

# **ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΠΑΤΡΩΝ-ΑΘΗΝΩΝ-ΘΕΣΣ/ΚΗΣ-ΕΙΔΟΜΕΝΗΣ-ΠΡΟΜΑΧΩΝΑΣ**

## **ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Γ. Αρβανίτης<sup>1</sup>  
PROTASIS A.E.

Ν. Κάρλοβιτς<sup>2</sup>  
PROTASIS A.E.

Η. Μήλης<sup>3</sup>  
PROTASIS A.E.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την διαδικασία έναρξης ηλεκτροκίνησης του σιδηροδρομικού δικτύου από την Λάρισα έως την Θεσσαλονίκη. Οι δοκιμές αυτές απαιτούσαν την πραγματοποίηση βραχυκυκλώματος στο δευτερεύον Μ/Τ 150kV/27,5kV και την πραγματοποίηση σειράς δοκιμών και μετρήσεων με ρεύμα βραχυκυκλώματος περί τα 400 Α. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων έγιναν κατάλληλες ρυθμίσεις στις προστασίες έτσι ώστε το ρεύμα του βραχυκυκλώματος να μην θεωρείται σφάλμα αλλά η προστασία να μπορεί να ενεργοποιηθεί με την ύπαρξη οποιουδήποτε άλλου σφάλματος. Πραγματοποιήθηκαν, σε επιλεγμένες θέσεις σε υποσταθμούς, αποβάθρες, ισόπεδες διαβάσεις, σιδηροδρομικούς σταθμούς μετρήσεις βηματικών τάσεων, τάσεων επαφής και τάσεων μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων καθώς και του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Στην εργασία αυτή αναλύονται οι μέθοδοι πραγματοποίησης και επεξεργασίας των μετρήσεων και σχολιάζονται τα αποτελέσματα σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κείμενης νομοθεσίας.

# **RAILWAY ELECTRIFICATION PATRA-ATHENS -THESSALONIKI -EIDOMENI-PROMAXONAS**

## **SPECIAL TESTS ON ELECTRIFICATION SYSTEM**

G. Arvanitis<sup>1</sup>  
PROTASIS A.E.

N. Karlovits<sup>2</sup>  
PROTASIS A.E.

I. Milis<sup>3</sup>  
PROTASIS A.E.

Aim of this paper is to present the tests that take place before the electrification of the railway network from Larisa to Thessaloniki. These tests required a short circuit to the secondary winding of the 150/27.5 kV power transformer in order to measure several electrical values (voltages) with a flowing short circuit current approximately 400 A. For the tests purposes the protection scheme of the electrification system changed in order to acknowledge the simulated short circuit current as a normal and to trip in any other fault which may occurred during the test. During the tests touch, step and metal to metal voltage measurements take place in several places of the railway network (railway stations, substations, grade crossings). The measurements methods and the evaluation of the measurements according to the current legislation are described in this paper.

---

<sup>1</sup> PROTASIS A.E., Σαλαμίνος 36, Μαρούσι, Τηλ. 2109561154, Fax. 2109561164, e-mail: [garvanitis@protasis.net.gr](mailto:garvanitis@protasis.net.gr).

<sup>2</sup> PROTASIS A.E., Σαλαμίνος 36, Μαρούσι, Τηλ. 2109561154, Fax. 2109561164, e-mail: [nkarlovits@protasis.net.gr](mailto:nkarlovits@protasis.net.gr).

<sup>3</sup> PROTASIS A.E., Σαλαμίνος 36, Μαρούσι, Τηλ. 2109561154, Fax. 2109561164, e-mail: [imilis@protasis.net.gr](mailto:imilis@protasis.net.gr).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Σκοπός της δοκιμής προσομοίωσης βραχυκυκλώματος ήταν η επαλήθευση αφενός, της σωστής λειτουργίας του σχήματος προστασίας του συστήματος ηλεκτροκίνησης και αφετέρου, των ληφθέντων μέτρων προστασίας έναντι των επιδράσεων του ηλεκτρικού ρεύματος (φορτίου και βραχυκυκλώματος) και τάσης (27.5kV/50Hz) του συστήματος ηλεκτροκίνησης.

Κατά την δοκιμή, η εναέρια γραμμή τροφοδοσίας του συστήματος ηλεκτροκίνησης διαρρέονταν από μια υπολογισμένη και προκαθορισμένη τιμή ρεύματος προκειμένου να:

- Διαπιστωθεί η σωστή και επιθυμητή λειτουργία του σχήματος προστασίας του δικτύου ηλεκτροκίνησης που βρίσκεται εγκατεστημένο στον Υποσταθμό (Υ/Σ).
- Ελεγχθεί η ύπαρξη, επικίνδυνων για τον άνθρωπο, τάσεων (βημάτικες, επαφής, μέταλλο ως προς μέταλλο, δικτύωματος ως προς γη, σιδηροτροχιάς ως προς γη).
- Μετρηθούν οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, στη βιομηχανική συχνότητα, σε συσκευές που βρίσκονται εγκατεστημένες κοντά ή παράλληλα στην εναέρια γραμμή τροφοδοσίας.

Η δοκιμή πραγματοποιείται τροφοδοτώντας την εναέρια γραμμή της ηλεκτροκίνησης από τον μετασχηματιστή ισχύος (15MVA, 150/27.5kV) του υποσταθμού και ενώνοντας την, σε ένα προκαθορισμένο σημείο με την σιδηροτροχιά επιστροφής. Το σημείο της ένωσης της εναέριας γραμμής τροφοδοσίας με την σιδηροτροχιά επιστροφής ονομάζεται «σημείο βραχυκυκλώματος». Η ως άνω περιγραφόμενη δοκιμή ονομάζεται «δοκιμή προσομοιωμένου ή μακροχρόνιου βραχυκυκλώματος».

Οι τιμές των τάσεων και εντάσεων που θα προκύψουν από την δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την αξιολόγηση του συστήματος όσο και για τον υπολογισμό, με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής, των τάσεων / εντάσεων σε πραγματικό βραχυκύκλωμα. Προκειμένου η δοκιμή να παρέχει αξιοποιήσιμες μετρήσεις απαιτείται η ύπαρξη ενός ρεύματος βραχυκυκλώματος μεγαλύτερου από 200 A και μικρότερου του ονομαστικού του συστήματος (600 A) [2].

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ – ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.

Η πρώτη σειρά δοκιμών πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2007. Στην πρώτη σειρά δοκιμών το βραχυκύκλωμα τροφοδοτούντο από τον Υ/Σ Αιγινίου. Το σημείο του βραχυκυκλώματος την πρώτη ημέρα ήταν λίγο έξω από το σιδηροδρομικό σταθμό (Σ.Σ.) (RS) Λεπτοκαρύας και την δεύτερη ημέρα λίγο έξω από το σιδηροδρομικό σταθμό ΤΧ1.

Η δεύτερη σειρά δοκιμών πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2008. Για τις ανάγκες της δοκιμής η εναέρια γραμμή τροφοδοσίας του δικτύου της ηλεκτροκίνησης τροφοδοτήθηκε από τον Υ/Σ Λάρισας. Προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό ρεύμα βραχυκυκλώματος χρησιμοποιήθηκαν και οι δυο μετασχηματιστές ισχύος 150/27.5 kV του Υ/Σ Λάρισας με τα πρωτεύοντα τυλίγματα τους σε σειρά (150 kV) και τα δευτερεύοντα (27.5 kV) παράλληλα (σχήμα 1). Και την πρώτη και τη δεύτερη ημέρα το βραχυκύκλωμα έγινε λίγο έξω από το Σ.Σ. Λεπτοκαρύας.

Κατά την διάρκεια των δύο δοκιμών ο υποσταθμός Λάρισας τροφοδοτούσε την μονή εναέρια γραμμή με τάση περίπου 13kV. Προκειμένου να καταστεί ικανή η δημιουργία συνθηκών βραχυκυκλώματος έπρεπε να αλλαχθούν οι ρυθμίσεις των Ηλεκτρονόμων Προστασίας (H/N) του υποσταθμού. Οι παλαιές ρυθμίσεις των H/N ελήφθησαν σε ένα φορητό Η/Υ, οι H/N ρυθμίστηκαν σύμφωνα με τις νέες, συμβατές με τη δοκιμή, ρυθμίσεις. Μετά το πέρας της δοκιμής αποκαστάθησαν στους Ηλεκτρονόμους Προστασίας οι αρχικές ρυθμίσεις.

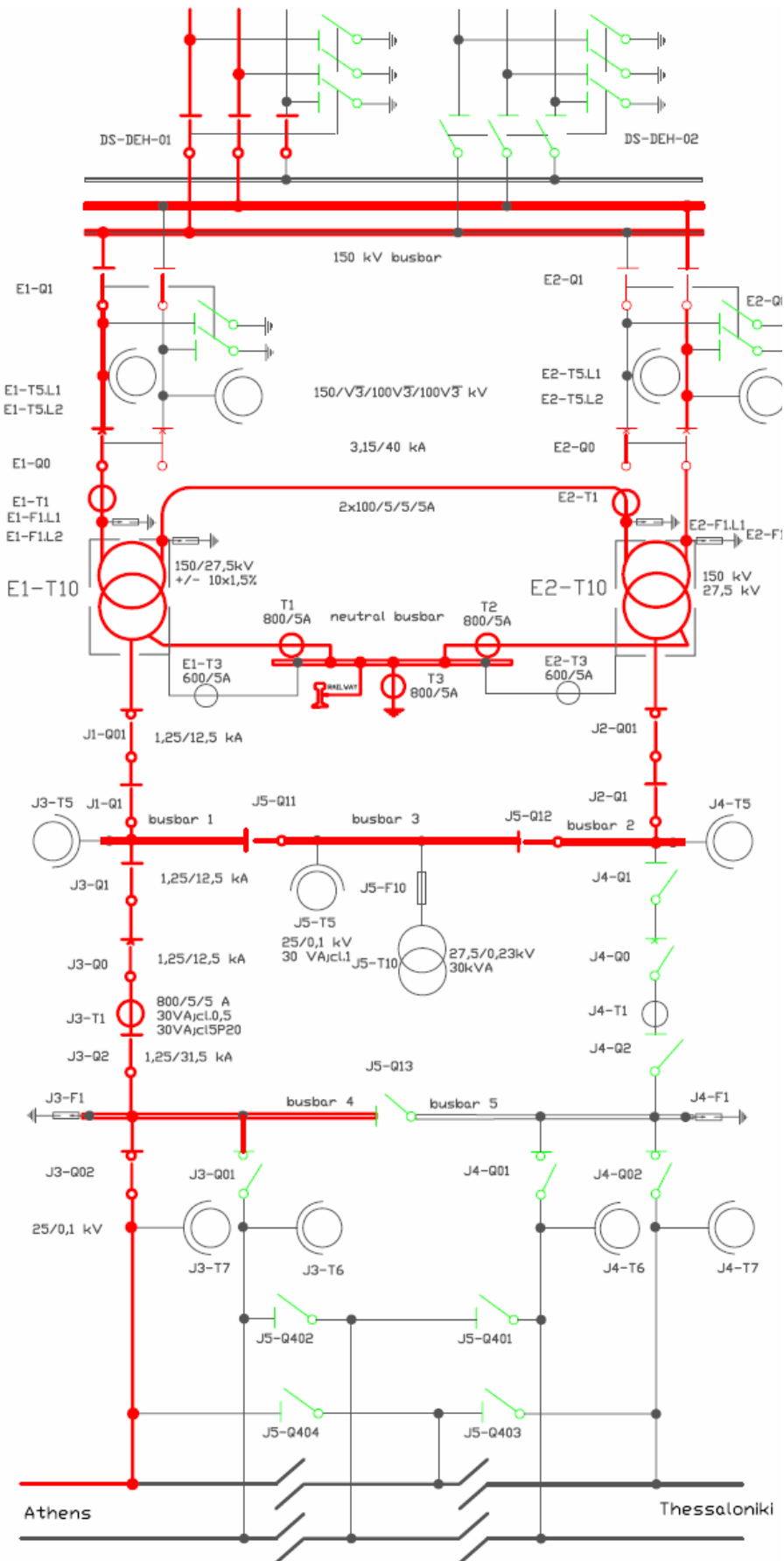
Κατά τη δεύτερη δοκιμή ουσιαστικά ελέγχθηκε και το επιλεγθέν για το βραχυκύκλωμα σχήμα προστασίας. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, την δεύτερη ημέρα, αστόχησε ένας αποζεύκτης στο Θ.ΥΤ. (PSS) Ευαγγελισμού με αποτέλεσμα την δημιουργία βραχυκυκλώματος ως προς γη στο Θ.ΥΤ. Ευαγγελισμού και την πτώση από στιγμιαία στοιχεία (instantaneous overcurrent element) της προστασίας υπερεντάσεως των Μετασχηματιστών (Μ/Σ) ισχύος.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών πραγματοποιήθηκαν, σε επιλεγμένες θέσεις σε υποσταθμούς, σε αποβάθρες, ισόπεδες διαβάσεις, σιδηροδρομικούς σταθμούς (ζώνες συχνής κυκλοφορίας ατόμων, ζώνες μειωμένης κυκλοφορίας ατόμων, ζώνες στις οποίες απαγορεύεται η κυκλοφορία του κοινού και ζώνες στις οποίες απαγορεύεται η κυκλοφορία στους μη έχοντες εργασία), μετρήσεις [1,2]:

- των βηματικών τάσεων.
- των τάσεων επαφής.
- των τάσεων μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων.
- του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Πιο συγκεκριμένα εντός του χώρου του Υ/Σ Λάρισας και κατά τη διάρκεια της δοκιμής πραγματοποιήθηκαν οι κάτωθι μετρήσεις [1,2] :

- Τάση ανοικτού κυκλώματος.
- Τάση στη γραμμή μεταφοράς 150 kV που τροφοδοτεί τους Μ/Σ.
- Ενεργό και άεργο ισχύ.
- Ρεύματα στο κύκλωμα της επιστροφής :
  - Γη προς ζυγό επιστροφής (μέσω του εγκατεστημένου Μ/Σ εντάσεως).
  - Σιδηροτροχιάς προς ζυγό επιστροφής (με αμπεροτσιμπίδα στο καλώδιο από σιδηροτροχιά στο ζυγό).
  - Ζυγό επιτροπής προς τους Μ/Σ ισχύος.



Σχήμα 1. Διαμόρφωση του Υ/Σ Λάρισας για τη δοκιμή βραχυκυκλώματος.

Για την καταγραφή των μετρήσεων αναπτύχθηκαν ειδικά λογιστικά φύλλα για κάθε τύπο μέτρησης. Συνολικά αναπτύχθηκαν 11 διαφορετικά φύλλα καταγραφής μετρήσεων.

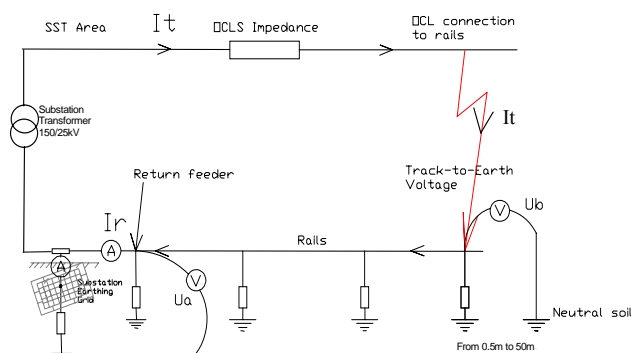
Εξαιτίας του όγκου των μετρήσεων που έπρεπε να ληφθούν και της διάρκειας του βραχυκυκλώματος (1 ώρα) απαιτείτο μεγάλη ταχύτητα λήψης μετρήσεων από τις ομάδες. Για το λόγο αυτό διεξήχθησαν δυο «δοκιμαστικά βραχυκυκλώματα», μια ημέρα πριν τη δοκιμή βραχυκυκλώματος, όπου η κάθε ομάδα έπρεπε να λειτουργήσει και να λάβει τις μετρήσεις που τις αναλογούσαν εντός μιας ώρας. Στα δοκιμαστικά βραχυκυκλώματα η εναέρια γραμμή δεν τροφοδοτούντο με τάση και δεν υπήρχε βραχυκύκλωμα. Σκοπός του δοκιμαστικού βραχυκυκλώματος ήταν η εξοικείωση των ομάδων με:

- Τα όργανα μετρήσεων.
- Τα λογιστικά φύλλα.
- Το χώρο όπου θα ενεργούσαν για να λάβουν τις μετρήσεις.

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.

#### 3.1 Μέτρηση τάσης μεταξύ σιδηροτροχιάς και γης (track to earth voltage).

Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής είναι η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ της σιδηροτροχιάς επιστροφής και της γης. Το γενικευμένο ηλεκτρικό διάγραμμα για την μέτρηση βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής απεικονίζεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. γενικευμένο ηλεκτρικό διάγραμμα για την μέτρηση τάσεων επαφής και βηματικών τάσεων.

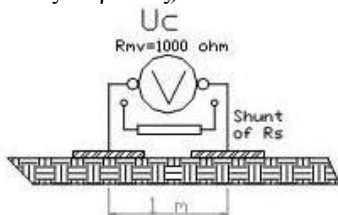
Τα μετρούμενα μεγέθη είναι:  $I_t$ ,  $I_r$ ,  $U_a$  (Διαφορά δυναμικού σιδηροτροχιάς επιστροφής ως προς γη εμπρός από τον  $Y/\Sigma$ ) και  $U_b$  (Διαφορά δυναμικού σιδηροτροχιάς επιστροφής ως προς γη στο σημείο του βραχυκυκλώματος).

Στα σημεία επιστροφής του ρεύματος (return feeder) και βραχυκυκλώματος διεξήχθησαν σειρές μετρήσεων για την τάση μεταξύ σιδηροτροχιάς επιστροφής και γης. Οι μετρήσεις έγιναν μεταβάλλοντας την απόσταση του ηλεκτροδίου γης από την σιδηροτροχιά επιστροφής. Αποστάσεις για τις οποίες διεξήχθησαν μετρήσεις : 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25 και 50 μέτρα.

Για την μέτρηση των τάσεων έχει επιλεγθεί η βολτομετρική μέθοδος. Τα χρησιμοποιούμενα βολτόμετρα διαθέτουν υψηλή εσωτερική αντίσταση, είναι ψηφιακά και είχαν διακριθωθεί από το ΚΔΕΠ / ΔΕΗ ΑΕ πριν την διεξαγωγή των μετρήσεων. Η επιλεγμένη βολτομετρική μέθοδος είναι σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN-50122-1 [1,3].

#### 3.2 Μέτρηση βηματικής τάσης (step voltage).

Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής είναι η μέτρηση των αναπτυσσόμενων, εξαιτίας των ρευμάτων της ηλεκτροκίνησης, βηματικών τάσεων. Μετρήσεις βηματικών τάσεων πραγματοποιήθηκαν σε όλες τις θέσεις (υποσταθμούς, σιδηροδρομικούς σταθμούς, αποβάθρες, ισόπεδες διαβάσεις).



Σχήμα 3. Μέτρηση βηματικής τάσης.

Η επιλεγμένη μέθοδος μέτρησης είναι η μέθοδος βολτομέτρου – αμπερομέτρου. Το χρησιμοποιούμενο βολτόμετρο διαθέτει υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου και το αμπερόμετρο είναι ικανό να μετρήσει το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος [1,3].

Η βηματική τάση προκύπτει ως η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δυο ηλεκτροδίων :

$$U_{\text{step}} = U_{C2} - U_{C1} \quad (1)$$

### 3.3 Μέτρηση τάσης επαφής (touch voltage).

Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής είναι η μέτρηση των αναπτυσσόμενων, εξαιτίας των ρευμάτων της ηλεκτροκίνησης, τάσεων επαφής σε μεταλλικά αντικείμενα. Μετρήσεις βηματικών τάσεων πραγματοποιήθηκαν σε όλες τις θέσεις (υποσταθμούς, σιδηροδρομικούς σταθμούς, αποβάθρες, ισόπεδες διαβάσεις). Για την διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η βολτομετρική μέθοδος.

Ο συντελεστής  $K_{\text{touch}}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (2):

$$K_{\text{touch}} = \frac{U_{\text{touch}}}{U_b} \quad (2)$$

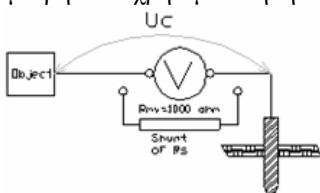
Όπου  $U_b$  η διαφορά δυναμικού σιδηροτροχιάς – γης στο σημείο του βραχυκυκλώματος.

Τελικά η τάση επαφής προκύπτει από τη σχέση (3):

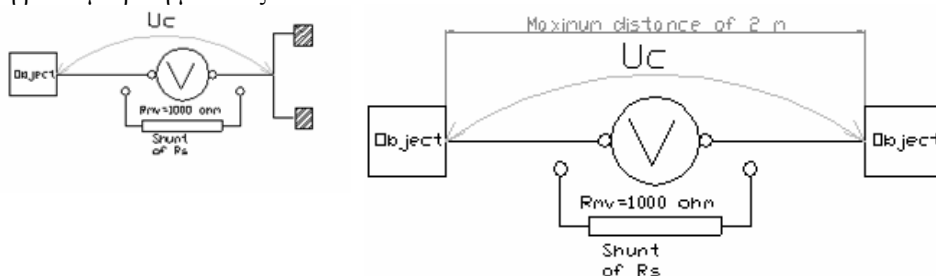
$$U'_{\text{touch}} = K_{\text{touch}} \times U_{b,\text{calc}} \quad (3)$$

### 3.4 Μέτρηση τάσης μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων (metal to metal voltage).

Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής είναι η μέτρηση των αναπτυσσόμενων, εξαιτίας των ρευμάτων της ηλεκτροκίνησης, τάσεων σε μεταλλικά αντικείμενα. Μετρήσεις τάσεων μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων πραγματοποιήθηκαν σε όλες σχεδόν τις θέσεις (υποσταθμούς, σιδηροδρομικούς σταθμούς, αποβάθρες, ισόπεδες διαβάσεις). Για την διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η βολτομετρική μέθοδος.



Σχήμα 4. Μέτρηση τάσης επαφής.



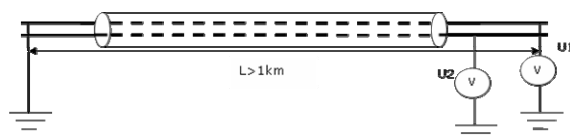
Σχήμα 5. Μέτρηση τάσης μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων.

### 3.5 Μέτρηση ηλεκτρομαγνητικά επαγόμενων τάσεων – ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής (inductive interference measurement).

Εξαιτίας των ρευμάτων που διαρρέουν τους αγωγούς και τις σιδηροτροχίες αλλά και τις υψηλής εναλλασσόμενης τάσης της εναέριας γραμμής τροφοδοσίας δημιουργούνται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στα καλώδια ελέγχου του δικτύου της ηλεκτροκίνησης. Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής είναι η μέτρηση των επαγόμενων τάσεων στα εναέρια ή υπόγεια καλώδια ελέγχου, τα οποία οδεύουν παράλληλα με τη σιδηροδρομική γραμμή και βρίσκονται σε μέγιστη απόσταση 8 μέτρων από τον οριζόντιο άξονα αυτής.

Η μέτρηση των επαγόμενων τάσεων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το σχήμα 6. Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκαν δυο μετρήσεις για κάθε καλώδιο ως εξής:

- Μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ του αγωγού και της γης με το μπλεντάζ στο άλλο άκρο του καλωδίου να συνδέεται στην γη.
- Μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ του αγωγού και της γης με το μπλεντάζ στο άλλο άκρο του καλωδίου ανοικτοκυκλωμένο (ασύνδετο με τη γη).



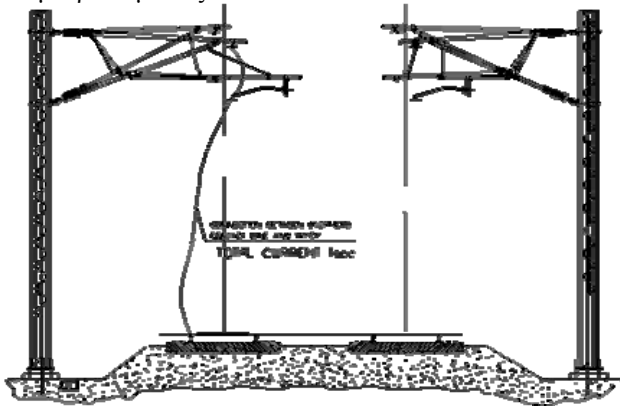
Σχήμα 6. Μέτρηση ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής σε καλώδια ελέγχου.

### 3.6 Μέτρηση του ρεύματος βραχυκυκλώματος στο σημείο του βραχυκυκλώματος.

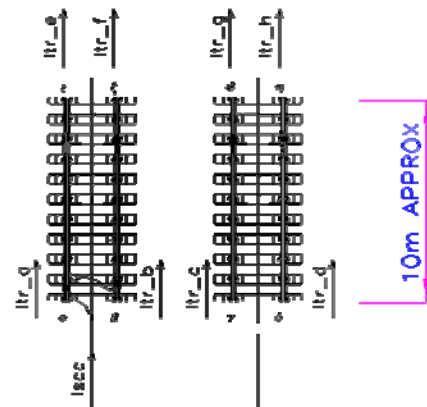
Το βραχυκύκλωμα στο σύστημα της ηλεκτροκίνησης προσομοιώνεται ενώνοντας την εναέρια γραμμή τροφοδότησης με τη σιδηροτροχιά, όπως φαίνεται στο σχήμα 7. Κατά το βραχυκύκλωμα μετρήθηκαν δυο μεγέθη:

- Το ρεύμα που περνά από τον προσωρινό αγωγό διασύνδεσης της εναέριας γραμμής με τη σιδηροτροχιά,  $I_{SCC}$ .
- Το ρεύμα στη σιδηροτροχιά σε μια περιοχή που απείχε 10 μέτρα από το σημείο της ένωσης εναέριας γραμμής – σιδηροτροχιάς,  $I_{tr}$

Για την μέτρηση του ρεύματος χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες (εύκαμπτες, μεγάλης διατομής) διακριβωμένες αμπεροτσιμπίδες.



Σχήμα 7. Απεικόνιση της διάταξης του δοκιμαστικού βραχυκυκλώματος.



Σχήμα 8. Μετρούμενα μεγέθη (ρεύματα) στο σημείο του βραχυκυκλώματος.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.

Στον πίνακα 1 παρατίθενται συνοπτικά οι μετρήσεις που διεξάχθηκαν στον τμήμα Λάρισα – Λεπτοκαρύα, στις 9 και 10 Αυγούστου 2008 με ρεύμα βραχυκυκλώματος 470 A και 480 A αντίστοιχα. Στον πίνακα παρατίθενται οι μέγιστες τιμές των τάσεων επαφής, βηματικών τάσεων και των τάσεων μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων. Οι θέσεις στις οποίες προέκυψαν οι μέγιστες τιμές φαίνονται στα φύλλα δοκιμών.

Θέση	km	Ρεύμα [A]	Βηματική Τάση [V]	Τάση Επαφής [V]	Τάση Μέταλλο προς Μέταλλο [V]
Σ.Σ. ΜΕΖΟΥΡΛΟΣ	343	470	0.178	4.9358	0.00265
Σ.Σ. ΛΑΡΙΣΑΣ	345	470	0.0028	3.8	8.8
Θ.ΥΤ ΕΜΠ. ΛΑΡΙΣΑΣ	352	480	0.183	3.3586	0.006425
Σ.Σ. ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ	369	480	0.65	6.5	-
Θ.ΥΤ ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ	369	480	0.1975	4.21	-
ΤΟΥΝΕΛ ΤΕΜΠΩΝ	381	470	0.160	2.592	3.312
Σ.Σ. ΝΕΟΙ ΠΟΡΟΙ	392	470	0.17	1.250	0.3895
Υ/Σ ΛΑΡΙΣΑΣ	340	470	0.5156	8.562	2.7809
ΤΟΥΝΕΛ ΠΛΑΤΑΜΩΝΑ	393	480	2.261	3.149	0.522
Σ.Σ. ΛΕΠΤΟΚΑΡΙΑΣ	404	480	0.0365	1.775	0.272

Πίνακας 1. Συνοπτικά αποτελέσματα μετρήσεων στο τμήμα Λάρισα – Λεπτοκαρύα.

## 5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.

Σύμφωνα με την υπ' αριθμό Φ4.2/23773/2032 απόφαση του Υπουργού Μεταφορών και Επικοινωνιών, με τίτλο «Έγκριση Κανονισμών Ηλεκτροκίνησης Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδας», όπως δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ Β' 1897/22.12.2003 [2] προκύπτει ότι:

- Σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 1 παράγραφοι 9 και 10, του κεφαλαίου Β πραγματοποιήθηκαν στις 09.08.2008 και στις 10.08.2008, οι απαιτούμενες μετρήσεις για τον καθορισμό των επιδράσεων σε κατάσταση βραχυκυκλώματος πριν την έναρξη της λειτουργίας.
- Σύμφωνα με την ίδια υπουργική απόφαση (§1.10) κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το ρεύμα στη γραμμή πρέπει να είναι τουλάχιστον 200A πράγμα που επιτρέπει αναλογικά τον υπολογισμό για τις πραγματικές τιμές του ρεύματος. Η απαίτηση αυτή υπερκαλύφθηκε και τις δύο μέρες των μετρήσεων αφού το ρεύμα ήταν 470A στις 09.08.2008 και 480A στις 10.08.2008.

- Σύμφωνα με την ίδια υπουργική απόφαση (§3.5.2) οι μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις επαφής και βηματικές τάσεις στην κατάσταση βραχυκυκλώματος για τις σιδηροτροχιές και τα άλλα μεταλλικά αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 5 μέτρων από τον άξονα της ηλεκτροκινούμενης γραμμής φαίνονται στον Πίνακα 2.
- Σύμφωνα με την ίδια υπουργική απόφαση (§3.5.3) οι μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις επαφής και βηματικές τάσεις για τους στύλους της γραμμής επαφής που δεν είναι εξοπλισμένοι με ηλεκτρικό εξοπλισμό (διακόπτες, αποζεύκτες, μετασχηματιστές, κ.τ.λ.) ανεξάρτητα από τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος, δίνονται στον Πίνακα 3.

	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ [s]							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8-3	3
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΖΩΝΗΣ	ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΤΑΣΗ [V]							
1. Αποβάθρες σιδηροδρομικών σταθμών για το κοινό	125	100	85	80	75	70	65	50
2. Άλλες ζώνες συχνής κυκλοφορίας ατόμων, σε σταθμούς, θέσεις στάθμευσης στην ανοιχτή γραμμή	250	200	165	150	140	130	125	125
3. Ζώνες μειωμένης κυκλοφορίας προσώπων (απαγορεύεται η κυκλοφορία ατόμων που δεν έχουν εργασία)	500	400	330	300	280	260	250	250

Πίνακας 2. ΦΕΚ1897/22.12.2003 Πίνακας 3.5.2 [2].

ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ	ΤΑΣΗ [V]
1. Σιδηροδρομικοί σταθμοί σε ζώνες κυκλοφορίας κοινού	125
2. Σταθμοί σε ζώνες στις οποίες απαγορεύεται η κυκλοφορία του κοινού, στάσεις στην ανοιχτή γραμμή, ισόπεδες διαβάσεις	250
3. Ζώνες στις οποίες απαγορεύεται η κυκλοφορία στους μη έχοντες εργασία	Χωρίς όριο

Πίνακας 3. ΦΕΚ1897/22.12.2003 Πίνακας 3.5.3 [2].

Για τον υπολογισμό των μέγιστων τάσεων επαφής, βηματικών τάσεων και τάσεων μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής. Εν ολίγοις, υπολογίστηκε το ρεύμα βραχυκυκλώματος υπό κανονικές συνθήκες και οι μέγιστες μετρούμενες τιμές των εν λόγω τάσεων ανήχθησαν σύμφωνα με την υπολογισμένη τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος.

Στην συνέχεια παρατίθεται ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώματος, για βραχυκύκλωμα στην πλευρά Χ.Τ. του μετασχηματιστή ισχύος 150/27,5 kV με τάση δικτύου 150 kV και το ΤΑΠ στη θέση 11.

Από τον παρακάτω υπολογισμό προέκυψε η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος:

$$I_{cc25} = 7.524 \text{ kA.} \quad (4)$$

Οι μετρούμενες τιμές τάσεων ανάγονται σε πραγματικές συνθήκες βραχυκυκλώματος με τη χρήση του συντελεστή αναγωγής που δίνεται από τη σχέση :

$$K = \frac{I_{cc25}}{I_{OCLS}} \quad (5)$$

Αφού υπολογίστηκε η τιμή του συντελεστή αναγωγής για κάθε μια από τις δοκιμές, έπειτα υπολογίστηκαν οι ανηγμένες, σε πραγματικό βραχυκύκλωμα, τιμές των βηματικών τάσεων, τάσεων επαφής και τάσεων μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων. Ενδεικτικά παρατίθεται ο πίνακας 2 με τις εν λόγω τάσεις για τον σιδηροδρομικό σταθμό της Λεπτοκαρύας.

#### Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώματος.

Ονομαστική Τάση Δικτύου:  $V_n = 150 \text{ kV}$  (6)

Δρομέας Συστήματος Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο Μ/Σ ισχύος στην θέση 11:  $n_t = 5.455$  (7)

Τάση Δευτερεύοντος:  $V_{2n} = \frac{V_n}{n_t} = 27.489 \text{ kV}$  (8)

#### Υπολογισμός ισοδύναμης σύνθετης αντίστασης Μ/Σ:

Ονομαστικά Μεγέθη:  $A_n = 15000 \text{ kW}$ ,  $P_{Cu} = 48 \text{ kW}$ ,  $P_{Fe} = 15 \text{ kW}$ ,  $V_{cc} = 7.25\%$  (9)

Ρεύμα Βραχυκυκλώματος:  $I_{cc25} = \frac{A_n}{V_{2n} V_{cc}} \stackrel{(8)}{\Rightarrow} I_{cc25} \stackrel{(9)}{=} 7.524 \text{ kA}$  (10)

Ρεύμα Εναέριας Γραμμής Τροφοδότησης: $I_{OCLS}$	<b>480 A</b>
Συντελεστής Αναγωγής $K= I_{cc25} / I_{OCLS}$	<b>15.7</b>
Θέση	<b>Ερμάριο 410.6 ΛΕΠ - 410.5 ΛΕΠ</b>
Μέγιστη Μετρούμενη Βηματική Τάση	<b>36.5 mV</b>
Μέγιστη Υπολογιζόμενη Βηματική Τάση	<b>572 mV</b>
Θέση	<b>Ερμάριο 410.5 ΛΕΠ</b>
Μέγιστη Μετρούμενη Τάση Επαφής	<b>1.775 V</b>
Μέγιστη Υπολογιζόμενη Τάση Επαφής	<b>27.823 V</b>
Θέση	<b>Μεταξύ Μεταλλικού καναλιού καλωδίων και Μεταλλικού Φράχτη</b>
Μέγιστη Μετρούμενη Τάση μεταξύ Μεταλλικών Αντικειμένων	<b>272 mV</b>
Μέγιστη Υπολογιζόμενη Τάση μεταξύ Μεταλλικών Αντικειμένων	<b>4.264 V</b>

**Πίνακας 2.** Μέγιστες ανηγμένες τιμές βηματικής τάσης, τάσης επαφής και τάσης μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων στον Σ.Σ. Λεπτοκαρυάς.

Έπειτα από αντίστοιχους υπολογισμούς για όλες τις θέσεις και όλες τις δοκιμές προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι μέγιστες υπολογισμένες τιμές των τάσεων, πολύ περισσότερο δε οι υπόλοιπες μετρήσεις, καλύπτουν τις απαιτήσεις των πινάκων 3.5.2 και 3.5.3 του ΦΕΚ 1897B.

## 6. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.

Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την διενέργεια των μετρήσεων. Με γνώμονα ότι αφενός, ο μέγιστος χρόνος της δοκιμής δεν έπρεπε να ξεπερνά την μια ώρα και αφετέρου το εξαιρετικό μεγάλο πλήθος των μετρήσεων προκύπτει ότι οι ομάδες λήψης μετρήσεων έπρεπε να κινηθούν ταχύτατα. Συνεπώς μεγάλο ρόλο στην επιτυχή έκβαση του έργου διαδραμάτισαν ο συγχρονισμός και η εκπαίδευση των συνεργείων.

Ένα δεύτερο πρόβλημα είχε να κάνει με τους διάφορους παρευρισκόμενους πολίτες οι οποίοι με την περιέργεια τους δυσχέραναν το έργο των συνεργείων.

Το τρίτο και ενδεχομένως σημαντικότερο πρόβλημα είχε να κάνει με την κλοπή χαλκού. Τα ηλεκτρόδια και τα καλώδια για τις μετρήσεις εγκαταστάθηκαν σε όλες τις θέσεις μια ημέρα πριν την πρώτη δοκιμή βραχυκυκλώματος. Υπήρξαν περιπτώσεις όπου τα ηλεκτρόδια και οι αγωγοί είχαν αφαιρεθεί. Το γεγονός αυτό δημιούργησε σε δυο περιπτώσεις εξαιρετικά προβλήματα αφού έπρεπε τα συνεργεία των οποίων οι θέσεις είχαν πέσει θύματα κλοπής στο χρονικό διάστημα της δοκιμής να ξανά εγκαταστήσουν τα ηλεκτρόδια προκειμένου να διεξάγουν τις μετρήσεις.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν η μεθοδολογία και τα είδη των απαιτούμενων δοκιμών και μετρήσεων που έλαβαν χώρα κατά την διαδικασία έναρξης ηλεκτροκίνησης του σιδηροδρομικού δικτύου από την Λάρισα έως την Θεσσαλονίκη. Επίσης, αναφέρθηκαν οι σχετικοί με τις μετρήσεις – δοκιμές ισχύοντες νόμοι και κανονισμοί.

Τέλος, παρατίθενται σειρές μετρήσεων αλλά και η αξιολόγηση των διεξαχθέντων δοκιμών και μετρήσεων σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία. Από την αξιολόγηση των μετρήσεων και των δοκιμών, αλλά και την αναγωγή των μετρήσεων σε συνθήκες πραγματικού βραχυκυκλώματος, προκύπτει το συμπέρασμα ότι για όλες τις θέσεις οι μέγιστες τιμές των τάσεων (μετρούμενες και υπολογισμένες), πολύ περισσότερο δε οι υπόλοιπες μετρήσεις, καλύπτουν τις απαιτήσεις των πινάκων 3.5.2 και 3.5.3 του ΦΕΚ 1897B.

## 8. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.

Κλείνοντας την παρούσα εργασία κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η εξαιρετική συνεργασία της PROTASIS AE με τις κατασκευάστριες εταιρίες του έργου ηλεκτροκίνησης Balfour Beatty και ΤΕΡΝΑ αλλά και την ΕΡΓΟΣΕ.

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

- [1] CENELEC, EN-50122-1 “Railway applications - Fixed installations -- Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing”, Brussels – Belgium, August 1997.
- [2] Φ4.2/23773/2032 απόφαση του Υπουργού Μεταφορών και Επικοινωνιών, “Έγκριση Κανονισμών Ηλεκτροκίνησης Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδας”, Ελλάδα, Δεκέμβριος 2003.
- [3] IEEE Std 81.2-1991, “IEEE guide to measurement of impedance and safety characteristics of large, extended or interconnected grounding systems”, June 1992.