γειωμένο, ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με τον ουδέτερο μέσω αγωγών προστασίας. Διακρίνονται τρεις ειδικότερες μορφές συνδεσμολογίας του συστήματος σύνδεσης των γειώσεων TN, ανάλογα με τη σχέση του ουδετέρου και του αγωγού προστασίας, ως εξής:
  - σύστημα TN-S, στο οποίο ο ουδέτερος και ο αγωγός προστασίας είναι χωριστοί σε ολόκληρο το σύστημα.
  - σύστημα TN-C-S, στο οποίο οι λειτουργίες ουδετέρου και αγωγού προστασίας συνδυάζονται σε έναν μόνο αγωγό σε ένα μέρος του συστήματος.
  - σύστημα TN-C, στο οποίο οι λειτουργίες ουδετέρου και αγωγού προστασίας συνδυάζονται σε έναν μόνο αγωγό σε ολόκληρο το σύστημα.

  Χαρακτηριστικό του συστήματος σύνδεσης των γειώσεων TN είναι ότι, σε περίπτωση σφάλματος της μόνωσης μεταξύ μιας φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή του αγωγού προστασίας, ο βρόχος σφάλματος αποτελείται αποκλειστικά και μόνο από τους ενεργούς αγωγούς και τον αγωγό προστασίας, χωρίς να περιλαμβάνει διαδρομή εντός της γης.

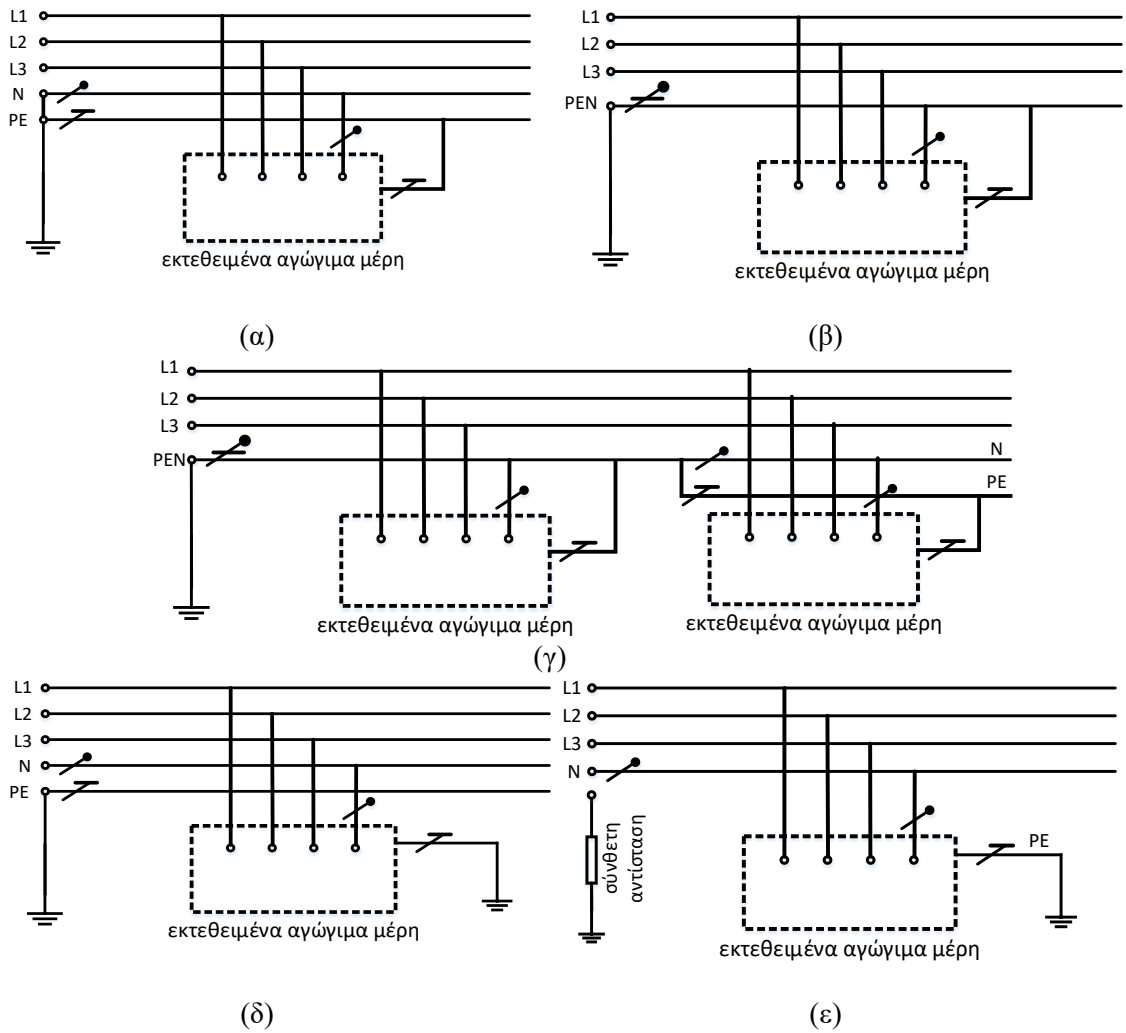
- Σύστημα TT (άμεση γείωση): Τα συστήματα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα TT, έχουν τον ουδέτερο κόμβο του Μ/Σ άμεσα συνδεδεμένο προς τη γη, ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με ηλεκτρόδια γείωσης ηλεκτρικά ανεξάρτητα από τη γείωση του συστήματος τροφοδότησης.

  Στο σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TT, σε περίπτωση σφάλματος της μόνωσης μεταξύ μιας φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή του αγωγού

προστασίας, ο βρόχος σφάλματος, εκτός από τους ενεργούς αγωγούς και τους αγωγούς προστασίας περιλαμβάνει και ένα μέρος διαδρομής εντός της γης.

- Σύστημα IT: Στα συστήματα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων IT, κανένα ενεργό μέρος του δεν συνδέεται με τη γη ή στην περίπτωση που κάποιο σημείο γειώνεται, αυτό γίνεται μέσω μιας σύνθετης αντίστασης με πολύ μεγάλη τιμή. Σε ένα δίκτυο IT, τα εκτεθειμένα μεταλλικά περιβλήματα των συσκευών γειώνονται μέσω αγωγών προστασίας, είτε ατομικά ή κατά ομάδες ή όλα μαζί. Αυτός ο τύπος δικτύου έχει εφαρμογή εκεί όπου η απαίτηση για προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας είναι ιδιαίτερα αυξημένη, καθώς και σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αδιάλειπτη τροφοδοσία του φορτίου.
  Στο σύστημα σύνδεσης των γειώσεων IT, στην περίπτωση ενός σφάλματος της μόνωσης μεταξύ μιας φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή του αγωγού προστασίας, το ρεύμα σφάλματος κυκλοφορεί μέσω των χωρητικοτήτων των αγωγών του συστήματος τροφοδότησης και της εγκατάστασης προς τη γη αν το σύστημα τροφοδότησης είναι πλήρως μονωμένο προς τη γη, ή και μέσω της σύνθετης αντίστασης αν το σύστημα συνδέεται με τη γη με μια τέτοια αντίσταση.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα παραπάνω συστήματα σύνδεσης των γειώσεων. Το σύστημα σύνδεσης γειώσεων που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στο ελληνικό δίκτυο είναι η ουδετερογείωση, με εξαίρεση ορισμένα τμήματα της Αττικής στα οποία εφαρμόζεται η άμεση γείωση.



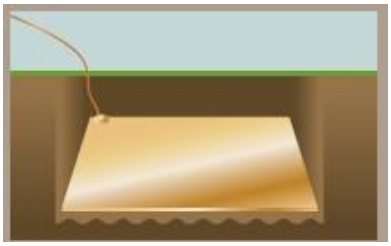
Σχήμα 2: Συστήματα σύνδεσης γειώσεων: (α) TN-S, (β) TN-C, (γ) TN-C-S, (δ) TT, (ε) IT.

Να σημειωθεί ότι απαγορεύεται η συνύπαρξη ουδετέρωσης και άμεσης γείωσης, καθώς στην περίπτωση ύπαρξης μιας διαρροής ρεύματος σε εγκατάσταση άμεσης γείωσης, υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης μεγάλης διαφοράς δυναμικού μεταξύ των μεταλλικών εκτεθειμένων μερών παρακείμενης ηλεκτρικής εγκατάστασης, που διαθέτει ουδετέρωση.

3. Είδη γειωτών

Καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση της τιμής της αντίστασης γείωσης σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση αποτελεί η μορφή και η γεωμετρία του ηλεκτροδίου γείωσης, που θα επιλεχθεί κατά τη φάση σχεδίασης και μελέτης της εγκατάστασης. Η επιλογή του κατάλληλου, κατά περίπτωση, γειωτή γίνεται αφενός μεν ανάλογα με το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων που εφαρμόζεται από τον διαχειριστή του δικτύου τροφοδότησης, αφετέρου δε ανάλογα με την περίπτωση του συστήματος γείωσης της εγκατάστασης, αν δηλαδή πρόκειται για νέα, εκ θεμελίων, εγκατάσταση ή για επέκταση και ενίσχυση ενός υπάρχοντος συστήματος γείωσης. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή του κατάλληλου γειωτή έχει άμεσα αποτελέσματα στην ασφάλεια των χρηστών της ηλεκτρικής εγκατάστασης έναντι ηλεκτροπληξίας, καθώς και άμεση επίδραση στις τιμές των αναπτυσσομένων τάσεων επαφής σε περίπτωση σφάλματος εντός της εγκατάστασης.

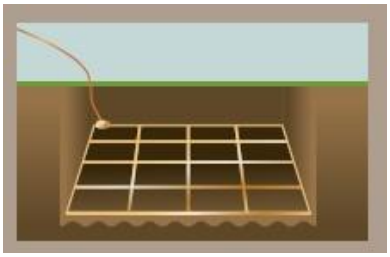
Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι τύποι ηλεκτροδίων γείωσης και διατάξεις αυτών που χρησιμοποιούνται συχνά στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Σε περιπτώσεις που απαιτείται επέκταση και ενίσχυση υφιστάμενων συστημάτων γείωσης, για ελάττωση της τιμής της αντίστασης γείωσης, μπορούν να τοποθετηθούν ράβδοι γείωσης σε πολυγωνική διάταξη, συνδεδεμένες μεταξύ τους με αγωγό από χαλκό ή από θερμά επιψευδαργυρωμένο χάλυβα, ανάλογα με το υλικό των ράβδων, για τον σχηματισμό κλειστού βρόχου και την επίτευξη χαμηλής τιμής αντίστασης γείωσης. Επίσης, είναι δυνατή η εγκατάσταση πλήθους γειωτών πλάκας, συνδεδεμένων μεταξύ τους με αγωγό ίδιου υλικού με αυτούς και σε συνιστώμενη απόσταση τουλάχιστον 3m μεταξύ τους. Για νέες πλέον ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και ειδικότερα σε σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN, η εφαρμογή θεμελιακής γείωσης είναι υποχρεωτική. Σημειώνεται, δε, ότι σε εξαιρετικές περιπτώσεις οι μεταλλικοί σωλήνες ύδρευσης μπορούν να χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρόδια γείωσης, σύμφωνα με το άρθρο 542.2.5 του ΕΛΟΤ HD 384 (ΕΛΟΤ 2004), μόνον εφόσον υπάρχει η συγκατάθεση του φορέα που είναι αρμόδιος για την παροχή του νερού και εφόσον υπάρχει κατάλληλη διαδικασία που θα εξασφαλίζει, ότι ο χρήστης της ηλεκτρικής εγκατάστασης θα ειδοποιείται εγκαίρως για κάθε σχεδιαζόμενη αλλαγή στο σύστημα των σωληνώσεων ύδρευσης.



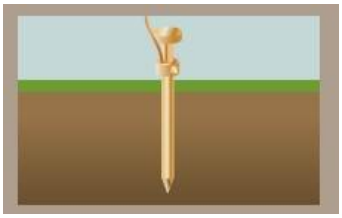
(α) γειωτής πλάκας

(β) θεμελιακή γείωση

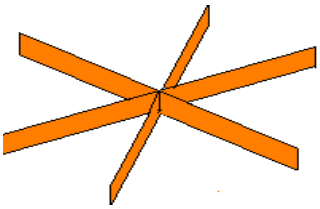
(γ) οριζόντια θαμμένα καλώδια και ταινίες γείωσης



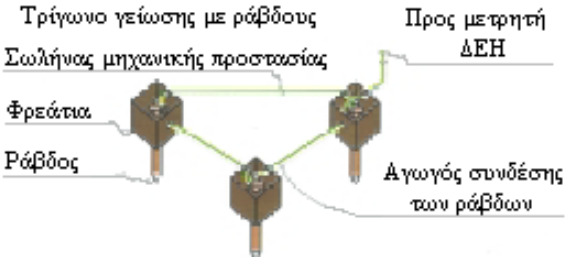
(δ) γειωτής πλέγματος



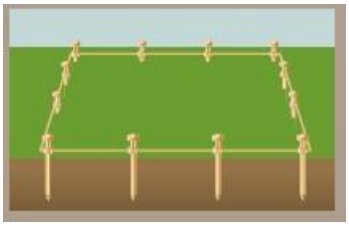
(ε) γειωτής ράβδου



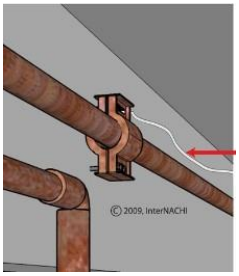
(στ) γειωτής αστέρα



(ζ) γειωτής τριγώνου



(η) τετράγωνο πασσάλων



(θ) το δίκτυο ύδρευσης σαν γειωτής

(ι) γειωτής τύπου Ε

Σχήμα 3: Τύποι γειωτών.

4. Μέθοδοι μέτρησης της αντίστασης γείωσης

Ως αντίσταση γείωσης ορίζεται η αντίσταση του συστήματος γείωσης προς την άπειρη γη. Η αντίσταση γείωσης εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους, την επιφάνεια επαφής του συστήματος γείωσης με το έδαφος και το βάθος τοποθέτησης. Επιπλέον, παράγοντες όπως η υγρασία του εδάφους, η ύπαρξη υπογείων μεταλλικών εγκαταστάσεων πλησίον της γείωσης και η σύνδεση με άλλες μεταλλικές εγκαταστάσεις επηρεάζουν την τιμή της αντίσταση γείωσης.

Η μέτρηση της αντίστασης γείωσης πραγματοποιείται με χρήση ειδικών οργάνων (γειωσόμετρα). Υπάρχουν δύο τύποι οργάνων μέτρησης:

- όργανο μέτρησης γείωσης που έχει τρεις ή και τέσσερις ακροδέκτες
- όργανο μέτρησης γείωσης με αρπάγη (τσιμπίδα).

Και τα δύο επιβάλλουν μία τάση στο σύστημα γείωσης και μετράνε το ρεύμα. Ένα όργανο μέτρησης αντίστασης γείωσης τριών ή τεσσάρων ακροδεκτών συνδυάζει σε ένα κουτί μία πηγή ρεύματος και ένα όργανο μέτρησης της τάσης, ενώ για την μέτρηση χρησιμοποιούν βοηθητικά ηλεκτρόδια (πασσάλους) και/ή τσιμπίδες.

Τα όργανα μέτρησης γείωσης με αρπάγη (τσιμπίδα) διαθέτουν δύο μετασχηματιστές:

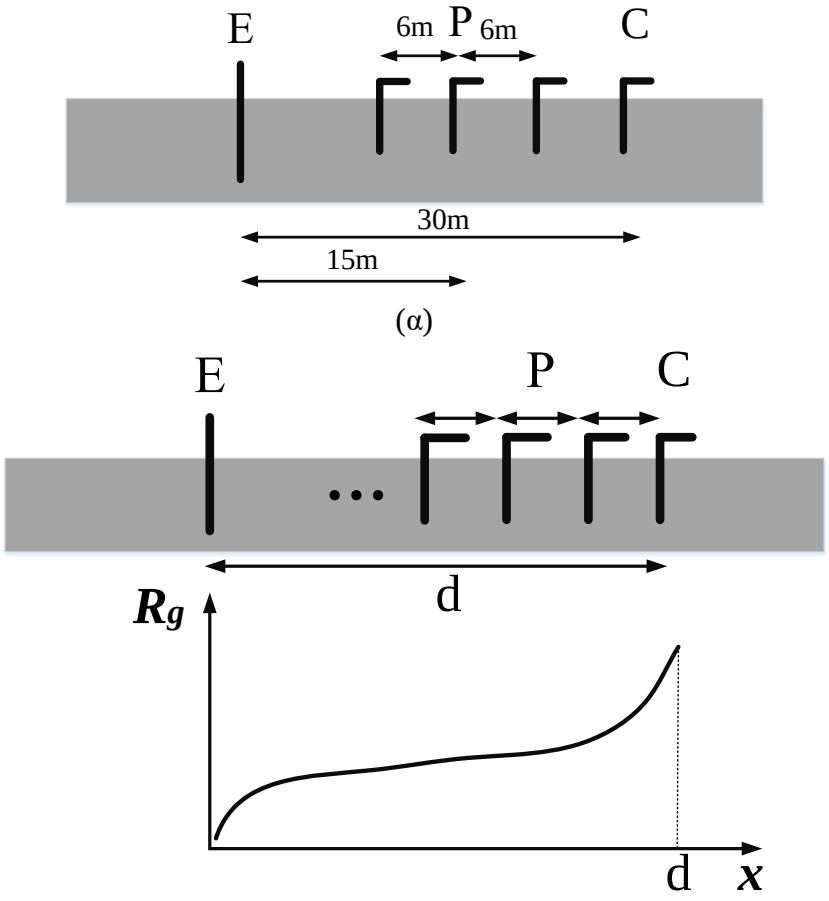
- ο πρώτος μετασχηματιστής (πηγή) επιβάλλει μία τάση στον υπό μέτρηση βρόχο και ο δεύτερος μετασχηματιστής (μέτρησης) μετράει το ρεύμα που παράγεται
- το όργανο μέτρησης αντίστασης γείωσης με αρπάγη χρησιμοποιεί κατάλληλο φίλτρο για να χειρίζεται τα δικά του σήματα και να αποκόπτει όλα τα υπόλοιπα σήματα.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τη μέτρηση της αντίστασης γείωσης είναι η μέθοδος πτώσης δυναμικού. Σε αυτή χρησιμοποιούνται δύο βοηθητικά ηλεκτρόδια, η θέση τοποθέτησης των οποίων εξαρτάται από το είδος της διάταξης γείωσης (σημειακή ή εκτεταμένη). Μεταξύ του προς μέτρηση ηλεκτροδίου γείωσης Ε και ενός βοηθητικού ηλεκτροδίου C, τοποθετημένου σε τέτοια απόσταση από το Ε, ώστε να μην αλληλεπικαλύπτονται οι περιοχές επιρροής τους, διοχετεύεται εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής τιμής I. Ένα δεύτερο βοηθητικό ηλεκτρόδιο P τοποθετείται στο μέσο του διαστήματος μεταξύ Ε και C και μετράται η τάση U μεταξύ Ε και P. Υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει αλληλοεπικάλυψη των περιοχών επιρροής, η αντίσταση γείωσης (R_g) του προς μέτρηση συστήματος είναι:

$$R_g = \frac{U}{I} \tag{1}$$

Η απόσταση του ακραίου ηλεκτροδίου C και οι θέσεις μετακίνησης του μεσαίου βοηθητικού ηλεκτροδίου P καθορίζονται από το είδος της γείωσης. Στην περίπτωση σημειακής γείωσης (Σχήμα 4(α)), το βοηθητικό ηλεκτρόδιο C τοποθετείται 20m-40m από το προς μέτρηση σύστημα (σημείο Ε). Το μεσαίο βοηθητικό ηλεκτρόδιο P τοποθετείται στο μέσον της αποστάσεως EC. Για να εξακριβωθεί ότι οι περιοχές επιρροής δεν αλληλεπικαλύπτονται, πραγματοποιούνται δύο ακόμη μετρήσεις με μετακίνηση του ηλεκτροδίου P κατά 6m περίπου πιο μακριά και κατά 6m περίπου πιο κοντά προς τη γείωση Ε. Εάν τα αποτελέσματα των τριών αυτών μετρήσεων ουσιαστικά συμπίπτουν, λαμβάνεται ως αντίσταση της γείωσης Ε ο μέσος όρος των τριών τιμών (ΕΛΟΤ HD 384, 2004). Διαφορετικά, επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις με αυξημένη την απόσταση μεταξύ Ε και C. Στην περίπτωση εκτεταμένης γείωσης (π.χ. θεμελιακή ή περιμετρική) (Σχήμα 4(β)) το ακραίο βοηθητικό ηλεκτρόδιο C τοποθετείται σε απόσταση τουλάχιστον πενταπλάσια της μεγαλύτερης διαγωνίου του

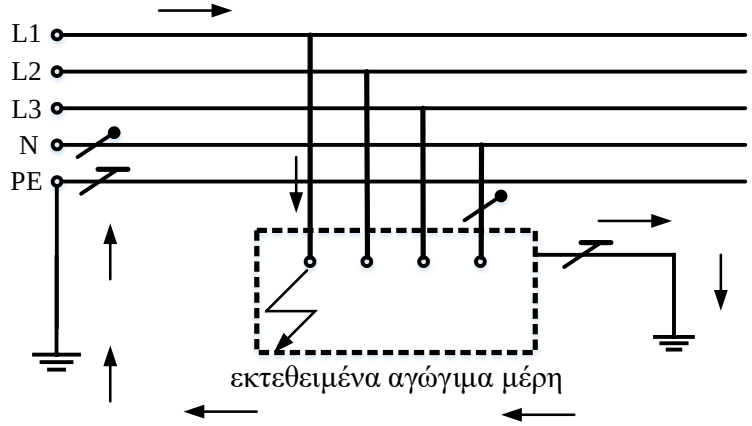
κλειστού γεωμετρικού σχήματος, που σχηματίζει το θεμελιακό ή περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης. Στη συνέχεια λαμβάνονται όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις, μετακινώντας το βοηθητικό ηλεκτρόδιο του δυναμικού P επί της ευθείας EC, με βήμα περί το 10% της απόστασης EC, από τις οποίες προκύπτει η καμπύλη του Σχήματος 4(β). Η τιμή της αντίστασης γείωσης προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών που παρουσιάζουν τις μικρότερες διακυμάνσεις (σημεία όπου η καμπύλη γίνεται ευθεία).



Σχήμα 4: Μέτρηση της αντίστασης γείωσης με χρήση δύο βοηθητικών ηλεκτροδίων (α) για σημειακή γείωση, (β) για εκτεταμένη γείωση (E: το προς μέτρηση σύστημα, C: ακραίο βοηθητικό ηλεκτροδίο, P: μεσαίο βοηθητικό ηλεκτρόδιο).

Ωστόσο η εφαρμογή της ως άνω περιγραφείσης μεθόδου, είναι δύσκολο ή αδύνατον να εφαρμοστεί σε αστικές, κυρίως, περιοχές, όπου δεν υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης των βοηθητικών ηλεκτροδίων στις απαιτούμενες αποστάσεις. Επιπλέον, σε συστήματα ουδετερογείωσης, στα οποία έχει γίνει η σύνδεση ουδετέρου αγωγού και αγωγού γείωσης στον μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας, η μέτρηση της αντίστασης γείωσης περιλαμβάνει τον παράλληλο συνδυασμό των αντιστάσεων γείωσης όλων των συνδεδεμένων καταναλωτών και της αντίστασης γείωσης του ουδετέρου του μετασχηματιστή διανομής. Για την περίπτωση των συστημάτων άμεσης γείωσης, το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (ΕΛΟΤ 2004) προτείνει την έμμεση μέτρηση της αντίστασης γείωσης μέσω της σύνθετης αντίστασης του βρόχου σφάλματος. Στο Σχήμα 5 δίνεται ο βρόχος σφάλματος — δηλαδή ο αγώγιμος δρόμος μέσω του οποίου κυκλοφορεί το ρεύμα του σφάλματος — σε περίπτωση σφάλματος της μόνωσης μεταξύ μιας φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή του αγωγού προστασίας

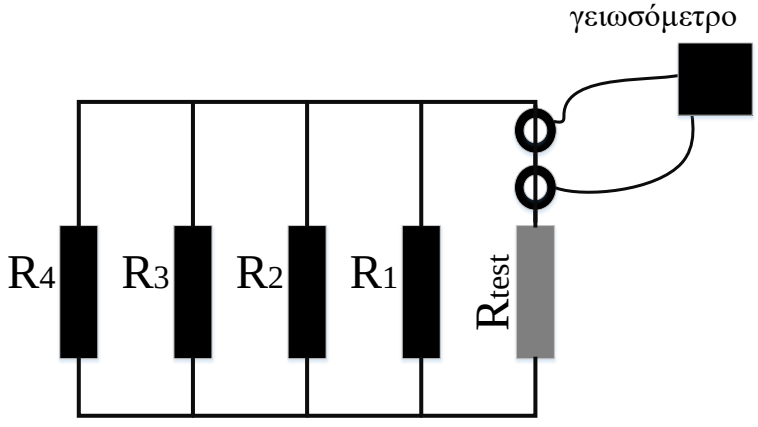
για ένα ΤΤ δίκτυο. Ο βρόχος σφάλματος στην περίπτωση της άμεσης γείωσης αποτελείται από τους ενεργούς αγωγούς και τον αγωγό προστασίας, ενώ περιλαμβάνει και ένα μέρος διαδρομής εντός της γης.



Σχήμα 5: Βρόχος σφάλματος σε σύστημα σύνδεσης των γειώσεων ΤΤ.

Για την περίπτωση των συστημάτων ουδετερογείωσης, δίνεται η δυνατότητα από ορισμένα όργανα (με χρήση δύο αμπεροτσιμπίδων) της μέτρησης της αντίστασης γείωσης της εγκατάστασης (χωρίς την αποσύνδεση του ουδετέρου αγωγού και της γείωσης στον μετρητή) μαζί με τον παράλληλο συνδυασμό όλων των υπολοίπων αντιστάσεων γείωσης (καταναλωτών και μετασχηματιστή διανομής). Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η διάταξη τα μέτρησης με γειωσόμετρο αρπάγης (τσιμπίδα). Η αντίσταση γείωσης R_g που μετράται είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση γείωσης του υπό μέτρηση συστήματος, καθώς περιλαμβάνει τον παράλληλο συνδυασμό των υπολοίπων συστημάτων γείωσης. Ισχύει (Metrel 2008):

$$R_g = R_{test} + (R_{g1} // R_{g2} // R_{g3} // R_{g4}) \quad (2)$$



Σχήμα 6: Μέτρηση της αντίστασης γειώσης με γειωσόμετρο αρπάγης.

Σε περίπτωση που η ισοδύναμη αντίσταση των υπολοίπων συστημάτων γείωσης (συμπεριλαμβανομένου του μετασχηματιστή διανομής) είναι μικρή, τότε μπορεί να θεωρηθεί ότι $R_g \approx R_{test}$.

5. Αποτελέσματα

Προκειμένου να διερευνηθεί η αξιοπιστία των εναλλακτικών μεθόδων μέτρησης της αντίστασης γείωσης, έγιναν μετρήσεις σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις της Αττικής

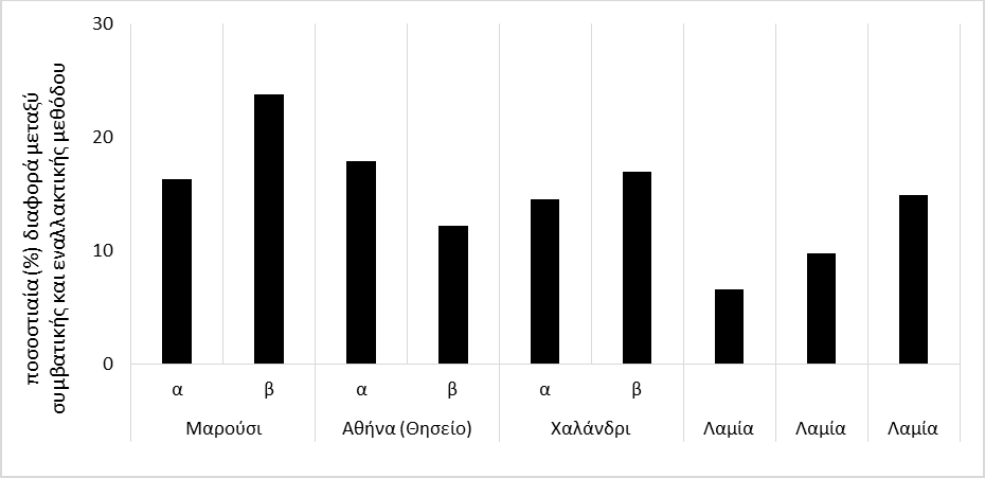
(άμεση γείωση – ΤΤ) και της επαρχίας (ουδετέρωση – ΤΝ). Να σημειωθεί ότι η τιμή της αντίστασης γείωσης εξαρτάται από το είδος του εδάφους, την υγρασία και την ύπαρξη άλλων μεταλλικών αντικειμένων, παράγοντες που ασφαλώς έχουν επίδραση στη μετρούμενη τιμή της αντίστασης γείωσης. Για κάθε εγκατάσταση ελήφθησαν μετρήσεις σε δύο διαφορετικές ημερομηνίες (κατά τις οποίες δεν είχε σημειωθεί βροχόπτωση την ημέρα της μέτρησης και τρεις ημέρες νωρίτερα). Στην περίπτωση συστήματος ΤΤ, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με χρήση βοηθητικών ηλεκτροδίων (μέθοδος πτώσης δυναμικού) και μετρήσεις του βρόχου σφάλματος. Στην περίπτωση συστήματος ΤΝ, κατά την πρώτη επίσκεψη στην εγκατάσταση έγινε μέτρηση της αντίστασης γείωσης με τη μέθοδο πτώσης δυναμικού, πριν τη σύνδεση του ουδετέρου αγωγού με τον αγωγό προστασίας στον μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μέτρηση επαναλήφθηκε μετά την ηλεκτροδότηση της εγκατάστασης με χρήση γειωσόμετρου αρπάγης (βλ. Σχήμα 6), ενώ έγινε εκ νέου μέτρηση με τη μέθοδο πτώσης δυναμικού, κατά την οποία μετρήθηκε ο παράλληλος συνδυασμός του υπό εξέταση συστήματος γείωσης, των συστημάτων γείωσης των λοιπών συνδεμένων καταναλωτών και της γείωσης του μετασχηματιστή διανομής.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων της συμβατικής και της εναλλακτικής μεθόδου μέτρησης της αντίστασης γείωσης για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα μετρήσεων αντίστασης γείωσης

Περιοχή	**Σύστημα**	**Είδος γειωτή**	**Ημερομηνία μέτρησης**	**Μέθοδος μέτρησης**	
				Πτώση δυναμικού	**εναλλακτική**
Μαρούσι	ΤΤ	θεμελιακή	15/04/2018	1.04 Ω	1.21 Ω
			20/04/2018	1.01 Ω	1.25 Ω
Αθήνα (Θησείο)	ΤΤ	τρίγωνο	14/04/2018	1.12 Ω	1.32 Ω
			20/04/2018	1.23 Ω	1.38 Ω
Χαλάνδρι	ΤΤ	θεμελιακή	16/04/2018	1.24 Ω	1.42 Ω
			21/04/2018	1.12 Ω	1.31 Ω
Λαμία	ΤΝ	θεμελιακή	28/02/2018	12.1 Ω	-
			14/03/2018	1.1 Ω	12.9 Ω
Λαμία	ΤΝ	θεμελιακή	09/02/2018	7.2 Ω	-
			16/03/2018	1.5 Ω	7.9 Ω
Λαμία	ΤΝ	θεμελιακή	20/02/2018	4.7 Ω	-
			08/03/2018	0.6 Ω	5.4 Ω

Στην περίπτωση της άμεσης γείωσης η εκτίμηση της αντίστασης γείωσης μέσω του βρόχου σφάλματος δίνει μεγαλύτερη τιμή σε σύγκριση με τη μέθοδο πτώσης δυναμικού, καθώς ο βρόχος σφάλματος στην περίπτωση συστήματος ΤΤ περιλαμβάνει. και τους αγωγούς της διάταξης (ΕΛΟΤ HD384 παράγραφος 612.6.2, σημείωση 2). Στην περίπτωση της ουδετέρωσης η μέτρηση με χρήση δύο αμπεροτσιμπίδων φαίνεται να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, με τιμές υψηλότερες από τις μετρηθείσες με τη μέθοδο πτώσης δυναμικού [αναμενόμενο καθώς στην περίπτωση της χρήσης γειωσομέτρου αρπάγης περιλαμβάνεται και ο παράλληλος συνδυασμός των υπολοίπων συστημάτων γείωσης σύμφωνα με τη σχέση (2)].



Σχήμα 7: Ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων της συμβατικής και της εναλλακτικής μεθόδου μέτρησης της αντίστασης γείωσης για κάθε περίπτωση (α: αντιστοιχεί στην ημερομηνία πρώτης μέτρησης κάθε ηλεκτρικής εγκατάστασης, β: αντιστοιχεί στην ημερομηνία δεύτερης μέτρησης κάθε ηλεκτρικής εγκατάστασης).

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα μετρήσεων της αντίστασης γείωσης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων συνδεμένων στο ελληνικό δίκτυο διανομής, εφαρμόζοντας τη μέθοδο πτώσης δυναμικού (με χρήση βοηθητικών ηλεκτροδίων) και εναλλακτικές μεθόδους (βρόχος σφάλματος για συστήματα άμεσης και χρήση δύο αμπεροτσιμπίδων για συστήματα ουδετερογείωσης). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταδεικνύουν ότι οι εναλλακτικές μέθοδοι μέτρησης, παρά το γεγονός ότι δίνουν μεγαλύτερες τιμές από την πραγματική τιμή της αντίστασης γείωσης, μπορούν να θεωρηθούν επαρκείς για μια εκτίμηση της αντίστασης γείωσης, σε περιπτώσεις που η μέτρηση με χρήση βοηθητικών ηλεκτροδίων είναι αδύνατη είτε λόγω έλλειψης χώρου είτε λόγω σύνδεσης του ουδετέρου στον μετρητή της εγκατάστασης. Σημειώνεται ότι, η μέτρηση μέσω του βρόχου σφάλματος περιλαμβάνεται στο ισχύον Πρότυπο (ΕΛΟΤ HD 384, 2004), σε αντίθεση με τη μέθοδο μέτρησης με χρήση δύο αμπεροτσιμπίδων, η οποία δεν υποστηρίζεται από όλα τα όργανα μέτρησης.

7. Βιβλιογραφία

ΕΛΟΤ HD 384, «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», έκδοση 2η, 2004

ABB, «Electrical installation handbook, Protection, control and electrical devices», Technical guide, 6th edition, 2010

Androvitsaneas V.P., Gonos I.F., Stathopulos I.A., “Experimental study on transient impedance of grounding rods encased in ground enhancing compounds”, Electric Power Systems Research, Vol. 139, pp. 109–115, 2016

Metrel, «Guide for testing and verification of low voltage installations», 2008

Schneider Electric, «Electrical installation guide According to IEC international standards», 2016