



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ «ΤΑΛΩΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία – Άννα Ε. Κληρονόμου

Επιβλέπων : Ιωάννης Φ. Γκόνος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ «ΤΑΛΩΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία – Άννα Ε. Κληρονόμου

Επιβλέπων : Ιωάννης Φ. Γκόνος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Ιουλίου 2014.

.....
Ιωάννης Φ. Γκόνος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014

.....
Μαρία - Άννα Ε. Κληρονόμου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μαρία - Άννα Ε. Κληρονόμου, 2014
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η λειτουργία των μονωτήρων στα δίκτυα υψηλής τάσης εξαρτάται από πλήθος παραμέτρων, οι οποίες καταγράφονται σε ποικιλία συνδυασμών που αφορούν το είδος και την ένταση της καταπόνησης. Η μέτρηση του ρεύματος διαρροής αποτελεί ίσως την πλέον αποδεκτή τεχνική παρακολούθησης και αξιολόγησης των επιδόσεών τους, καθώς προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα συνεχούς επιτήρησης και η δυνατότητα παράλληλων συγχρονισμένων δοκιμών σε πλήθος διαφορετικών μονωτήρων. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα καταγραφής της ηλεκτρικής επιφανειακής δραστηριότητας, η οποία μπορεί να αποκαλύψει ουσιαστικά στοιχεία για τη συμπεριφορά των μονωτήρων. Παράλληλα, όμως, εμφανίζει σημαντικές τεχνικές δυσκολίες, τόσο λόγω της φύσης της εφαρμογής όσο και λόγω του όγκου και της ανάγκης ερμηνείας των καταγραφόμενων μετρήσεων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι μονωτήρες κατά τη λειτουργία τους είναι εκτεθειμένοι στην επίδραση του περιβάλλοντος, η οποία δύσκολα αναπαράγεται σε εργαστηριακές συνθήκες, για την μελέτη της συμπεριφοράς των μονωτήρων επιλέγεται συχνά η πραγματοποίηση μετρήσεων στο πεδίο (δηλαδή σε πραγματικές συνθήκες), όπου λαμβάνει χώρα το σύνολο των παραμέτρων καταπόνησης. Σε αυτή την περίπτωση στις δυσκολίες προστίθεται και η ανάγκη μακροχρόνιας παρακολούθησης.

Στην παρούσα εργασία, γίνεται αρχικά μία εκτενής ανασκόπηση της παγκόσμιας βιβλιογραφίας που αφορά το ρεύμα διαρροής. Στη συνέχεια, αναλύεται η περίπτωση της Κρήτης, όπου εξαιτίας των έντονων προβλημάτων ρύπανσης διεξάγεται πολύχρονη έρευνα που περιλαμβάνει και την παρακολούθηση του ρεύματος διαρροής στο πεδίο. Το πλέον πρόσφατο βήμα της έρευνας είναι η κατασκευή και λειτουργία του υπαίθριου ερευνητικού σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» του ΔΕΔΔΗΕ στο Ηράκλειο Κρήτης. Επιπλέον, περιγράφεται η διάταξη που χρησιμοποιείται για την καταγραφή του ρεύματος διαρροής, καθώς και το καταγραφικό σύστημα. Παρατίθεται μια συνολική αξιολόγηση του συστήματος στην τρέχουσα μορφή του, καθώς και σύγκριση με προγενέστερες σε θέματα ευκολίας χρήσης, ευελιξίας, περιορισμών αλλά και κόστους λειτουργίας.

Λέξεις – Κλειδιά:

συνθετικοί και κεραμικοί μονωτήρες υψηλής τάσης, ρύπανση μονωτήρων, ρεύμα διαρροής, ανασκόπηση μεθόδων μέτρησης ρεύματος διαρροής, δίκτυο Κρήτης, αισθητήρες Hall, σύστημα συλλογής δεδομένων, σταθμός δοκιμών "ΤΑΛΩΣ"

Abstract

The operation of high voltage insulators depends on plenty of parameters, which are recorded in various combinations regarding the type and the intensity of the strain. The measurement of leakage current is probably the most accepted technique for monitoring and evaluation of their performance and offers significant advantages, such as the possibility of continuous supervision and parallel synchronized tests on a large number of different insulators. Furthermore, it offers the ability to record the electrical surface activity, which can reveal essential elements for the performance of the insulators. However, it presents important technical difficulties, not only due to the nature of the application but also due to the amount and the interpretation necessity of the recorded data. Given that insulators, while in operation, are exposed to the environmental impact which is hard to reproduce in laboratory conditions, it is often chosen, in order to study the behavior of insulators, to perform field measurements (in real conditions), where all stress parameters take place. In this case, the necessity of long term monitoring is added to the difficulties.

At first, in this diploma thesis, an extensive review of the worldwide literature regarding leakage current is presented. Then, the case of Crete is analyzed, where due to intense pollution problems a lasting research, that includes field leakage current monitoring in porcelain and composite insulators, is being conducted. The most recent stage of this research is the construction and operation of the outdoor test station "TALOS" in Heraklion, Crete. Furthermore, the measuring set-up and the Data Acquisition System used for leakage current monitoring are being described. An overall evaluation of the monitoring system in its current form is presented and being compared to previous forms, in terms of ease of use, flexibility, restrictions and operational cost.

Keywords:

composite and porcelain high voltage insulators, insulators' pollution, leakage current, review of leakage current monitoring techniques, Cretan Network, Hall sensors, Data Acquisition System, "TALOS" test station

Ευχαριστίες

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Εμμανουήλ Θαλασσινάκη που υπήρξε ο αρχικός εμπνευστής αυτής της συνεργασίας, κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης, ως προπτυχιακή φοιτήτρια, στον Υποσταθμό Υ.Τ. Ηράκλειο ΙΙ το καλοκαίρι του 2012.

Έπειτα, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ιωάννη Γκόνο, αφενός για την αποδοχή αυτής της πρότασης συνεργασίας, και αφετέρου για την άψογη συνεργασία, την άμεση ανταπόκρισή του στη διαδικτυακή μας επικοινωνία (που επιβαλλόταν λόγω απόστασης), την ελευθερία κινήσεων που μου παραχώρησε, καθώς και το κίνητρο να συμμετάσχω, παρουσιάζοντας ένα μέρος της τότε ημιτελούς εργασίας, στο 5^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, στο Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, το Μάιο του 2014.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους κ. Κυριάκο Σιδεράκη και Διονύση Πυλαρινό, οι οποίοι με καθοδήγησαν βήμα προς βήμα, παρέχοντάς μου το απαραίτητο βιβλιογραφικό υπόβαθρο, πληροφορίες από την προσωπική τους εμπειρία αλλά και την αναγκαία, κατά περιόδους, ψυχολογική υποστήριξη, στο μακρύ δρόμο μέχρι την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Μαρία – Άννα Κληρονόμου

Υ.Γ.: Για τον παππού μου Γιώργο..

Περιεχόμενα

<u>Ενότητες</u>	<u>Σελ.</u>
Κεφάλαιο 1 • Εισαγωγή	13
1.1 Η ρύπανση των μονωτήρων υψηλής τάσης	13
1.2 Σκοπός της εργασίας	14
1.3 Συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων	14
Κεφάλαιο 2 • Μέτρηση ρεύματος διαρροής	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Ανασκόπηση παγκόσμιας βιβλιογραφίας	17
2.2.1 Οι πρώτες δημοσιευμένες έρευνες (1970-1989)	17
2.2.2 Η δεκαετία 1990 – 1999	18
2.2.3 Η πενταετία 2000 – 2004	22
2.2.4 Η πενταετία 2005 – 2009	26
2.2.5 Πρόσφατες έρευνες (2010 – σήμερα)	30
2.2.6 Μερικά ενδιαφέροντα στοιχεία	32
2.3 Ρεύμα διαρροής και επιφανειακή δραστηριότητα	35
2.4 Σύνοψη	36
Κεφάλαιο 3 • Η περίπτωση της Κρήτης	37
3.1 Εισαγωγή	37
3.2 Στάδια της έρευνας	38
3.3 Ο υπαίθριος ερευνητικός σταθμός δοκιμών «ΤΑΛΩΣ»	38
Κεφάλαιο 4 • Αισθητήρες Hall	40
4.1 Εισαγωγή	40
4.2 Αρχή λειτουργίας – Φαινόμενο Hall	40
4.3 Επιλογή αισθητήρων	41
4.4 Πείραμα βαθμονόμησης	42
Κεφάλαιο 5 • Σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων	44
5.1 Εισαγωγή	44
5.2 Αρχικό καταγραφικό σύστημα (OLCA)	44
5.3 Αδυναμίες OLCA - Προδιαγραφές νέου συστήματος	45
5.4 Το νέο Data Acquisition System (DATAQ DI-722-32)	46
5.4.1 Έλεγχος και δοκιμές πριν την εγκατάσταση	47
5.4.2 Λογισμικό	47
5.4.3 Αυτοματοποιημένη εγγραφή σε αρχείο	48
5.4.4 Συχνοτική ανάλυση αποθηκευμένων κυματομορφών	48
5.4.5 Σκανδαλισμένες μετρήσεις	50
5.4.6 Προβλήματα στη συνδεσιμότητα με LabVIEW, MATLAB	52
5.5 Συμπεράσματα από τις δοκιμές στο DI-722-32	54

Κεφάλαιο 6 • Συμπεράσματα - Προτάσεις	55
6.1 Γενικά συμπεράσματα	55
6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	56
Κεφάλαιο 7 • Βιβλιογραφία	57
Παράρτημα	75
Εργασία συνεδρίου Μετρολογίας 2014	77
Οδηγός χρήσης συσκευής συλλογής δεδομένων DI-722-32 και του λογισμικού WINDAQ	87
Φυλλάδιο σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ»	119
Μπλοκ διάγραμμα και front panel προγράμματος για τη διασύνδεση LabVIEW – DI-722-32	120
Επιστολή προς τεχνική υποστήριξη DATAQ Support	125
Sample rate problem (όπως ακριβώς εστάλη στο DATAQ Support)	126
Προβλήματα προγράμματος για τη διασύνδεση MATLAB – DI-722-32	129
Προσωπικό φωτογραφικό αρχείο από τον Σταθμό Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ»	131

Κεφάλαιο 1 • Εισαγωγή

1.1 Η ρύπανση των μονωτήρων υψηλής τάσης

Η συμπεριφορά των μονωτήρων υψηλής τάσης, που χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς και τις γραμμές μεταφοράς, αποτελεί βασικό παράγοντα που σχετίζεται με την αξιοπιστία και ασφαλή λειτουργία ενός δικτύου μεταφοράς. Οι μονωτήρες δεν θα πρέπει μόνο να αντέχουν την ονομαστική τάση λειτουργίας, αλλά και υπερτάσεις που ενδέχεται να προκαλέσουν διαταραχές στο δίκτυο, υπερπηδήσεις, διακοπές γραμμών και γενικά πληθώρα ηλεκτρικών, μηχανικών και περιβαλλοντικών καταπονήσεων.

Η απόδοση των μονωτήρων εξαρτάται από πλήθος παραγόντων με έντονα τοπικό χαρακτήρα, όπως είναι οι συνθήκες περιβάλλοντος, η κατάσταση γήρανσης, το είδος και η γεωμετρία του υλικού. Σημαντικότερος, ίσως, παράγοντας είναι το φαινόμενο της ρύπανσης των μονωτικών επιφανειών από εναέριες εναποθέσεις. Οι επικαθήμενοι ρύποι είναι είτε ήδη αγωγιμοί είτε γίνονται αγωγιμοί με την παρουσία ενός μηχανισμού ύγρανσης, με αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις τη ροή ρεύματος διαρροής διαμέσου του αγωγίμου διαλύματος που έχει σχηματιστεί στην επιφάνεια του μονωτήρα [1]. Το ρεύμα θερμαίνει το μονωτήρα και δημιουργεί ξηρές περιοχές, οι οποίες λόγω της ανομοιόμορφης διαδικασίας εξάτμισης εξελίσσονται σε ξηρές ζώνες μεγάλης αντίστασης που διακόπτουν τη ροή του ρεύματος. Κατά συνέπεια, η υψηλή τάση εφαρμόζεται πλέον στα άκρα των ζωνών και δημιουργεί διάσπαση του αέρα που τις περιβάλλει, με τα εμφανιζόμενα τόξα να είναι από ηλεκτρικής σκοπιάς εν σειρά με την αντίσταση της λοιπής υγρής και αγωγιμής επιφάνειας. Εάν αυτή είναι αρκετά χαμηλή, τα τόξα διατηρούνται και επεκτείνονται, γεφυρώνοντας όλο και μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας. Υπό ευνοϊκές συνθήκες, το φαινόμενο μπορεί να εξελιχθεί σε πλήρη υπερπήδηση του μονωτήρα (flashover) [1]. Κύρια πηγή ρύπανσης θεωρείται η θάλασσα, λόγω μεταφοράς και συσσώρευσης αλατιού στην επιφάνεια των μονωτήρων, με την απόσταση από την ακτή να θεωρείται κυρίαρχος παράγοντας για τον καθορισμό της βαρύτητας της ρύπανσης [2].

Καθώς ένα σφάλμα υπερπήδησης είναι ικανό οδηγήσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε εκτεταμένη διακοπή με πολυδάπανες συνέπειες, με το πέρασμα των χρόνων έχει αναπτυχθεί παγκοσμίως ένα ευρύ φάσμα συσκευών και τεχνικών παρακολούθησης, που στοχεύουν στην έγκαιρη αξιολόγηση της επιφανειακής κατάστασης των μονωτήρων και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους. Οι πιο ευρέως διαδεδομένες είναι [1]: ο μετρητής κατεύθυνσης εναπόθεσης σκόνης (*Directional dust deposit gauge*), η ισοδύναμη πυκνότητα επικάθησης άλατος (*Equivalent Salt Deposit Density - ESDD*), η παρακολούθηση του περιβάλλοντος (*δειγματοληψία αέρα, κλιματολογικές μετρήσεις*), η πυκνότητα μη διαλυτών

επικαθήσεων (*Non-Soluble Deposit Density - NSDD*), η αγωγιμότητα επιφανείας, η τάση υπερπήδησης ανά μονάδα μήκους (*Insulator Flashover stress*) και η μέτρηση του ρεύματος διαρροής.

1.2 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται αρχικά στην ανασκόπηση της παγκόσμιας βιβλιογραφίας σχετικά με το ρεύμα διαρροής, καθώς η εξέλιξη του φαινομένου της ρύπανσης των μονωτήρων αντικατοπτρίζεται στην κυματομορφή του ρεύματος. Κατά συνέπεια, η καταγραφή του είναι ίσως το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την παρακολούθηση και διερεύνηση της συμπεριφοράς των μονωτήρων [1], [2], [3].

Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής αναφορά στην περίπτωση της Κρήτης, που αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα επιβαρυσμένου περιβάλλοντος λόγω των τοπικών περιβαλλοντικών συνθηκών αλλά και της παράκτιας ανάπτυξης του δικτύου. Ως εκ τούτου, έχει επιστρατευτεί η εφαρμογή ποικιλίας διαφορετικών μεθόδων για την διερεύνηση και καταπολέμηση του φαινομένου και διεξάγεται πολύχρονη έρευνα για τη συμπεριφορά των μονωτήρων Υ.Τ., στην οποία συμπεριλαμβάνεται η παρακολούθηση του ρεύματος διαρροής στο πεδίο. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας, θα μελετηθεί η διάταξη που χρησιμοποιείται από τον ΔΕΔΔΗΕ για την καταγραφή του ρεύματος διαρροής στον Υπαίθριο Σταθμό Δοκιμών Υψηλής Τάσης «ΤΑΛΩΣ».

Αναλυτικότερα, διερευνώνται οι δυνατότητες και παρατίθεται αξιολόγηση του νέου καταγραφικού συστήματος (*συσκευή και λογισμικό*), συγκριτικά με τον προκάτοχό του, σε θέματα ευκολίας χρήσης, ευελιξίας, περιορισμών και κόστους λειτουργίας.

1.3 Συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων

Η εργασία χωρίζεται στις ακόλουθες ενότητες:

- **Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή:** το παρόν κεφάλαιο. Δίνεται η γενική περιγραφή του προβλήματος ρύπανσης των μονωτήρων υψηλής τάσης και των σταδίων του φαινομένου υπερπήδησης, προσδιορίζεται ο σκοπός της παρούσας εργασίας και παρατίθεται περιγραφή του περιεχομένου των εννοτήτων που ακολουθούν.
- **Κεφάλαιο 2 - Μέτρηση ρεύματος διαρροής:** στην ενότητα αυτή γίνεται εκτενής ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τους τρόπους μέτρησης του ρεύματος διαρροής, την κατασκευή ειδικών μετρητικών διατάξεων και την ανάπτυξη του λογισμικού που τις ελέγχει, την επεξεργασία των μετρούμενων μεγεθών με χρήση προηγμένων τεχνικών ανάλυσης σημάτων και χρονοσειρών, καθώς και τις μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες πεδίου, είτε σε μονωτήρες του δικτύου είτε σε ειδικά κατασκευασμένους υπαίθριους σταθμούς δοκιμών. Επιπλέον, εξηγείται η συσχέτιση του ρεύματος διαρροής με την επιφανειακή δραστηριότητα, που το καθιστά ιδανικό

διαγνωστικό εργαλείο της συμπεριφοράς κεραμικών και συνθετικών μονωτήρων υψηλής τάσης.

- **Κεφάλαιο 3 - Η περίπτωση της Κρήτης:** στην τρίτη ενότητα αναλύονται οι ιδιαιτερότητες του κρητικού συστήματος μεταφοράς, που επηρεάζουν δυσμενώς την απόδοση των υπαίθριων μονωτικών, οι τεχνικές αντιμετώπισης της ρύπανσης που έχουν επιστρατευτεί, καθώς και η εξέλιξη της μακροχρόνιας έρευνας που λαμβάνει χώρα στο νησί, με πληθώρα μετρήσεων στο πεδίο. Επίσης, παρουσιάζεται ο υπαίθριος σταθμός δοκιμών «ΤΑΛΩΣ».
- **Κεφάλαιο 4 - Αισθητήρες Hall:** η τέταρτη ενότητα ασχολείται με τους λόγους που οδήγησαν στην επιλογή των αισθητήρων Hall ως εργαλείο μέτρησης του ρεύματος διαρροής, δίνεται σύντομη περιγραφή της αρχής λειτουργίας τους (φαινόμενο Hall) και εξετάζεται η γραμμικότητά τους μέσω ενός πειράματος βαθμονόμησης που διεξήχθη στο Φωτοβολταϊκό Πάρκο του ΤΕΙ Κρήτης.
- **Κεφάλαιο 5 - Σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων:** στην ενότητα αυτή παρατίθεται μια συγκριτική παρουσίαση και αξιολόγηση των δύο καταγραφικών συστημάτων (παλιό και νέο), με έμφαση στα προβλήματα που υπαγόρευαν την αντικατάσταση της προηγούμενης συσκευής, τις διευρυμένες δυνατότητες της καινούριας, αλλά και τους περιορισμούς που αυτή διαθέτει.
- **Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα/ Προτάσεις:** στην έκτη ενότητα συνοψίζονται τα τελικά συμπεράσματα από την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής και προτείνονται δράσεις για τη μελλοντική συνέχιση της παρούσας έρευνας από νέους ερευνητές.
- **Κεφάλαιο 7 - Βιβλιογραφία:** η έβδομη ενότητα περιέχει τη λίστα όλων των επιστημονικών εργασιών, βιβλίων και εγχειριδίων που χρησιμοποιήθηκαν ως πηγές κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.
- **Παράρτημα:** η ενότητα του παραρτήματος περιλαμβάνει:
 - Το πλήρες κείμενο της εργασίας που παρουσιάστηκε προφορικά στο Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, κατά τη σύγκλιση του 5^{ου} Τακτικού Εθνικού Συνεδρίου Μετρολογίας στις 9-10 Μαΐου 2014.
 - Το εκτενές εγχειρίδιο χρήσης της συσκευής και του λογισμικού του νέου καταγραφικού συστήματος DI-722-32 που συντάχθηκε ύστερα από διερεύνηση των δυνατοτήτων του, προς διευκόλυνση των επόμενων χρηστών.
 - Το φυλλάδιο του σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ».
 - Το μπλοκ διάγραμμα και το front panel του προγράμματος που σχεδιάστηκε, σε περιβάλλον LabVIEW, για τη διασύνδεση του λογισμικού LabVIEW με το λογισμικό της συσκευής DI-722-32.

- Την επιστολή που απεστάλη προς την τεχνική υποστήριξη της εταιρείας (*DATAQ Support*), όταν το παραπάνω πρόγραμμα εμφάνισε προβλήματα λειτουργίας.
- Την περιγραφή του προβλήματος λειτουργίας, μέσω εικόνων, όπως ακριβώς εστάλη στο *DATAQ Support*.
- Τα αντίστοιχα προβλήματα λειτουργίας του προγράμματος που σχεδιάστηκε, σε περιβάλλον *MATLAB*, για τη διασύνδεση του λογισμικού *MATLAB* με το λογισμικό της συσκευής *DI-722-32*.
- Ένα μικρό άλμπουμ από προσωπικές φωτογραφίες που απεικονίζουν τον ευρύτερο χώρο του σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ»

Κεφάλαιο 2 • Μέτρηση ρεύματος διαρροής

2.1 Εισαγωγή

Η καταγραφή του ρεύματος διαρροής είναι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την παρακολούθηση και διερεύνηση της συμπεριφοράς των μονωτήρων υψηλής τάσης [1], [2], [3]. Οι παράμετροι που παρακολουθούνται και καταγράφονται είναι μία ή περισσότερες εκ των ακόλουθων:

- Μέγιστη θετική και αρνητική κορυφή εντός προκαθορισμένου διαστήματος.
- Αριθμός παλμών ρεύματος που υπερβαίνουν επιλεγμένα κατώφλια πλάτους (bin counting).
- Μέση και rms τιμή ρεύματος διαρροής εντός προκαθορισμένου διαστήματος.
- Κυματομορφές ρεύματος διαρροής.
- Θετικό και αρνητικό φορτίο (σε Coulomb) που ρέει πάνω στο μονωτήρα εντός προκαθορισμένου διαστήματος (ολοκλήρωμα του ρεύματος).
- Ολοκλήρωμα του τετραγώνου του ρεύματος (σε Coulomb ampere) εντός προκαθορισμένου διαστήματος.
- Πραγματική απώλεια ισχύος (σε Watts) πάνω στο μονωτήρα εντός προκαθορισμένου διαστήματος (εάν είναι διαθέσιμη η κυματομορφή της τάσης τροφοδοσίας).

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά η εξέλιξη των μετρήσεων και των μετρητικών διατάξεων σε βάθος χρόνου σε όλο τον κόσμο, από πολλές διαφορετικές ερευνητικές ομάδες, που οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των μονωτήρων Υ.Τ. και την αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσής τους.

2.2 Ανασκόπηση παγκόσμιας βιβλιογραφίας

2.2.1 Οι πρώτες δημοσιευμένες έρευνες (1970-1989)

Ήδη από τη δεκαετία του 1970 η ρύπανση των μονωτήρων υψηλής τάσης αποτελούσε πονοκέφαλο για τους διαχειριστές των δικτύων μεταφοράς. Οι McElroy *et al.* [4], στα πλαίσια ενός προγράμματος για τη μελέτη της ρύπανσης των μονωτήρων στο πεδίο και τη βαθύτερη διερεύνηση της διαδικασίας υπερπήδησης, μέτρησαν, σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο υδατονέφωσης, μέγιστες και RMS τιμές

του ρεύματος διαρροής μονωτήρων ανάρτησης με χρήση παλμογράφου. Οι Phan and Hara [5], μελετώντας σε εργαστηριακή προσομοίωση την υπερπήδηση κεραμικών μονωτήρων καλυμμένων με πάγο, έκαναν μια εκτίμηση για κάθε τύπο μονωτήρα σχετικά με το “κατώφλι” ρεύματος διαρροής (σε mA), πάνω από το οποίο οι υπερπηδήσεις φαίνεται να λαμβάνουν χώρα.

Την επόμενη δεκαετία, οι Habib, Khalifa *et al.* [6], [7] κατασκεύασαν, με τη βοήθεια ενός τοροειδούς, ειδική συσκευή με μετρητή για την ανίχνευση και καταγραφή των παλμών του ρεύματος διαρροής, οι οποίοι υπερέβαιναν μια προκαθορισμένη κρίσιμη τιμή (*κατώφλι*). Ο στόχος της εφαρμογής ήταν να ειδοποιείται το συνεργείο συντήρησης του δικτύου, μέσω συναγερμού, όποτε ο αριθμός των παλμών που ξεπερνούσαν το κατώφλι, εντός καθορισμένου χρονικού διαστήματος, ήταν μεγαλύτερος από τον ορισμένο ως επιτρεπτό. Η συσκευή δοκιμάστηκε στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Πανεπιστημίου Καΐρου σε συνθήκες εργαστηριακής προσομοίωσης της ρύπανσης ερήμου. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, παρατηρήθηκαν σε παλμογράφο οι κυματομορφές του ρεύματος.

Τέλος, οι Kim, Cherney and Hackam [8] μελέτησαν στο εργαστήριο τις ηλεκτρικές επιδόσεις μονωτήρων επικαλυμμένων με RTV-SIR (*Room Temperature Vulcanized Silicone Rubber*) συγκριτικά με άλλες επικαλύψεις, καθώς τότε επρόκειτο για σχετικά καινούρια τεχνολογία, μετρώντας για το σκοπό αυτό τη στιγμιαία μέγιστη και τη μέση τιμή του ρεύματος διαρροής. Είναι οι πρώτοι που αναφέρουν τη χρήση ενός συστήματος συλλογής δεδομένων (*Data acquisition system – DAS*) για τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία των μετρήσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, με τη βοήθεια ενός μετατροπέα αναλογικού-σε-ψηφιακό (*A/D*).

2.2.2 Η δεκαετία 1990 – 1999

Η ερευνητική ομάδα του πανεπιστημίου του Γουίντσφορ (Kim, Cherney, Hackam, Deng), στο Οντάριο του Καναδά, δεσπόζει στις μελέτες αυτής της περιόδου, με πληθώρα δημοσιεύσεων σε επιστημονικά περιοδικά [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16] και συμμετοχών σε διεθνή συνέδρια [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]. Κεντρικός άξονας της έρευνάς τους είναι η επιλογή, η εφαρμογή και οι επιδόσεις των επικαλύψεων RTV για κεραμικούς μονωτήρες σε σύγκριση με μη επικαλυμμένους, μελετώντας στο εργαστήριο την επίδραση διαφόρων παραμέτρων, όπως το πάχος επίστρωσης, το υπόστρωμα, η προσθήκη υγρής σιλικόνης κ.α. Για το σκοπό αυτό επιστράτευσαν, ως εργαλείο, και τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής (*στιγμιαία μέγιστη τιμή, μέση τιμή και συνολικό φορτίο*), εισάγοντας σε ένα DAS την πτώση τάσης κατά μήκος αντίστασης εν σειρά συνδεδεμένης με τα προς εξέταση δείγματα. Επιπλέον, ερεύνησαν σε βάθος το φαινόμενο απώλειας και ανάκτησης υδροφοβίας στις επικαλύψεις RTV-SIR, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη του ρεύματος διαρροής είναι συνώνυμη της απώλειας υδροφοβίας.

Οι Gorur, Karady, Shah *et al.*, στο πολιτειακό πανεπιστήμιο της Αριζόνα των ΗΠΑ, κινήθηκαν στα ίδια πλαίσια [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], συγκρίνοντας σε εργαστηριακές συνθήκες προσομοίωσης τις ηλεκτρικές επιδόσεις διαφόρων συνθετικών επικαλύψεων για κεραμικούς μονωτήρες, καθώς και τις διαφορετικές συμπεριφορές μεταξύ συνθετικών και πορσελάνινων μονωτήρων, καταλήγοντας στον προσδιορισμό ενός νέου μηχανισμού υπερπήδησης 8 σταδίων που εξηγεί την ανωτερότητα των συνθετικών μονωτήρων έναντι των κεραμικών. Μετρώντας το ρεύμα διαρροής ως πτώση τάσης κατά μήκος μίας αντίστασης ακριβείας, χρησιμοποίησαν ψηφιακό παλμογράφο συνδεδεμένο με Η/Υ για να μελετήσουν

τους παλμούς του ρεύματος διαρροής, αλλά και να παρακολουθήσουν στις κυματομορφές τη διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος καθώς και τις αυξομειώσεις του πλάτους. Στη συνέχεια εφάρμοσαν συχνοτική ανάλυση στην κυματομορφή του ρεύματος διαρροής, επισημαίνοντας τη σημαντική άνοδο του πλάτους της 3^{ης} αρμονικής συχνότητας ακριβώς πριν την υπερπήδηση του μονωτήρα. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώθηκε και από θεωρητικές κυματομορφές του ρεύματος διαρροής [32], οι οποίες προέκυψαν από την κατασκευή ενός δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης των ξηρών ζωνών και των τόξων στην επιφάνεια ενός ρυπασμένου μονωτήρα που οδεύει προς υπερπήδηση. Επιπροσθέτως, οι Gorur and Bernstein [33], [34] έκαναν μετρήσεις ρεύματος διαρροής και στο πεδίο (δηλαδή σε πραγματικές συνθήκες), στα πλαίσια ενός προγράμματος για την κατανόηση της γήρανσης των πολυμερών τερματικών που χρησιμοποιούνται στους αγωγούς διανομής. Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε πέντε υπαίθριες τοποθεσίες σε ισάριθμες πολιτείες των ΗΠΑ, με παράλληλη εκτέλεση εργαστηριακών μετρήσεων αναφοράς. Η διάταξη μέτρησης περιλάμβανε αντίσταση ακριβείας (για τη μέτρηση της τάσης κατά μήκος της), σύστημα προστασίας από υπέρταση, τηλεφωνική γραμμή για τη μεταφορά και αποθήκευση των δεδομένων σε Η/Υ στο πανεπιστήμιο της Αριζόνα, και ανάπτυξη λογισμικού σε περιβάλλον Labview, για την ταξινόμηση των παλμών του ρεύματος σε τέσσερα διαφορετικά κατώφλια πλάτους και τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου.

Οι Fernando, Gubanski *et al.* του πανεπιστημίου Τσάλμερς, στο Γκέτεμποργκ της Σουηδίας, αποτελούν τη σημαντικότερη ευρωπαϊκή ερευνητική ομάδα της δεκαετίας [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41]. Στις εργαστηριακές μετρήσεις που διεξήγαγαν χρησιμοποίησαν διαφόρων ειδών κεραμικούς, επικαλυμμένους κεραμικούς και συνθετικούς μονωτήρες, που είχαν ρυπανθεί είτε με τεχνητά μέσα (σε κλιματικό θάλαμο) είτε φυσικά, έχοντας ηλεκτρισθεί ή απλώς αφεθεί εκτεθειμένοι για αρκετά χρόνια, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος, σε περιοχές με τροπικό κλίμα (Σρι Λάνκα, Τανζανία). Για τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής (κυματομορφή, διασπορά τιμών, συνολικό φορτίο και διαφορά φάσης τάσης – ρεύματος) χρησιμοποίησαν ψηφιακό παλμογράφο και αντίσταση γείωσης, εν σειρά με τα προς εξέταση δείγματα, ενώ η αποθήκευση και ανάλυση των αποτελεσμάτων γινόταν σε Η/Υ σε περιβάλλον Labview. Είναι οι πρώτοι που παρατήρησαν την παραμόρφωση των ημιτονοειδών κυματομορφών του ρεύματος διαρροής καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται, και για το λόγο αυτό σχεδίασαν ειδικό νευρωνικό δίκτυο, υλοποιώντας τον μετασχηματισμό Fast Fourier Transform – FFT, για την αναγνώριση και ταξινόμηση των κυματομορφών (σε ημιτονοειδείς και μη) και για την παρακολούθηση των λόγων πλάτους 3^{ης} και 5^{ης} αρμονικής ως προς τη θεμελιώδη. Επιπλέον, ανέπτυξαν ένα κυκλωματικό μοντέλο που προσομοιώνει την επιφάνεια του μονωτήρα και συνέκριναν θεωρητικές και πειραματικές κυματομορφές του ρεύματος διαρροής.

Οι Windmar *et al.* [42], επίσης στη Σουηδία, μέτρησαν, μέσω αντίστασης γείωσης, στιγμιαίες τιμές ρεύματος διαρροής ξεχωριστά για τη θεμελιώδη (50Hz) και τις υψηλές συχνότητες (10kHz – 500kHz), σε μία προσπάθεια σύγκρισης και κατάταξης μεταξύ των διαφόρων μονωτικών επικαλύψεων για κεραμικούς μονωτήρες στο εργαστήριο. Αντιθέτως, οι Vlastos *et al.* [43], [44], [45] ερεύνησαν την ηλεκτρική συμπεριφορά και τη γήρανση των συνθετικών μονωτήρων με μετρήσεις στο πεδίο, στον ειδικά διαμορφωμένο υπαίθριο σταθμό δοκιμών του πανεπιστημίου Τσάλμερς στο Άνεμπεργκ, στη δυτική ακτή της Σουηδίας. Για τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής (πλάτος, διάρκεια και πλήθος παλμών) χρησιμοποίησαν αρχικά αντίσταση γείωσης και βολτόμετρο συνδεδεμένο σε Η/Υ, ενώ οι μετρήσεις

λάμβαναν χώρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Στην πορεία το σύστημα μέτρησης εξελίχθηκε [44], με τη χρήση ενός DAS 20 καναλιών, για την παράλληλη καταγραφή ρευμάτων διαρροής και καιρικών συνθηκών, με τα δεδομένα να αποθηκεύονται προσωρινά σε αρχεία 24ώρου στον Η/Υ του σταθμού δοκιμών, και έπειτα να μεταφέρονται μαζικά μέσω γραμμής τηλεπικοινωνιών στον κεντρικό Η/Υ του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του πανεπιστημίου Τσάλμερς, για περαιτέρω ανάλυση και στατιστική επεξεργασία, με τη βοήθεια ενός λογισμικού συντεταγμένου σε Basic/Linux.

Γενικότερα, την περίοδο αυτή, πολλοί ερευνητές ανά τον κόσμο προσπάθησαν να αναπτύξουν πιο εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης της συμπεριφοράς των μονωτήρων. Οι Richards and Renowden [46], με αφορμή την απεριοδική εμφάνιση μεγάλης έκτασης διακοπών σχετιζόμενων με τη ρύπανση στο δίκτυο της Φλόριντα των ΗΠΑ, ανέπτυξαν σύστημα παρακολούθησης των μέγιστων τιμών του ρεύματος διαρροής, το οποίο ελέγχθηκε τόσο σε εργαστηριακές προσομοιώσεις όσο και σε ενεργές γραμμές μεταφοράς. Η διάταξη περιλάμβανε ωμικό καταμεριστή και DAS υψηλών ταχυτήτων με τεχνολογία οπτικών ινών. Στην Αυστραλία, οι Shihab *et al.* [47] και οι Pokaner *et al.* [48] χρησιμοποίησαν επίσης οπτικές ίνες στις διατάξεις που ανέπτυξαν, εκμεταλλευόμενοι την αρχή της οπτικής απομόνωσης για την προστασία των καταγραφικών συσκευών από την υψηλή τάση σε περίπτωση σφάλματος. Οι πρώτοι [47] κατασκεύασαν σύστημα στο οποίο τα δεδομένα του αισθητήρα ρεύματος (*ο οποίος αποτελείται από χάλκινο δαχτυλίδι συλλογής που γειώνεται μέσω αντίστασης*) εισέρχονται αρχικά σε ένα μετατροπέα RMS-to-DC και έπειτα σε μετατροπέα Voltage-to-Frequency. Η αλληλουχία παλμών που παράγεται εισέρχεται σε ηλεκτρο-οπτικό μετατροπέα και στη συνέχεια μεταδίδεται μέσω οπτικού καλωδίου σε απομακρυσμένο DAS συνδεδεμένο με Η/Υ, προς αποθήκευση και ανάλυση μέσω ειδικά ανεπτυγμένου λογισμικού. Οι δεύτεροι [48] εφάρμοσαν μία πιο παράξενη τακτική, χρησιμοποιώντας για τις μετρήσεις ρεύματος διαρροής στο πεδίο κεραμικούς μονωτήρες, εν σειρά με τους προς εξέταση συνθετικούς. Παράλληλα στους κεραμικούς μονωτήρες συνδέθηκαν μετατροπείς ρεύματος, η έξοδος των οποίων, ύστερα από έναν μετατροπέα A/D, μεταφερόταν μέσω οπτικών ινών σε κεντρική συσκευή αποθήκευσης και επεξεργασίας.

Συστήματα συνεχούς παρακολούθησης του ρεύματος διαρροής των μονωτήρων υψηλής τάσης αναπτύχθηκαν και στο Μεξικό. Οι Fierro-Chavez *et al.* [49] εγκατέστησαν σε διάφορους πυλώνες του δικτύου μεταφοράς πειραματική διάταξη για τον προσδιορισμό των βασικών χαρακτηριστικών του ρεύματος διαρροής (*bin counting, αποσπασματική καταγραφή κυματομορφών και συχνοτική ανάλυση*), η οποία αποτελείτο από μετατροπέα ρεύματος συνδεδεμένο μέσω ομοαξονικού καλωδίου με DAS τροφοδοτούμενο από ηλιακό πάνελ. Οι Ramirez-Nino *et al.* [50] κατασκεύασαν και δοκίμασαν σε συνθήκες εργαστηριακής προσομοίωσης συσκευή για την παρακολούθηση και καταγραφή του ρεύματος διαρροής για δύο συνεχείς μήνες, χωρίς ανάγκη εξωτερικής παρέμβασης. Η συσκευή χωρίζεται σε δύο διακριτά μέρη, που συνδέονται μεταξύ τους για λόγους ηλεκτρικής απομόνωσης με οπτικές ίνες: τον πομπό, δηλαδή το μετατροπέα ρεύματος, και το δέκτη, δηλαδή τη μονάδα που λαμβάνει και επεξεργάζεται τα δεδομένα του ρεύματος διαρροής (*κορυφές ρεύματος, εξαγωγή μέσης τιμής ρεύματος ανά δύο ώρες, αποστολή δεδομένων μέσω σειριακής πύλης στο χειριστή του συστήματος*).

Οι Ιάπωνες συμμετείχαν ενεργά στην εξέλιξη των ερευνών. Οι Isaka *et al.* [51] ανέπτυξαν σύστημα για την οπτική παρακολούθηση των μερικών εκκενώσεων στην επιφάνεια των μονωτήρων υψηλής τάσης και την ταυτόχρονη μέτρηση του αντίστοιχου ρεύματος διαρροής (*χρόνος εμφάνισης, τιμή, διάρκεια και συνολικό*

φορτίο). Η αποτελεσματικότητα της διάταξης ελέγχθηκε στο εργαστήριο κατά τη διάρκεια δώρων δοκιμών, με τη μέτρηση του ρεύματος να γίνεται μέσω αντίστασης γείωσης συνδεδεμένης σε μετατροπέα A/D και έπειτα σε Η/Υ, όπου το λογισμικό επεξεργασίας των αποτελεσμάτων υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Basic. Οι Sugawara, Hokari *et al.* [52], [53], [54] επιχειρούν να μετρήσουν τη στιγμιαία αντίσταση διαρροής δύο διαφορετικών τύπων μονωτήρων στο πεδίο, σε ειδικά διαμορφωμένους σταθμούς υπαίθριων δοκιμών στην παραθαλάσσια περιοχή Ρουμίου. Για τη μέτρηση της στιγμιαίας αντίστασης διαρροής είναι απαραίτητο το στιγμιαίο ρεύμα διαρροής, το οποίο μετρήθηκε ως πτώση τάσης κατά μήκος αντίστασης με χρήση ψηφιακού πολυμέτρου, ενώ στη συνέχεια τα δεδομένα συλλέγονταν με DAS ελεγχόμενο από Η/Υ. Οι Iwai *et al.* [55] προχώρησαν στην ανάπτυξη μιας μικρού μεγέθους συσκευής μέτρησης των στιγμιαίων τιμών του ρεύματος διαρροής, ώστε να είναι εύχρηστη στην παρακολούθηση μονωτήρων των εναέριων γραμμών μεταφοράς. Η συσκευή δοκιμάστηκε στο πεδίο, στις ευρύτερες εγκαταστάσεις της θερμικής μονάδος παραγωγής ενέργειας στο Ατσούμι, και αποτελείται από έναν αισθητήρα ρεύματος και μία κάρτα μνήμης για την αποθήκευση των μετρήσεων ανά προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Αντιθέτως, οι Sato *et al.* [56] περιορίστηκαν σε εργαστηριακές μετρήσεις των υψηλότερων κορυφών του ρεύματος διαρροής τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων, καθώς και των κυματομορφών που τις συνοδεύουν, εφαρμόζοντας σε αυτές φασματική ανάλυση με τη χρήση της μεθόδου αυτοπαλινδρόμησης (*auto-regressive method*). Στο εργαστήριο εργάστηκε και ο Suda [57], ο οποίος επικεντρώθηκε στη μελέτη των κυματομορφών του ρεύματος διαρροής και των συχνοτικών χαρακτηριστικών τους, προτείνοντας έξι στάδια για την ταξινόμηση των κυματομορφών που προκύπτουν καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται. Ένα σημαντικό συμπέρασμα στο οποίο οδηγήθηκε ήταν ότι η εμφάνιση ισχυρών τόξων στην επιφάνεια των μονωτήρων είναι συνυφασμένη με συμμετρικές κυματομορφές ρεύματος, και άρα μεγάλου πλάτους περιπτές αρμονικές συχνότητες ($3^{\text{η}}$ – $5^{\text{η}}$).

Σημαντικές μετρήσεις στο πεδίο έλαβαν χώρα από ερευνητές στη Νότια Αφρική. Οι Vosloo *et al.* [58], [59], [60] και Bologna *et al.* [61], στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος της κρατικής εταιρείας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ESKOM), διεξήγαγαν μετρήσεις του ρεύματος διαρροής (*μέγιστη/ μέση και RMS τιμή, άθροισμα θετικών και αρνητικών κορυφών, άθροισμα τετραγώνων κορυφών, bin counting, συνολικό φορτίο, συνολική ενέργεια και ισχύς, αποσπασματικές κυματομορφές*) σε ειδικά διαμορφωμένους σταθμούς δοκιμών στο Κέμπεργκ (*Koeberg Insulator Pollution Test Station – KIPTS*) και στην επαρχία Νατάλ (*Κέλσο, Μπουαμπάτουμπα και Κλάνσθαλ*). Επιπλέον, μελέτησαν εκτενώς τα μοτίβα των κυματομορφών του ρεύματος διαρροής σε μονωτήρες με φυσική ρύπανση, σε μια προσπάθεια βαθύτερης κατανόησης των μηχανισμών που οδηγούν στην υπερπήδηση. Η συγκεκριμένη ερευνητική ομάδα χρησιμοποιεί για τις μετρήσεις του ρεύματος ένα ειδικά κατασκευασμένο καταγραφικό σύστημα (*OLCA της CTLab*), το οποίο θα παρουσιαστεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.

Τέλος, εργαστηριακές μετρήσεις του ρεύματος διαρροής διεξήχθησαν στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Κορέα και το Ισραήλ. Οι Williams *et al.* [62], στο Κάρντιφ της Ουαλίας, παρατήρησαν, σε ψηφιακό παλμογράφο, κυματομορφές της τάσης (*μέσω χωρητικού καταμεριστή*) και του ρεύματος διαρροής (*μέσω αντίστασης μέτρησης*) ταυτόχρονα, ενώ με τη βοήθεια μιας υψηλής ευκρίνειας κάμερας προσπάθησαν να βιντεοσκοπήσουν τις εκκενώσεις στην επιφάνεια των μονωτήρων, με σκοπό την απόκτηση συγχρονισμένων οπτικών και ηλεκτρικών καταγραφών, για τη μελέτη του σχηματισμού και της εξέλιξης των ξηρών ζωνών. Οι Huh and Youn [63], στο

πανεπιστήμιο Ίνχα της Κορέας, μελέτησαν την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις ηλεκτρικές ιδιότητες των μονωτήρων, μετρώντας τη μέση τιμή, τον αριθμό κορυφών και το ολοκλήρωμα του ρεύματος διαρροής με τη βοήθεια ενός DAS συνδεδεμένου με Η/Υ. Οι Munteanu [64] and Kaidanov [65], από την εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Ισραήλ, κατέγραψαν στο εργαστήριο τις κυματομορφές του ρεύματος διαρροής μονωτήρων που είχαν εκτεθεί σε φυσική ρύπανση, χρησιμοποιώντας αντίσταση γείωσης και παλμογράφο με εσωτερική μνήμη. Παρατήρησαν και αυτοί την παραμόρφωση του ημιτόνου καθώς εξελίσσεται το φαινόμενο, και κατασκεύασαν διαγράμματα ρεύματος – τάσης υπερπήδησης, ερευνώντας την ύπαρξη κατωφλίου τιμών κάτω από το οποίο η πιθανότητα υπερπήδησης του μονωτήρα ελαχιστοποιείται. Το ρεύμα διαρροής παρακολουθείτο, μαζί με περιβαλλοντικές μετρήσεις και μετρήσεις υδροφοβίας, και σε υπαίθριο σταθμό δοκιμών στην έρημο Νεγκέβ. Αξίζει, επίσης, να αναφερθεί η πρώτη έρευνα με συγκριτικά αποτελέσματα από έξι διαφορετικά εργαστήρια [66], με στόχο της αξιολόγησης της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των επικαλύψεων RTV-SIR μέσω τυποποιημένων εργαστηριακών δοκιμών, που περιλάμβαναν και τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής (*bin counting* και *συνολικό φορτίο*).

2.2.3 Η πενταετία 2000 – 2004

Με την αλλαγή της χιλιετίας νέες ερευνητικές ομάδες έρχονται στο προσκήνιο, αλλά και πολλές από τις ήδη υπάρχουσες συνεχίζουν και εξελίσσουν το έργο τους. Σημαντική πρόοδος παρατηρείται στην Ινδία, με τρεις ομάδες να εγκαινιάζουν αυτόν τον ερευνητικό τομέα στη χώρα. Οι Devendranath *et al.* [67], [68] έθεσαν ως στόχο να επιτύχουν εργαστηριακές δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης μονωτήρων με όσο το δυνατόν καλύτερη απομίμηση των πραγματικών συνθηκών πεδίου. Παρακολούθησαν την εξέλιξη του φαινομένου και την επίδραση των διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων μετρώντας το ρεύμα διαρροής στην επιφάνεια των τεχνητά γηρασμένων μονωτήρων (*μέση τιμή, bin counting, συνολικό φορτίο, ολοκλήρωμα τετραγώνου ρεύματος*), με τη χρήση ενός DAS ελεγχόμενου από Η/Υ μέσω ειδικά σχεδιασμένου λογισμικού Labview. Επιπλέον, επιχείρησαν να μελετήσουν την απώλεια και ανάκτηση υδροφοβικής συμπεριφοράς των επικαλύψεων RTV, όταν το ρεύμα διαρροής διατηρείτο κάτω από 1mA (*ρεύμα corona*) [69]. Αντιθέτως, οι Subba Reddy and Nagabhushana [70] ξεκίνησαν την έρευνά τους από τους κεραμικούς μονωτήρες, μελετώντας τη συμπεριφορά του ρεύματος διαρροής τεχνητά ρυπασμένων μονωτήρων πάνω σε κενά 5 εκατοστών κατά μήκος της επιφάνειάς τους. Οι Sarathi *et al.* [71], [72], [73], [74] επιστράτευσαν προηγμένες τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας σήματος, για να επεξεργαστούν κυματομορφές ρεύματος διαρροής διαφόρων μονωτικών υλικών, τις οποίες ανάκτησαν σε συνθήκες εργαστηριακής προσομοίωσης μέσω αντίστασης γείωσης και ψηφιακού παλμογράφου συνδεδεμένου με Η/Υ. Εκτός από την ανάλυση Fourier (*FFT*), χρησιμοποίησαν το μετασχηματισμό Wavelet, ο οποίος πλεονεκτεί καθώς δίνει πληροφορίες τόσο για το πεδίο του χρόνου όσο και για το πεδίο της συχνότητας του σήματος, αλλά και την τεχνική αποσύνθεσης σήματος πολλαπλής ανάλυσης (*Multiresolution Signal Decomposition Technique*). Και οι δύο αυτές μέθοδοι παράγουν ένα “αποτύπωμα” της κατάστασης της μονωτικής επιφάνειας, ανάλογο του σταδίου της κυματομορφής, γεγονός που βοήθησε την ερευνητική ομάδα στην κατασκευή νευρωνικού δικτύου για την αυτόματη ταξινόμηση των μονωτικών επιφανειών σύμφωνα με το στάδιο γήρανσής τους.

Η συστηματική χρήση τεχνικών στατιστικής ανάλυσης τιμών και επεξεργασίας σήματος κάνει την εμφάνισή της και στην ερευνητική ομάδα του πολιτειακού πανεπιστημίου της Αριζόνα, ως εργαλείο στην προσπάθεια πρόβλεψης των υπερπηδησεων. Οι Karady, Amarh *et al.* συνέλεξαν εργαστηριακές μετρήσεις κορυφών του ρεύματος διαρροής, μέσω ενός Labview DAS, τη συμπεριφορά των οποίων ανέλυσαν χρησιμοποιώντας θεωρία ακραίων τιμών (*Extreme Value Theory – EVT*) [75], ανάλυση διασταύρωσης επιπέδων (*level crossing analysis*) [76] και γραμμική στοχαστική ανάλυση (*linear stochastic analysis*) [77], ενώ οι Venkataraman and Gorur [78], προσπαθώντας να προβλέψουν στο εργαστήριο την έναρξη του σφάλματος στο μονωτικό υλικό, προτίμησαν τη χρήση του διακριτού μετασχηματισμού Daubechies wavelet. Ο Amarh, μάλιστα, στη διδακτορική του διατριβή [79], όπου καταπιάνεται με την ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος μέτρησης ικανού να παρακολουθεί τη συσσώρευση ρύπανσης ενός μονωτήρα μέσω των χαρακτηριστικών αλλαγών στο ρεύμα διαρροής, επισημαίνει ότι οι τυχαίες διακυμάνσεις στο πλάτος, το σχήμα και το συχνοτικό φάσμα των κυματομορφών είναι αυτές που επιβάλλουν τη χρήση στατιστικών (*πιθανολογικών*) μεθόδων ανάλυσης.

Οι Kumagai and Yoshimura προέβησαν και αυτοί σε χρήση τεχνικών επεξεργασίας σήματος, στο πανεπιστήμιο Ακίτα της Ιαπωνίας. Ενώ αρχικά αντιμετώπισαν το ρεύμα διαρροής ως εργαλείο για την εργαστηριακή αξιολόγηση των επιδόσεων διαφορετικών επικαλύψεων για κεραμικούς μονωτήρες [80], [81], [82], μετρώντας απλά τις κορυφές του μέσω μιας αντίστασης γείωσης και ενός ψηφιακού παλμογράφου, στη συνέχεια προχώρησαν στη μελέτη αυτής καθαυτής της κυματομορφής του ρεύματος [83], [84]. Αφού καθόρισαν μια διαδικασία διαχωρισμού του ρεύματος στις συνιστώσες του (*αγώγιμο ημιτονοειδές ρεύμα, ρεύμα τόξων ξηρών ζωνών (παραμορφωμένο ημίτονο) και οι συνιστώσες μετάβασης μεταξύ των δύο*), εφάρμοσαν το μετασχηματισμό Wavelet για περαιτέρω ανάλυση και κατασκεύασαν ένα πρωτότυπο σύστημα, βασιζόμενο σε νευρωνικό δίκτυο, για την εκτίμηση της κατάστασης επιφανείας των μονωτήρων, αντλώντας πληροφορίες αποκλειστικά από το ρεύμα διαρροής. Αλγόριθμο για το διαχωρισμό του ρεύματος στις συνιστώσες του δημιούργησαν και οι Hikita *et al.* [85], [86], [87], ορίζοντας ένα δείκτη παραμόρφωσης της κυματομορφής (“S”). Μετρώντας σε εργαστηριακές δοκιμές το ρεύμα διαρροής ως πτώση τάσης κατά μήκος αντίστασης, αρχικά θεώρησαν ότι χωρίζεται σε δύο βασικές συνιστώσες (*αγώγιμο ημιτονοειδές ρεύμα και ρεύμα τόξων ξηρών ζωνών*), αναπτύσσοντας πρωτότυπη μετρητική διάταξη για την αναγνώριση και το διαχωρισμό των συνιστωσών. Ωστόσο στη συνέχεια συμφώνησαν με το μοντέλο τριών συνιστωσών και προσάρμοσαν αντίστοιχα την υλοποιημένη σε Labview διάταξή τους, η οποία επιπλέον εξελίχθηκε να λειτουργεί με λογική απομακρυσμένου ελέγχου μέσω ενσύρματων αλλά και ασύρματων διαδικτυακών γραμμών. Η διάταξη δοκιμάστηκε με επιτυχία και στο πεδίο.

Την περίοδο αυτή στην Ιαπωνία έδρασαν και άλλοι ερευνητές. Οι Otsubo, Honda *et al.* [88], [89], [90] μέτρησαν στο εργαστήριο το συνολικό φορτίο και τις κυματομορφές ρεύματος πολυμερικών επιφανειών, τις οποίες διαχώρισαν σε τρεις συνιστώσες (*αγώγιμο ρεύμα, ρεύμα εκκένωσης τόξων ξηρών ζωνών και ρεύμα εκκένωσης corona*), με τη βοήθεια του μετασχηματισμού FFT και της διαφορικής μεθόδου. Τη λογική διαχωρισμού σε τρεις συνιστώσες ακολούθησαν και οι Marungsri *et al.* [91] στο πανεπιστήμιο Χούμπου, σε εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης επικαλύψεων SIR για κεραμικούς μονωτήρες, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα τόξα ξηρών ζωνών είναι η συνιστώσα εκείνη που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για την επιδείνωση της κατάστασης επιφανείας των πολυμερών.

Ωστόσο, ο Suda [92] περιορίστηκε και πάλι στη συχνοτική ανάλυση των κυματομορφών που κατέγραψε με τη βοήθεια ενός μετατροπέα ρεύματος και ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Κεντρικού Ινστιτούτου Ερευνών του Τόκιο. Έχοντας καθορίσει (σε προηγούμενο στάδιο της έρευνάς του [57]) έξι στάδια για την ταξινόμηση των κυματομορφών που προκύπτουν καθώς ο μονωτήρας οδεύει προς υπερπήδηση, παρατήρησε ότι η ένταση των περιπτώσεων αρμονικών συχνοτήτων (θεμελιώδης, 3^η – 7^η) αυξάνεται συνεχώς στα στάδια 2 – 6 και μαζί τους αυξάνεται και η πιθανότητα υπερπήδησης, όταν τα πλάτη των αρμονικών αυτών ξεπεράσουν ένα συγκεκριμένο κατώφλι.

Στην ευρύτερη περιοχή της νοτιοανατολικής Ασίας εμφανίζονται νέες ερευνητικές ομάδες (Ταϊβάν, Κορέα, Μαλαισία). Οι Wang *et al.* [93] πραγματοποίησαν μετρήσεις των δραστηριοτήτων του ρεύματος διαρροής σε επικαλύψεις RTV για διάστημα τριών χρόνων σε πραγματικές συνθήκες, στο δίκτυο της πόλης Σου-Λιν της Ταϊβάν, χρησιμοποιώντας γραμμικό μετασχηματιστή ρεύματος συνδεδεμένο με DAS ελεγχόμενο από Η/Υ. Οι Kim *et al.* [94] στην Κορέα παρατήρησαν και ανέλυσαν τις διακυμάνσεις του ρεύματος διαρροής (μέση και rms τιμή, συνολικό φορτίο, bin counting, συχνοτική ανάλυση FFT της κυματομορφής) κατά τη διάρκεια τυποποιημένων εργαστηριακών δοκιμών, αναφέροντας ότι το συνολικό φορτίο και οι κορυφές του ρεύματος πιθανώς να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ποσοτικοί δείκτες του επερχόμενου σφάλματος. Οι Piah, Darus *et al.* στη Μαλαισία, εκτός από την ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου για το συσχετισμό του ρεύματος διαρροής και του ηλεκτρικού πεδίου με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους [95], κατασκεύασαν και ένα εξελιγμένο μετρητικό σύστημα [96] για την παρακολούθηση και καταγραφή των κυματομορφών κατά τη διάρκεια χρονοβόρων τυποποιημένων εργαστηριακών δοκιμών σε μονωτήρες παντός τύπου. Η διάταξη, που τοποθετήθηκε εντός κλωβού Faraday για τον αποκλεισμό του εργαστηριακού θορύβου, περιλάμβανε μετρητική αντίσταση γείωσης, μετατροπέα A/D συνδεδεμένο με Η/Υ και λογισμικό επεξεργασίας και αποθήκευσης σε περιβάλλον Labview, το οποίο εκτελούσε συχνοτική ανάλυση DFT (*discrete Fourier Transform*) παράλληλα με την καταγραφή της μετρούμενης κυματομορφής.

Μετρήσεις του ρεύματος διαρροής στη Μαλαισία, σε πυλώνες του δικτύου μεταφοράς της πόλης Κουαντάν στην επαρχία Παχάνγκ, διεξήγαγε και η εταιρία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Powerlink, που δραστηριοποιείται στο Κουήνσλαντ της Αυστραλίας [97], για να ελέγξει της δυνατότητες ενός νέου μετρητικού συστήματος. Το σύστημα αποτελείτο από ένα μετατροπέα ρεύματος τροφοδοτούμενο από ηλιακό πάνελ και ένα μικροεπεξεργαστή με δυνατότητα αποθήκευσης έως τρεις μήνες. Στη συνέχεια, τα δεδομένα μεταφέρονταν μέσω ασύρματης επικοινωνίας σε κεντρικό υπολογιστή για αποθήκευση και περαιτέρω ανάλυση, αυτοματοποιημένη ή χειροκίνητη. Σε πραγματικές συνθήκες συνέχισε την έρευνά της και η ομάδα της Νοτίου Αφρικής [98], [99], [100], συλλέγοντας περιβαλλοντικές μετρήσεις και μετρήσεις του ρεύματος διαρροής (θετικές και αρνητικές κορυφές, bin counting, μέση και rms τιμή, συνολικό φορτίο, ισχύς, ενέργεια και αποσπασματικές κυματομορφές) συνθετικών και κεραμικών μονωτήρων από τον υπαίθριο σταθμό δοκιμών στο Κέμπεργκ (*Koeberg Insulator Pollution Test Station – KIPTS*), με το καταγραφικό OLCA - όπως έχει ήδη αναφερθεί. Στη συνέχεια, οι Vosloo and Holtzhausen [101], [102] χρησιμοποίησαν τις μετρήσεις αυτές για την ανάπτυξη ενός μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη του ρεύματος διαρροής, καθώς και για την κατασκευή μαθηματικών σχέσεων για το συσχετισμό του ρεύματος με άλλες παραμέτρους, όπως το μήκος

τόξου, η αντίσταση του στρώματος επικαθήμενων ρύπων και η αγωγιμότητα επιφανείας των μονωτήρων.

Την περίοδο αυτή στη Βόρεια Αφρική, και συγκεκριμένα στην Τυνησία, εγκαινιάσθηκαν δύο νέοι σταθμοί δοκιμών στο Ζάρζις και στο Κέμπιλι [103], για τη σύγκριση μεταξύ θαλάσσιου και ερημικού περιβάλλοντος, αντίστοιχα, των μετρήσεων του ρεύματος διαρροής συνθετικών μονωτήρων στο πεδίο, ενώ και ο Munteanu [104], στο Ισραήλ, αναφέρει μετρήσεις ρεύματος μέσω κατάλληλης διάταξης σε μονωτήρες πυλώνων του δικτύου, ως μέρος του προγράμματος συντήρησης. Στο εργαστήριο του πανεπιστημίου Ζαγκαζίγκ στην Αίγυπτο, οι Youssef and El-Alayly [105] είναι οι πρώτοι που κατασκεύασαν μετρητική διάταξη του ρεύματος διαρροής με ενσωματωμένο νευρωνικό δίκτυο στο λογισμικό που την ελέγχει, για την άμεση ταξινόμηση των μετρούμενων κυματομορφών. Πηγαίνοντας βορειότερα, ο Chrzan [106] συνόψισε τα αποτελέσματα έρευνας είκοσι χρόνων στο σταθμό δοκιμών μονωτήρων υψηλών τάσεων στο Γκλόγοου της Πολωνίας, όπου διεξήχθησαν μεταξύ άλλων και μετρήσεις των κορυφών του ρεύματος διαρροής (*bin counting*) με τη χρήση απλών ηλεκτρομηχανικών μετρητών. Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν και στο σουηδικό σταθμό δοκιμών στο Άνεμπεργκ, είτε με απευθείας αξιολόγηση στο πεδίο των ηλεκτρικών επιδόσεων κεραμικών μονωτήρων επικαλυμμένων με RTV (*Sorqvist* [107]), είτε αξιοποιώντας τις εγκαταστάσεις του σταθμού για φυσική γήρανση συνθετικών μονωτήρων, η συμπεριφορά των οποίων ελέγχθηκε εκ των υστέρων σε συνδυασμό μετρήσεων του ρεύματος διαρροής στο πεδίο και εργαστηριακών δοκιμών στο πανεπιστήμιο Τσάλμερς (*Gustavsson et al.* [108]).

Στην αμερικανική ήπειρο, η ερευνητική ομάδα από το εργαστήριο υψηλών τάσεων του πανεπιστημίου του Γουίντσορ, στο Οντάριο του Καναδά, κινήθηκε προς δύο διακριτές κατευθύνσεις. Αφενός, οι Lopez, Jayaram and Cherney [109], [110], [111] επικεντρώθηκαν στη διερεύνηση των πολύ αρχικών σταδίων απώλειας υδροφοβίας και έναρξης ανάπτυξης του ρεύματος διαρροής (*ρεύματα κατώτερα του 1mA*). Αφετέρου, οι El-Hag, Jayaram, Cherney *et al.* [112], [113], [114], [115] ανέλυσαν το συχνοτικό περιεχόμενο των κυματομορφών του ρεύματος διαρροής με FFT, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι διακυμάνσεις τόσο της θεμελιώδους όσο και των χαμηλών αρμονικών συχνοτήτων ($3^{\eta} - 5^{\eta}$) μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ως διαγνωστικό εργαλείο στη μελέτη της γήρανσης των μονωτήρων, πιο αποτελεσματικά από τις απλές τιμές κορυφών ρεύματος.

Αντιστοίχως, στις ΗΠΑ, οι Kim *et al.* [116] χρησιμοποίησαν μονωτήρες, οι οποίοι είχαν ήδη αποτύχει και κατά συνέπεια απομακρυνθεί από το δίκτυο μεταφοράς, για να διεξάγουν πειράματα μέτρησης του ρεύματος διαρροής με μετατροπέα ακριβείας, σε μια προσπάθεια αναγνώρισης των καθοριστικών παραμέτρων που οδηγούν σε σφάλμα. Μετρήσεις ρεύματος διαρροής σε μονωτήρες με φυσική ύγρανση πραγματοποίησαν οι Richards *et al.* [117] στο πανεπιστήμιο A&M του Τέξας, αναπτύσσοντας δικό τους λογισμικό για την άμεση εξαγωγή της rms τιμής, του μετασχηματισμού FFT και της συνολικής ενέργειας των σημάτων (*κυματομορφές ρεύματος διαρροής*) που καταγράφονταν. Οι Armentrout and Kumosa [118] στο πανεπιστήμιο του Ντένβερ, μέτρησαν στο εργαστήριο το ρεύμα διαρροής πριν και μετά την εκτέλεση της ηλεκτρικής δοκιμής διάχυσης νερού σε συνθετικούς μονωτήρες με Glass Reinforced Polymer (*GRP*), προσδοκώντας στον καθορισμό των αλλαγών στο ρεύμα διαρροής που οφείλονται στην απορροφώμενη υγρασία.

Τέλος, στην πόλη Βερακρούς του Μεξικό, οι Montoya and Ramirez [119] κατάφεραν να μετρήσουν, σε ειδικά διαμορφωμένο πυλώνα του δικτύου, την άνοδο

του ρεύματος διαρροής των μονωτήρων, και κατά συνέπεια την πτώση της επιφανειακής αντίστασης, κατά τη διάρκεια μίας ισχυρής τοπικής καταιγίδας, που αποτελεί συχνό φαινόμενο στην περιοχή και βασικό λόγο ρύπανσης των υπαίθριων μονωτικών. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποίησαν το σύστημα που ανέπτυξαν στο [49].

2.2.4 Η πενταετία 2005 – 2009

Το δεύτερο μισό της δεκαετίας είναι ίσως η περίοδος με τις περισσότερες δημοσιεύσεις σχετικά με το ρεύμα διαρροής των μονωτήρων υψηλής τάσης. Ένα μεγάλο ποσοστό των ερευνών διεξάγεται στη νοτιοανατολική Ασία, με τη συμμετοχή πολλών νέων ερευνητών. Ξεκινώντας από την Ινδονησία, ο Suwarno [120], [121] μελέτησε, σε εργαστηριακές συνθήκες προσομοίωσης, την ιδιότητα καταστολής του ρεύματος διαρροής που διαθέτουν οι επικαλύψεις σιλικόνης για κεραμικούς μονωτήρες, μετρώντας το ρεύμα ως πτώση τάσης πάνω σε αντίσταση γείωσης με ψηφιακό παλμογράφο συνδεδεμένο με Η/Υ μέσω καλωδίου GPIB. Με λογισμικό επεξεργασίας των μετρήσεων σε περιβάλλον MATLAB, ανέλυσε το συχνοτικό περιεχόμενο των κυματομορφών ρεύματος με χρήση του μετασχηματισμού FFT και του δείκτη THD (*Total Harmonic Distortion*), προτείνοντας πέντε στάδια για την ταξινόμησή τους και επισημαίνοντας ότι το γινόμενο του πλάτους του ρεύματος διαρροής επί το δείκτη THD είναι ιδανικό για να υποδηλώσει την κατάσταση επιφανείας του μονωτήρα. Επιπλέον, οι Waluyo, Suwarno *et al.* [122] διερεύνησαν την επίδραση διαφόρων τεχνητών ρύπων στις κυματομορφές του ρεύματος διαρροής κεραμικών μονωτήρων, παρακολουθώντας κυρίως τις διακυμάνσεις των περιπτών αρμονικών συχνοτήτων (*θεμελιώδης, 3^η, 5^η, 7^η*). Δύο ακόμα ερευνητικές ομάδες, οι Iwa Garniwa *et al.* [123] και οι Manjang and Abduh [124], ασχολήθηκαν, αντίστοιχα, με τη μελέτη της επίδρασης του είδους των ρύπων στο συχνοτικό περιεχόμενο των κυματομορφών ρεύματος μονωτήρων από εποξικές ρητίνες, και την αναγνώριση μοτίβων του ρεύματος διαρροής πάνω σε τεχνητά ρυπασμένους κεραμικούς και συνθετικούς μονωτήρες.

Στη γειτονική Μαλαισία, οι Ahmad *et al.* [125] σχεδίασαν ένα μετρητικό σύστημα για εξειδικευμένη μέτρηση των αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος διαρροής σκληρυμένων υάλινων μονωτήρων. Η διάταξη δοκιμάστηκε στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου της χώρας, και περιλάμβανε παλμογράφο LeCroy συνδεδεμένο με Η/Υ, όπου έτρεχε λογισμικό επεξεργασίας των μετρήσεων σε Microsoft Excel. Ένα εξελιγμένο μετρητικό σύστημα πρότειναν οι Κινέζοι ερευνητές Chen *et al.* [126] από το πανεπιστήμιο Χονκίν. Η ιδιαιτερότητα της διάταξής τους έγκειται στη χρήση ενός βελτιωμένου μετατροπέα ρεύματος, σχεδιασμένο από τους ίδιους, ο οποίος επιτυγχάνει ταυτόχρονα επαρκή ευαισθησία και ικανοποιητικό εύρος ζώνης. Έμφαση στην ακρίβεια του αισθητήρα ρεύματος, ο οποίος δεν θα πρέπει να εισάγει παραμόρφωση στις μετρήσεις, έδωσαν και οι Guan *et al.* [127], σχεδιάζοντας έναν πολύπλοκο αισθητήρα αποτελούμενο κυρίως από αντιστάσεις. Ο αισθητήρας ελέγχθηκε τόσο στο εργαστήριο, όσο και στο πεδίο, σε υποσταθμό της πόλης Χαρμπίν στη νοτιοανατολική Κίνα, ενώ το DAS με το οποίο συνδέθηκε κατέγραφε τις κορυφές του ρεύματος, bin counting και επιλεγμένες κυματομορφές.

Οι Gao *et al.* [128], από το πανεπιστήμιο Τσίνχουα του Πεκίνου, εκτέλεσαν τυποποιημένες εργαστηριακές δοκιμές για την αξιολόγηση μονωτήρων με επικάλυψη RTV, γηρασμένων φυσικά σε περιβάλλον έντονης ρύπανσης,

Παρακολούθησαν τις μέγιστες κορυφές του ρεύματος διαρροής ανά διαστήματα 30 δευτερολέπτων, και συμπέραναν ότι οι επικαλύψεις RTV προσφέρουν μακροχρόνια προστασία έναντι των υπερπηδήσεων, ακόμα και έπειτα από λειτουργία σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αντιθέτως, οι Du, Liu *et al.* [129] προτίμησαν να μελετήσουν το συχνοτικό περιεχόμενο του ρεύματος διαρροής των επικαλύψεων αυτών σε τεχνητό κλιματικό θάλαμο, μέσω του μετασχηματισμού Wavelet, χωρίζοντας το μετρούμενο ρεύμα σε ρεύμα χαμηλών, ενδιάμεσων και υψηλών συχνοτήτων. Επιπλέον, είναι οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν [130] την τεχνική επαναλαμβανόμενης πλοκής (*Recurrent Plot Analysis*), που παρέχει ένα γραφικό πλαίσιο για την εξαγωγή πληροφοριών από τις κυματομορφές του ρεύματος, τις οποίες αντιμετωπίζει ως χρονοσειρές (*ακολουθίες*) στιγμιαίων σημάτων.

Διάφοροι Ιάπωνες ερευνητές συνέβαλαν στις έρευνες αυτής της περιόδου. Ο Kumagai [131], [132] μελέτησε, στο εργαστήριο του πανεπιστημίου Ακίτα, την ικανότητα των επικαλύψεων SIR να καταστέλλουν το ρεύμα διαρροής των κεραμικών μονωτήρων, χρησιμοποιώντας για το σκοπό αυτό την τεχνική διαχωρισμού των κυματομορφών στις συνιστώσες τους που ανέπτυξαν από κοινού με τον Yoshimura στο [84]. Ωστόσο, σε ερευνητική συνεργασία των πανεπιστημίων Ακίτα και Χούμπου, οι Kumagai *et al.* [133] εκτέλεσαν συγκριτικές μετρήσεις του ρεύματος διαρροής των επικαλύψεων SIR τόσο στο εργαστήριο, όσο και στο πεδίο, σε κατάλληλα διαμορφωμένη υπαίθρια τοποθεσία δοκιμών του πανεπιστημίου Χούμπου. Οι Homma *et al.* [134], από το Κεντρικό Ινστιτούτο Ερευνών της Βιομηχανίας Παραγωγής Ενέργειας της Ιαπωνίας (*CRIEPI*), διεξήγαγαν επίσης συγκριτικές μετρήσεις μεταξύ συνθετικών και κεραμικών μονωτήρων στο πεδίο (*στην παραθαλάσσια τοποθεσία δοκιμών Yokosuka Research Area of CRIEPI*), στοχεύοντας στη συγκριτική αξιολόγηση των ιδιοτήτων του ρεύματος διαρροής των δύο διαφορετικών τύπων μονωτήρων. Στον ίδιο σταθμό δοκιμών εργάστηκε και ο Suda [135], επεκτείνοντας την έρευνά του πάνω στη συχνοτική ανάλυση των κυματομορφών του ρεύματος διαρροής και με μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες. Επιπροσθέτως, οι Zhu *et al.* [136] εξέτασαν, μέσω πειραμάτων και εργαστηριακών προσομοιώσεων, τις κυματομορφές του ρεύματος διαρροής στην επιφάνεια των HTV-SIR μονωτήρων, ενώ παράλληλα ανέπτυξαν ένα δυναμικό τρισδιάστατο μοντέλο για τον υπολογισμό του ηλεκτρικού πεδίου και της κατανομής πυκνότητας του ρεύματος στην επιφάνεια των δειγμάτων, μέσω λογισμικού που χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Μία ιδιαίτερη έρευνα διεξήχθη στο πανεπιστήμιο της Μελβούρνης στην Αυστραλία, όπου οι Wong *et al.* [137] διερεύνησαν την επίδραση του ρεύματος που ρέει, διαμέσου των μονωτήρων υψηλής τάσης, στους ξύλινους πυλώνες και τον υπόλοιπο εξοπλισμό, επισημαίνοντας τον υψηλό κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς εφόσον τα επίπεδα του ρεύματος είναι αυξημένα. Ιδιαίτερης φύσεως ήταν και η δημοσίευση των Rajini and Udayakumar [138] από την Ινδία, οι οποίοι χρησιμοποίησαν μετρήσεις και συχνοτική ανάλυση των κυματομορφών του ρεύματος διαρροής μονωτήρων SIR για να αξιολογήσουν τη γήρανση που μπορεί να προκληθεί από ακτινοβολία Γάμμα. Οι Devendranath *et al.*, στο Κεντρικό Ινστιτούτο Ενεργειακής Έρευνας στην Ινδία, κατασκεύασαν [139] έναν «ολοκληρωτή/ ταξινομητή κορυφών» ρεύματος (*καταγραφικό σύστημα*) για χρήση σε μετρήσεις του ρεύματος διαρροής μονωτήρων με επικάλυψη RTV, ο οποίος συνοδεύεται από μία συνδεδεμένη στον υπολογιστή κάρτα A/D που ελέγχεται από λογισμικό ανεπτυγμένο σε Labview. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε για μετρήσεις του ρεύματος (*μέση τιμή ημερήσιου ρεύματος, ημερήσια κορυφή,*

συνολικό φορτίο, ολοκλήρωμα τετραγώνου ρεύματος, *bin counting*) σε επιταχυνόμενες δοκιμές γήρανσης μονωτήρων με επικάλυψη RTV [140].

Στο πανεπιστήμιο της Ταξίλα στο Πακιστάν, οι Amin *et al.*, παρόλο που δεν πραγματοποίησαν δικές τους μετρήσεις, επιδόθηκαν σε εκτενείς μελέτες της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, δημοσιεύοντας αξιόλογες ανασκοπήσεις σχετικά με τη γήρανση των συνθετικών μονωτήρων [141], την υδροφοβική συμπεριφορά των επικαλύψεων RTV [142] και την παρακολούθηση του ρεύματος διαρροής συνθετικών μονωτήρων και ηλεκτρικών συσκευών [143]. Αντιθέτως, στο Ιράν έδρασαν δύο νέες ερευνητικές ομάδες. Οι Shariati *et al.*, στο Ινστιτούτο Ερευνών του Νιρού (*Niroy Research Institute*), αφενός εξέτασαν τη συμπεριφορά και τις επιδόσεις μονωτήρων εκτεθειμένων σε βαριά βιομηχανική ρύπανση [144], εκτελώντας μετρήσεις, μεταξύ των οποίων και μέτρηση των κορυφών του ρεύματος διαρροής (*bin counting*), σε υποσταθμό που βρίσκεται εντός εργοστασίου χαλυβουργίας στο Νότιο Ιράν. Αφετέρου, διεξήγαγαν τυποποιημένες δοκιμές IEC στο εργαστήριο [145], σε συνθετικούς μονωτήρες που αφαιρέθηκαν από το δίκτυο ύστερα από μακροχρόνια υπηρεσία, μετρώντας διάφορες παραμέτρους (*ESDD, NSDD, τάση υπερπήδησης, ρεύμα διαρροής κλπ.*) και καθιερώνοντας ένα νέο πλάνο διαδικασιών για τον καθορισμό της κατάστασης γήρανσης των μονωτήρων αυτών. Επιπλέον, αναφέρουν την εγκαθίδρυση πενήντα σταθμών δοκιμών στις επαρχίες Χουζιστάν και Γιαζντ, για την περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου υπερπήδησης των μονωτήρων. Οι ερευνητές του πανεπιστημίου της Τεχεράνης Kazemi *et al.* [146], ωστόσο, ανέπτυξαν ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο για να προβλέψουν την ημερήσια διακύμανση του ρεύματος διαρροής σε έναν από τους παραθαλάσσιους σταθμούς δοκιμών, χρησιμοποιώντας ως εισόδους τις μετρήσεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων (*θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου και υπεριώδης ακτινοβολία*).

Στην Αραβική Χερσόνησο, και πιο συγκεκριμένα στο πανεπιστήμιο του Ομάν, οι Salam *et al.* [147] πρότειναν ένα πρωτότυπο τρόπο πρόβλεψης του ρεύματος διαρροής αποκλειστικά από την ταχύτητα του ανέμου, βασισμένο στη σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών, η οποία προέκυψε με χρήση της Ανάλυσης Διαστάσεων (*Dimensional Analysis technique*). Η φόρμουλα ελέγχθηκε συγκρίνοντας τις υπολογιζόμενες τιμές με τις πραγματικές μετρήσεις του ρεύματος διαρροής που καταγράφηκαν σε μονωτήρες ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας στις ακτές της Νότιας Κινεζικής Θάλασσας, στο Τερενγκάνου της Μαλαισίας. Με πρόβλεψη ασχολήθηκε και η ερευνητική ομάδα του Ισραήλ, με τους Natan, Munteanu and Rabinovici [148] να χρησιμοποιούν το ρεύμα διαρροής ως παράμετρο εισόδου, μαζί με την μετρούμενη υγρασία, για την χρονική εκτίμηση της επερχόμενης υπερπήδησης κεραμικών μονωτήρων και το άμεσο πλύσιμο των δειγμάτων "υψηλού κινδύνου". Οι μετρήσεις έγιναν στους υπαίθριους σταθμούς δοκιμών Ρότενμπεργκ, Άσκελον και Χάιφα, ενώ παντού χρησιμοποιήθηκε το καταγραφικό σύστημα OLCA (βλ. Κεφάλαιο 5).

Οι ερευνητές Vosloo and Holzhausen από τη Νότια Αφρική επέκτειναν την περίοδο αυτή την ερευνά τους και στη γειτονική Ναμίμπια [149], εγκαθιστώντας το πρώτο μετρητικό σύστημα (OLCA) σε πυλώνα του τοπικού δικτύου μεταφοράς. Μετρήσεις ρεύματος διαρροής σε εν ενεργεία μονωτήρες του δικτύου συνέχισαν να διενεργούν και οι Montoya, Ramirez *et al.* στο Μεξικό [150], χρησιμοποιώντας το σύστημα που ανέπτυξαν στο [49]. Έχοντας ταξινομήσει, εμπειρικά και ύστερα από πολλά χρόνια μετρήσεων, το πλάτος του ρεύματος διαρροής σε έξι περιοχές [151], καθεμία από τις οποίες συσχετίζεται με μια αντιπροσωπευτική περιγραφή της πιθανότερης ηλεκτρικής δραστηριότητας (*1^η, 2^η, 3^η, 4^η, 5^η και 6^η περιοχή: κανονική,*

ελαφριά, μέτρια, υψηλή, πολύ έντονη δραστηριότητα και επικείμενη υπερπήδηση), η μέτρηση του ρεύματος καθίσταται πλέον ισοδύναμη με την διάγνωση της κατάστασης επιφανείας των μονωτήρων του δικτύου. Επιπλέον, οι Ramirez, Hernandez and Montoya [152] είναι οι πρώτοι που θίγουν το θέμα της προληπτικής συντήρησης και των αμιγώς συνθετικών μονωτήρων, αναφέροντας την ύπαρξη καταγεγραμμένων μετρήσεων, σε ιδιαίτερα απαιτητικές περιβαλλοντικές συνθήκες, με μη αποδεκτά επίπεδα του ρεύματος διαρροής (*μεγαλύτερο των 350mA*).

Η πρώτη ερευνητική ομάδα από τη Βραζιλία, αποτελούμενη από τους Campello Oliveira, Fontana, Cavalcanti *et al.*, ξεκίνησε το ερευνητικό της έργο με την κατασκευή και πειραματική εγκατάσταση, στο δίκτυο μεταφοράς του βορειοανατολικού τμήματος της χώρας, ενός συστήματος ανίχνευσης των κορυφών του ρεύματος διαρροής των μονωτήρων [153]. Το μετρητικό σύστημα αποτελείτο από δύο διακριτά μέρη: έναν αισθητήρα ανίχνευσης, διασυνδεδεμένο μέσω της τεχνολογίας οπτικών ινών για λόγους ηλεκτρικής απομόνωσης, με έναν μικροεπεξεργαστή αποθήκευσης των δεδομένων (*bin counting*), ο οποίος παράλληλα διέθετε μία έξοδο σήματος που επέτρεπε στο χειριστή να παρατηρήσει την τρέχουσα κυματομορφή του ρεύματος σε παλμογράφο. Οι παρατηρούμενες κυματομορφές καθώς και τα αποθηκευμένα δεδομένα του μικροεπεξεργαστή ήταν δυνατόν να μεταφερθούν, μέσω καλωδίου GPIB και parallel port αντίστοιχα, σε φορητό υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση με κατάλληλα ανεπτυγμένο λογισμικό Graphical User Interface (*GUI*). Οι ερευνητές στη συνέχεια χρησιμοποίησαν αυτό το μετρητικό σύστημα για την παρατήρηση των διακυμάνσεων του ρεύματος κατά τη διάρκεια του πλυσίματος διαφόρων τύπων κεραμικών μονωτήρων [154], [155], επισημαίνοντας ότι η αποτελεσματικότητα του καθαρισμού της επιφάνειας μπορεί να διαπιστωθεί με τη μέτρηση του ρεύματος μόνο εφόσον στεγνώσει πλήρως ο εκάστοτε μονωτήρας.

Στο πανεπιστήμιο του Κεμπέκ, στον Καναδά, μελετήθηκε εκτενώς η συμπεριφορά μονωτήρων στους οποίους υπάρχει σημαντική επικάλυψη πάγου εξαιτίας των δυσμενών καιρικών συνθηκών. Οι Farzaneh *et al.* προέβησαν αρχικά στη χρονική και συχνοτική ανάλυση, με λογισμικό Labview και MATLAB, των μετρούμενων κυματομορφών του ρεύματος διαρροής [156], σε ειδικά σχεδιασμένες εργαστηριακές προσομοιώσεις, ενώ στη συνέχεια ανέπτυξαν μαθηματικό μοντέλο για την πρόβλεψη της τάσης υπερπήδησης, ως συνάρτηση του ρεύματος διαρροής, των επικαλυμμένων με πάγο μονωτήρων [157]. Τα αποτελέσματα του μοντέλου συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες εργαστηριακές μετρήσεις και κρίθηκαν ικανοποιητικά. Με τις ηλεκτρικές επιδόσεις των επικαλυμμένων με πάγο μονωτήρων ασχολήθηκαν και οι Kannus and Lathi [158], στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο του Ταμπέρε στη Φινλανδία, μετρώντας μεταξύ άλλων την τάση υπερπήδησης, το ρεύμα διαρροής και την τάση ραδιοφωνικών παρεμβολών, σε σειρά εργαστηριακών δοκιμών.

Τα μέλη της έτερης καναδικής ερευνητικής ομάδας, από το πανεπιστήμιο του Γουίντσορ στο Οντάριο, παρότι μετακινήθηκαν σε δύο διαφορετικά πανεπιστήμια (*ο El-Hag στο αμερικανικό πανεπιστήμιο της Σάρτζα στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, οι Jayaram & Cherney στο πανεπιστήμιο του Γουότερλου στο Οντάριο του Καναδά*), συνέχισαν την ερευνητική τους συνεργασία, αφενός εξετάζοντας στο εργαστήριο την επίδραση του προφίλ των SIR μονωτήρων στη διαδικασία γήρανσης της επιφάνειάς τους και κατά συνέπεια στα επίπεδα του ρεύματος διαρροής [159], και αφετέρου υπολογίζοντας την πυκνότητα του ρεύματος διαρροής SIR μονωτήρων [160], υπό συνθήκες επιταχυνόμενης γήρανσης, με χρήση δύο διαφορετικών μεθόδων υπολογισμού (*προσέγγιση με θεωρία πεδίου και προσέγγιση με θεωρία*

κυκλωμάτων). Φυσικά, προχώρησαν και σε ανεξάρτητες έρευνες, με τον EI-Hag να επικεντρώνεται στην ανάπτυξη τεχνικής για την ανίχνευση της έναρξης των μερικών εκκενώσεων των ξηρών ζωνών, χρησιμοποιώντας τεχνικές μοντελοποίησης χρονοσειρών [161] και την 3^η αρμονική συνιστώσα του ρεύματος διαρροής [162], καθώς και στη διερεύνηση του συσχετισμού την μέσης τιμής του ρεύματος διαρροής με την επιφανειακή φθορά των μη κεραμικών μονωτήρων [162].

Κλείνοντας αυτήν την περίοδο, αξίζει να αναφερθεί η ύπαρξη πληθώρας δημοσιεύσεων ως αποτέλεσμα διεθνών συνεργασιών μεταξύ μεμονωμένων ερευνητών, αλλά και πανεπιστημίων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι συνεργασίες: Αλγερίας – Ηνωμένου Βασιλείου – Γερμανίας [163] (*μελέτη της επίδρασης του σχήματος των μονωτήρων στις επιφανειακές εκκενώσεις και την υπερπήδηση*), Καναδά – Ιράν [164], [165] (*μελέτη της επίδρασης της βύθισης σε οξύ στη συμπεριφορά των επικαλύψεων RTV, ανάπτυξη μεθόδου βασισμένης σε νευρωνικό δίκτυο για την πρόβλεψη του ρεύματος διαρροής πολυμερικών μονωτήρων*), Κίνας – Σουηδίας [166] (*μέτρηση της δριμύτητας της τοπικής ρύπανσης μέσω ενός πρωτότυπου φορητού σταθμού δοκιμών*), Ινδίας – Ιαπωνίας [167] (*διερεύνηση της κατάστασης επιφανείας των SIR μονωτικών με χρήση της τεχνικής αποσύνθεσης σήματος πολλαπλής ανάλυσης – Multiresolution Signal Decomposition technique*), Ινδονησίας – Ιαπωνίας [168] (*ανάλυση του ρεύματος διαρροής κεραμικών μονωτήρων τεχνητά ρυπασμένων με υγρασία άλατος και σκόνη τσιμέντου*), Σουηδίας – Νορβηγίας [169], [170] (*συμπεριφορά στο πεδίο και δοκιμές επαλήθευσης των συνθετικών μονωτήρων υψηλής τάσης, αξιολόγηση συνθετικών μονωτήρων δεκαετούς θητείας υπό λειτουργία με μετρήσεις του ρεύματος διαρροής με OLCA*), Γερμανίας – Νοτίου Αφρικής [171] (*διαστασιολόγηση προφίλ στέγασης συνθετικών SIR μονωτήρων για συνθήκες έντονης θαλάσσιας ρύπανσης μέσω μετρήσεων του ρεύματος διαρροής στο σταθμό δοκιμών του Κέμπεργκ*) και Ινδίας – Ιταλίας [172] (*διερεύνηση χαρακτηριστικών ρεύματος διαρροής και γωνίας φάσης πολυμερικών και κεραμικών μονωτήρων σε συνθήκες ρύπανσης*).

2.2.5 Πρόσφατες έρευνες (2010 – σήμερα)

Η αλλαγή δεκαετίας σηματοδοτεί τη συμπλήρωση περισσότερων από 20 χρόνων με συστηματικές έρευνες γύρω από το φαινόμενο της ρύπανσης των μονωτήρων υψηλής τάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ερευνητές να εξειδικεύονται όλο και περισσότερο στο αντικείμενο με το οποίο ασχολούνται, αλλά και τα τεχνολογικά μέσα μέτρησης που έχουν στη διάθεσή τους να εκσυγχρονίζονται. Έτσι, αυτή την τελευταία πενταετία, δημοσιεύονται πολλές πρωτότυπες έρευνες, αρχής γενομένης από τη Βραζιλία, όπου οι de Lima *et al.* [173] χρησιμοποιούν σύστημα μετάδοσης δεδομένων μέσω δορυφόρου, για να συλλέξουν σε ένα κεντρικό υπολογιστή τα δεδομένα του ρεύματος διαρροής που μετράται σε έξι διαφορετικά σημεία της χώρας, μέσω του συστήματος που αναπτύχθηκε στο [153]. Με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια και την ηλεκτρική συμπεριφορά των επικαλυμμένων με SIR μονωτήρων ασχολήθηκαν οι Joneidi *et al.* [174], [175] στο πανεπιστήμιο της Τεχεράνης, στο Ιράν, αλλά και οι Nekeb *et al.* [176] στο Κάρντιφ του Ηνωμένου Βασιλείου, παρατηρώντας για το σκοπό αυτό τις διακυμάνσεις στις αρμονικές του ρεύματος, που υπολογίστηκαν μέσω του μετασχηματισμού FFT.

Γενικά, και την περίοδο αυτή, η συχνотική ανάλυση των κυματομορφών ρεύματος παραμένει ένα πολύ δημοφιλές θέμα μεταξύ των δημοσιευμένων ερευνών. Οι Bashir and Ahmad [177], στη Μαλαισία, επέλεξαν τις πρώτες περιπτώσεις

αρμονικές συχνότητες (*και τους λόγους αυτών*) ως διαγνωστικό εργαλείο στη μελέτη της γήρανσης υάλινων μονωτήρων, ενώ οι Hosseini *et al.* [178] στο Ιράν και οι Jiang *et al.* [179] στην Κίνα συσχέτισαν το αρμονικό περιεχόμενο των μετρούμενων κυματομορφών με την πιθανότητα εκδήλωσης υπερπήδησης. Επιπλέον, μία νέα ερευνητική ομάδα από την Πολυτεχνική Σχολή της Αλγερίας, αποτελούμενη από τους Douar, Mekhaldi and Bouzidi [180], [181], μελετά τις συχνοτικές συνιστώσες του ρεύματος διαρροής μονωτήρων που δεν έχουν υποστεί ομοιόμορφη ρύπανση.

Ένα ακόμα θεματικό πεδίο με πληθώρα δημοσιεύσεων είναι η συμπεριφορά των επικαλυμμένων με πάγο μονωτήρων. Οι πιο πρωτότυπες δημοσιεύσεις ανήκουν στους Κινέζους ερευνητές Xu, Jia *et al.* [182], [183] οι οποίοι παρατήρησαν ότι η ροή του ρεύματος επιφανείας μπορεί να έχει και ευεργετικές δράσεις (*εφόσον φυσικά οι τιμές του κρατηθούν σε αποδεκτά επίπεδα*), καθώς μειώνει σε σημαντικό βαθμό το σχηματισμό πάγου, εξαιτίας της θερμότητας που παράγεται και της ενέργειας που εκλύεται από τα τόξα των ξηρών ζωνών. Η παρατήρηση αυτή προέκυψε από προγενέστερη μελέτη τους [184], όπου εξέτασαν το επίπεδο πάγου των μονωτήρων υπό δοκιμή σε συσχέτιση με το επίπεδο του ρεύματος διαρροής τους. Αντιθέτως, οι Volat *et al.* [185], στο Κεμπέκ του Καναδά, προχώρησαν στη μελέτη μόνο του μεταβατικού σταδίου του ρεύματος διαρροής, χρησιμοποιώντας σύστημα παρακολούθησης που εμπεριείχε διάφορα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για την αναγνώριση, ταξινόμηση και ανάλυση της συχνότητας εμφάνισης μερικών εκκενώσεων. Οι Liu and Du [186] επιστράτευαν την τεχνική επαναλαμβανόμενης πλοκής (*Recurrent Plot Analysis*) για να διερευνήσουν το ρεύμα διαρροής σε δοκιμές υπερπήδησης συνθετικών μονωτήρων με λεπτό στρώμα πάγου στην επιφάνειά τους, ενώ οι Jiang *et al.* [187], του πανεπιστημίου Χονκίν της Κίνας, αρκέστηκαν στην ανάλυση των χρονικών και συχνοτικών χαρακτηριστικών (*FFT, THD*) των κυματομορφών ρεύματος μονωτήρων επικαλυμμένων με πάγο.

Τη χρήση τεχνικής βασισμένης στην αναγνώριση προτύπων (*Pattern Recognition-based technique*) χρησιμοποιεί ο Jarrar [188] κατά τη συγγραφή της τελικής αναφοράς για το μάστερ του από το πανεπιστήμιο της Σάρτζα των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων, για να αξιολογήσει την μονωτική ικανότητα υπαίθριων επικαλύψεων SIR, εξετάζοντας πληθώρα παραμέτρων μεταξύ των οποίων και καταγεγραμμένες κυματομορφές ρεύματος διαρροής. Επίσης, για πρώτη φορά προτείνεται, τόσο από τους Liu and Li [189], όσο και από τον Ινδό ερευνητή Chandrasekar [190] η συνδυασμένη χρήση μετασχηματισμού Wavelet και νευρωνικών δικτύων, για την ανίχνευση του ρεύματος και, κατ' επέκταση, της επιφανειακής κατάστασης κεραμικών μονωτήρων.

Ορισμένοι ερευνητές από την Κίνα (*Li, Sun, Sima et al.* [191], [192], *και Chen et al.* [193]) κατασκευάζουν μοντέλα πρόβλεψης του επιπέδου ρύπανσης, με εισόδους κάποια από τα χαρακτηριστικά της μετρούμενης κυματομορφής ρεύματος, ενώ οι συμπατριώτες τους Zhao *et al.* [194] επιδιώκουν να προβλέψουν το ίδιο το ρεύμα διαρροής, εφόσον γνωρίζουν συγκεκριμένα περιβαλλοντικά δεδομένα (*υγρασία, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, βροχόπτωση*), εφαρμόζοντας μοντέλα γραμμικής και μη γραμμικής παλινδρόμησης (*linear and non-linear regression*). Με την εκτίμηση της τάσης υπερπήδησης, μέσω του επιπέδου του ρεύματος, μονωτήρων σε τεχνητές τροπικές συνθήκες ασχολείται και ο Yandri [195] στην Ινδονησία.

Πολλές είναι οι δημοσιεύσεις που αφορούν στην αξιολόγηση μονωτικών υλικών σε ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Αφενός, οι Fernando and Gubanski [196] συνεχίζουν το ερευνητικό τους πρόγραμμα, στα πλαίσια του οποίου εξετάζουν στο εργαστήριό τους, στο Γκέτεμποργκ της Σουηδίας, τη συμπεριφορά και τις ηλεκτρικές επιδόσεις μονωτήρων που αφέθηκαν να γηρανθούν με φυσικό τρόπο

στις τροπικές συνθήκες της Σρι Λάνκα, σε επιλεγμένες παραθαλάσσιες περιοχές αλλά και στην ενδοχώρα. Την ίδια λογική εφάρμοσαν και οι Waluyo *et al.* [197] στην Ινδονησία, οι οποίοι πραγματοποίησαν συγκριτικές εργαστηριακές μετρήσεις του ρεύματος, και των αρμονικών συχνοτήτων του, μεταξύ πορσελάνινων μονωτήρων και μονωτήρων από εποξικές ρητίνες, οι οποίοι αφαιρέθηκαν από παραθαλάσσια γραμμή μεταφοράς της χώρας. Αφετέρου, οι Zhou *et al.* [198] μελέτησαν μεν το φαινόμενο υπερπήδησης σε πολύ υψηλό υψόμετρο συγκριτικά με την εκδήλωσή του στο επίπεδο της θάλασσας, μεταβαίνοντας για το σκοπό αυτό στο Θιβέτ, ωστόσο δεν πραγματοποίησαν μετρήσεις στο πεδίο αλλά στην ειδική Βάση Δοκιμών σε Μεγάλο Υψόμετρο που εδράζεται εκεί.

Μετρήσεις του ρεύματος διαρροής στο πεδίο εκτέλεσε ο Chrzan, τόσο στον Σταθμό Δοκιμών του Γκλόγοου στην Πολωνία [199], όσο και στο σταθμό δοκιμών KIPTS στο Κέμπεργκ της Νοτίου Αφρικής, σε συνεργασία με τους Vosloo, Holtzhausen [200], χρησιμοποιώντας το καταγραφικό σύστημα OLCA. Οι δύο αυτοί ερευνητές συνέχισαν τις μετρήσεις στο πεδίο και με τη δική τους ερευνητική ομάδα [201], [202], ενώ στον ίδιο σταθμό δοκιμών εργάστηκε και ο Mouton [203] για τη διπλωματική του μάστερ του, πραγματοποιώντας μετρήσεις με OLCA. Σε πραγματικές συνθήκες εργάστηκαν και οι Meyer *et al.* [204] στη Βραζιλία, οι οποίοι διερεύνησαν την επίδοση μονωτικών συστημάτων χρησιμοποιώντας έναν “παρατηρητή”, όπως τον ονομάζουν, του ρεύματος διαρροής που κατασκεύασαν οι ίδιοι. Το μετρητικό τους σύστημα διαθέτει δύο διακριτά μέρη: την τοπική μονάδα, που τοποθετείται κοντά στον προς εξέταση μονωτήρα και είναι υπεύθυνη για τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής, και την κεντρική μονάδα, που λαμβάνει, μέσω οπτικής διασύνδεσης με την τοπική μονάδα τα προσωρινώς αποθηκευμένα δεδομένα και είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία τους και την τελική αποθήκευση. Στις υποτροπικές κλιματικές συνθήκες της Νότιας Κίνας, οι Su *et al.* [205] εξέτασαν την ανθεκτικότητα των επικαλύψεων RTV, ενώ το ίδιο έκαναν για συνθετικούς μονωτήρες οι Rezaei *et al.* [206] στο πολύ “σκληρό” παράκτιο περιβάλλον του Νοτίου Ιράν.

Τελειώνοντας αυτή την ανασκόπηση, αξίζει να αναφερθούν δύο τελευταίες ερευνητικές ομάδες, που καινοτόμησαν σε διαφορετικούς τομείς ο καθένας. Οι Zhang, Xi, Liu *et al.* [207], [208] από την Κίνα, είναι οι μοναδικοί που χρησιμοποίησαν πηνία Rogowski ως αισθητήρες για τη μέτρηση του ρεύματος, ενώ οι Braini, Haddad and Harid [209], από το πανεπιστήμιο του Κάρντιφ στο Ηνωμένο Βασίλειο, είναι οι πρώτοι που εξέτασαν τις επιδόσεις μίας πολύ πρόσφατης τεχνολογικής καινοτομίας, τις νανοεπικαλύψεις για μονωτήρες υψηλής τάσης.

2.2.6 Μερικά ενδιαφέροντα στοιχεία

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2.1), δίνονται συγκεντρωτικά οι σημαντικότερες ερευνητικές ομάδες, σχετικά με τη διερεύνηση του φαινομένου της ρύπανσης των μονωτήρων υψηλής τάσης, όπως προέκυψαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε.

Στη συνέχεια, σημειώνονται στον παγκόσμιο χάρτη (Εικόνα 2.1) όλες οι περιοχές στις οποίες, κατά καιρούς, έχουν διεξαχθεί μετρήσεις ρεύματος διαρροής σε πραγματικές συνθήκες. Αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μετρήσεις σε μονωτήρες του υπάρχοντος δικτύου και μετρήσεις σε ειδικά κατασκευασμένους υπαίθριους σταθμούς δοκιμών Υψηλής Τάσης.

Πίνακας 2.1: Συνοπτική παρουσίαση σημαντικών ερευνητικών ομάδων

Βασικοί συγγραφείς	Έδρα ερευνών	Διεξαγωγή μετρήσεων	Πεδίο έρευνας
R. S. Gorur, G. G. Karady, F. Amarh <i>και συνεργάτες</i>	πολιτειακό πανεπιστήμιο της Αριζόνα, ΗΠΑ	κυρίως εργαστηριακές μετρήσεις, λίγες στο πεδίο	Αξιολόγηση επίδοσης συνθετικών/κεραμικών μονωτήρων, συχνοτική ανάλυση κυματομορφών, μετασχηματισμός Wavelet, τεχνικές στατιστικής επεξεργασίας, κατασκευή θεωρητικών μοντέλων
S. H. Kim, R. Hackam, E. A. Cherney, H. Deng, A. H. El-Hag, S. H. Jayaram <i>και συνεργάτες</i>	πανεπιστήμιο Γουίντσορ, Οντάριο, Καναδάς πανεπιστήμιο Γουότερλου, Οντάριο, Καναδάς πανεπιστήμιο της Σάρτζα, Ην. Αραβ. Εμιράτα	αμιγώς εργαστηριακές μετρήσεις	επικαλύψεις RTV (επιλογή, εφαρμογή, επιδόσεις, γήρανση), μελέτη φαινομένου απώλειας/ανάκτησης υδροφοβίας, μελέτη της έναυσης του ρεύματος διαρροής, αναλύσεις FFT, τεχνικές μοντελοποίησης χρονοσειρών
M. A. R. M. Fernando, S.M. Gubanski <i>και συνεργάτες</i>	πανεπιστήμιο Τσάλμερς, Γκέτεμποργκ, Σουηδία Σρι Λάνκα	εργαστηριακές, αλλά με φυσική γήρανση των δειγμάτων σε τροπικό κλίμα	παραμόρφωση κυματομορφής ρεύματος, σχεδιασμός FFT νευρωνικού δικτύου, αναγνώριση/ταξινόμηση κυματομορφών, κυκλωματικό μοντέλο προσομοίωσης επιφάνειας μονωτήρα
W. L. Vosloo, J. P. Holtzhausen <i>και συνεργάτες</i>	ESKOM, Νότια Αφρική Ναμίμπια	μετρήσεις στο πεδίο (στους σταθμούς δοκιμών)	Σταθμοί δοκιμών (Κέμπεργκ – KIPTS, Νατάλ), μελέτη μοτίβων κυματομορφών, χρήση OLCA, μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης, πρόβλεψη ρεύματος
G. Montoya, I. Ramirez, R. Hernandez <i>και συνεργάτες</i>	Μεξικό, σύστημα μεταφοράς	μετρήσεις στο πεδίο (στους πυλώνες του δικτύου)	ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης ρεύματος, εγκατάσταση σε πυλώνες, συχνοτική ανάλυση – FFT, μετρήσεις κατά τη διάρκεια τοπικών καταιγίδων

<p>S. Kumagai, N. Yoshimura <i>και συνεργάτες</i></p>	<p>πανεπιστήμιο Ακίτα, Ιαπωνία</p>	<p>κυρίως εργαστηριακές, ο Kumagai και στο πεδίο</p>	<p>τεχνικές επεξεργασίας σήματος, αξιολόγηση επικαλύψεων για κερα- μικούς μονωτήρες, δια- δικασία διαχωρισμού συνιστωσών ρεύματος, μετασχηματισμός Wavelet, κατασκευή νευρωνικού δικτύου</p>
<p>R. Munteanu, F. Kaidanov <i>και συνεργάτες</i></p>	<p>κρατική εταιρεία παραγωγής ενέργειας, Ισραήλ</p>	<p>εργαστήριο και πεδίο</p>	<p>παρατήρηση παραμόρ- φωσης ημιτόνου, διαγράμματα ρεύματος- τάσης υπερπήδησης, πρόβλεψη υπερπήδ., μετρήσεις σε μονωτήρες δικτύου, <u>σταθμοί δοκιμών:</u> έρημος Νεγκέβ, Ρότεν- μπεργκ, Ασκελον, Χάιφα</p>
<p>S. Campello Oliveira, E. Fontana, F. J. M. M. Cavalcanti <i>και συνεργάτες</i></p>	<p>Βορειοανατολική Βραζιλία, δίκτυο μεταφοράς</p>	<p>μετρήσεις στο πεδίο (στους πυλώνες του δικτύου)</p>	<p>κατασκευή μετρητικής διάταξης ανίχνευσης κορυφών ρεύματος, μέτρηση ρεύματος μονωτήρων υπό πλύσιμο, σύστημα μετάδοσης δεδομένων μέσω δορυφορικής σύνδεσης</p>



Εικόνα 2.1: Συγκεντρωτική απεικόνιση των περιοχών στις οποίες είτε έχουν κατασκευαστεί ειδικοί υπαίθριοι σταθμοί δοκιμών (κόκκινες κουκκίδες) είτε έχουν γίνει μετρήσεις στους μονωτήρες του υπάρχοντος δικτύου (κίτρινες κουκκίδες).

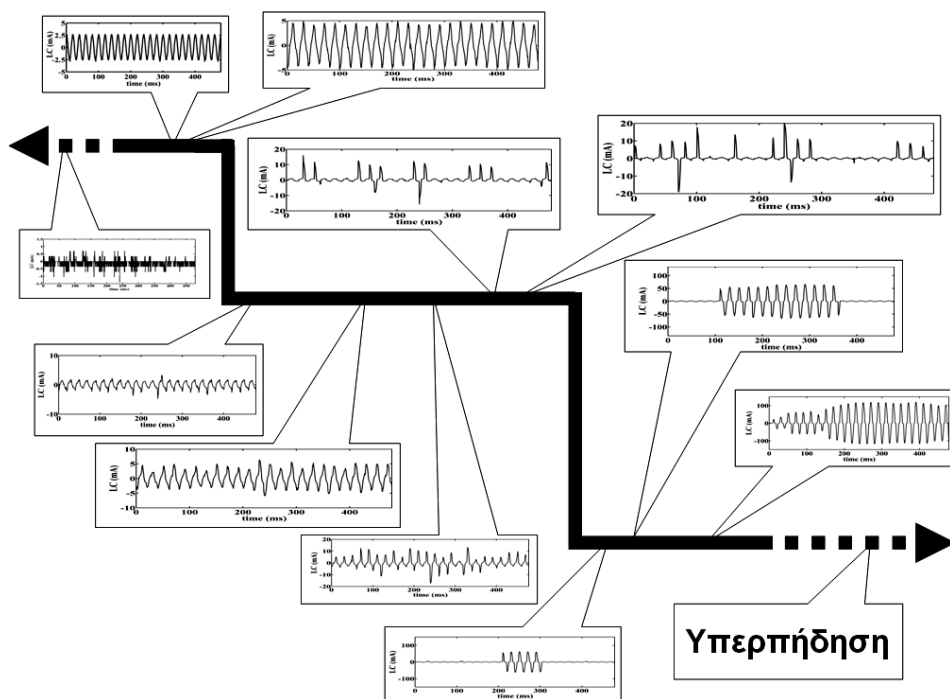
2.3 Ρεύμα διαρροής και επιφανειακή δραστηριότητα

Συγκεντρώνοντας τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις πλήθους ερευνητών από την ενότητα 2.2, η επιφανειακή δραστηριότητα των μονωτήρων υψηλής τάσης έχει αντιστοιχηθεί με συγκεκριμένα σχήματα κυματομορφών ρεύματος διαρροής σε εργαστηριακές επιταχυνόμενες δοκιμές:

- Το πρώτο στάδιο (**πρώιμη δραστηριότητα**) περιλαμβάνει τα πρώιμα στάδια δραστηριότητας, όπου ο μονωτήρας διατηρεί σε μεγάλο βαθμό τη διηλεκτρική του συμπεριφορά και η επιφανειακή δραστηριότητα είναι σχεδόν αμελητέα. Σε αυτό το στάδιο, το ρεύμα διαρροής είναι αρχικά χωρητικό ημιτονοειδές, λόγω της λειτουργίας του μονωτήρα ως πυκνωτή. Στη συνέχεια γίνεται ωμικό ημιτονοειδές, λόγω της ροής ρεύματος στο αγώγιμο διάλυμα που έχει σχηματιστεί στην επιφάνεια. Καθώς η δραστηριότητα προχωρά και η διηλεκτρική συμπεριφορά υποβαθμίζεται, το ρεύμα αρχίζει να παραμορφώνεται παίρνοντας τριγωνική μορφή (**παραμορφωμένο ημιτονοειδές**).

- Το δεύτερο στάδιο (**ασθενείς εκκενώσεις**) περιλαμβάνει την εμφάνιση ασθενών εκκενώσεων, που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια του μονωτήρα πριν τον σχηματισμό ισχυρών τόξων, και δεν είναι εύκολα διαχωρίσιμο από τα άλλα δύο στις οριακές τους περιοχές. Η έναυση ασθενών εκκενώσεων αντικατοπτρίζεται στο ρεύμα διαρροής με παλμούς που υπερτίθενται στις κορυφές των ημιπεριόδων των ημιτόνων. Καθώς η δραστηριότητα προχωρά, οι εκκενώσεις γίνονται περισσότερες και πιο ισχυρές, εμφανίζονται βραχύβια ασθενή τόξα σε διάφορα σημεία και οι παλμοί αυξάνουν σε εύρος και συχνότητα εμφάνισης.

- Το τρίτο στάδιο (**ισχυρές εκκενώσεις**) περιγράφει το τελικό στάδιο δραστηριότητας πριν την υπερπήδηση, στο οποίο λαμβάνουν χώρα ισχυρές εκκενώσεις (τόξα) ξηρής ζώνης. Στο στάδιο αυτό, οι υπερτιθέμενοι παλμοί είναι διαδοχικοί, λόγω της παρουσίας ισχυρών και εκτεταμένων τόξων, και η προκύπτουσα κυματομορφή έχει συμμετρικό μη γραμμικό σχήμα με μεγάλες τιμές κορυφής.



Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση της δραστηριότητας σε πραγματικές συνθήκες [210].

Στην περίπτωση καταγραφής σε πραγματικές συνθήκες παρατηρούνται αντίστοιχες κυματομορφές, με την διαφορά ότι το χωρητικό ρεύμα είναι συνήθως εκτός ενδιαφέροντος (και ακρίβειας καθώς υπερκαλύπτεται από τον περιβάλλοντα θόρυβο), η πορεία της δραστηριότητας δεν είναι μονοσήμαντη (όπως στις επιταχυνόμενες δοκιμές), αλλά παρουσιάζει οπισθοχωρήσεις και άλματα (φάσεις) ανάλογα με τις συνθήκες και το υλικό, ενώ κυματομορφές προγενέστερων σταδίων μπορεί να παρουσιάσουν μεγαλύτερο εύρος (και αντίστροφα) κατά τη διάρκεια διαφορετικών φάσεων [210]. Μια σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών σταδίων σε συνάρτηση με τις καταγραφόμενες κυματομορφές και σε αντιστοιχία με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν εργαστηριακές δοκιμές, παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2.

2.4 Σύνοψη

Εξετάζοντας, στο σύνολό τους, τις πληροφορίες του παρόντος κεφαλαίου, συμπεραίνεται ότι υπάρχει ένας βασικός διαχωρισμός μεταξύ μετρήσεων στο εργαστήριο και μετρήσεων στο πεδίο. Οι πρώτες προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις εξεταζόμενες παραμέτρους, αλλά δεν μπορούν να αναπαράγουν τις πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος. Οι δεύτερες παρέχουν μια ακριβή άποψη για τη συμπεριφορά των μονωτήρων, αλλά είναι πολύ πιο δύσκολες τεχνικά και απαιτούν μακροπρόθεσμη παρακολούθηση και συσσώρευση μεγάλου όγκου μετρήσεων για σαφή συμπεράσματα, κάτι που καθιστά αναγκαία τη χρήση συστήματος συλλογής δεδομένων. Μετρήσεις πεδίου έχουν διεξαχθεί σε περιβάλλον θαλάσσιο, τροπικό, βιομηχανικό, ερημικό, ενδοχώρας και αγροτικό σε πληθώρα χωρών (Εικόνα 2.1), ενώ εργαστηριακές μετρήσεις ρεύματος διαρροής εκτελούνται σε δοκιμές που αφορούν αξιολόγηση υλικών και μονωτήρων. Το ρεύμα μετράται είτε ως πτώση τάσης κατά μήκος μιας αντίστασης, είτε με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων και μετασχηματιστών, με συχνότερα μετρούμενες παραμέτρους τις εμφανιζόμενες κορυφές (*bin counting*), την rms τιμή και το φορτίο.

Η καταγραφή της πρωτογενούς κυματομορφής γίνεται συνηθέστερα στις εργαστηριακές μετρήσεις, ενώ στην περίπτωση μετρήσεων στο πεδίο, λόγω των προφανών δυσκολιών που αναφέρθηκαν, η κυματομορφή καταγράφεται αποσπασματικά ή καθόλου. Το βασικό πλεονέκτημα μέτρησης κυματομορφών ρεύματος διαρροής, έναντι των άλλων παραμέτρων, προκύπτει από το γεγονός ότι έχουν συνδεθεί με διαφορετικά στάδια της επιφανειακής δραστηριότητας, καθώς η εξέλιξη του φαινομένου της ρύπανσης αντικατοπτρίζεται στο σχήμα της κυματομορφής (Ενότητα 2.3). Έτσι, η καταγραφή και παρακολούθησή τους δίνει άμεση γνώση της ηλεκτρικής δραστηριότητας που έλαβε χώρα στην επιφάνεια των μονωτήρων, αλλά δεν μπορεί να εξυπηρετήσει την εποπτεία, διασύνδεση και έρευνα της συμπεριφοράς τους. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας των μετρήσεων αυτών (υπολογισμός βασικών ηλεκτρικών μεγεθών, τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών, διαχωρισμός διαφορετικών συνιστωσών στο πεδίο του χρόνου, συχνотική ανάλυση, τεχνικές αναγνώρισης προτύπων) για την εξαγωγή μίας ποιοτικής και ποσοτικής περιγραφής της συμπεριφοράς των μονωτήρων.

Κεφάλαιο 3 • Η περίπτωση της Κρήτης

3.1 Εισαγωγή

Η Κρήτη αποτελεί από άποψη ρύπανσης μια παγκόσμια ιδιαιτερότητα για δύο κυρίως λόγους: τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες της Ανατολικής Μεσογείου και το βασικό σχεδιασμό του Συστήματος Μεταφοράς σε σχέση με τη γεωγραφία του νησιού [211], [212]. Αναλυτικότερα, οι βροχές κατανέμονται ανισομερώς κατά τη διάρκεια του έτους, δημιουργώντας μία ξηρή περίοδο 6 έως 7 μηνών (από τέλη Απριλίου μέχρι τέλη Οκτωβρίου) που συμπίπτει με συστηματικούς βόρειους ανέμους κατά τη διάρκεια της ημέρας και σχετική άπνοια κατά τη διάρκεια της νύχτας. Παράλληλα, ακολουθώντας τον αναπτυξιακό χαρακτήρα του νησιού, οι περισσότεροι υποσταθμοί και γραμμές μεταφοράς είναι εκτεθειμένοι στη θαλάσσια ρύπανση των βορείων παραλίων. Έτσι, η έντονη υγρασία που αναπτύσσεται κυρίως τον Αύγουστο, όταν η θερμοκρασία είναι αυξημένη, σε συνδυασμό με τους μεταφερόμενους από τον αέρα ρύπους, βρίσκουν πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη συνθηκών υπερπήδησης πάνω στους μονωτήρες.



Εικόνα 3.1: Το σύστημα μεταφοράς της Κρήτης.

Κατά συνέπεια, από τα πρώτα βήματα ανάπτυξης του Συστήματος Μεταφοράς του νησιού, οι μονωτήρες υψηλής τάσης, αρχικά από γυαλί και πορσελάνη, υπέφεραν από έντονη θαλάσσια ρύπανση και οδηγήθηκαν σε πολλαπλές αστοχίες. Μάλιστα, τα σφάλματα λόγω ρύπανσης αποτελούσαν αξιοσημείωτο ποσοστό επί των συνολικών σφαλμάτων που καταγράφονταν στο δίκτυο [213]. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος επιστρατεύτηκαν διάφορες μέθοδοι, όπως ο καθαρισμός (πλύσιμο) των μονωτήρων εντός και εκτός τάσης, η εφαρμογή επικαλύψεων RTV στους υπάρχοντες κεραμικούς μονωτήρες και η σταδιακή αντικατάστασή τους από συνθετικούς μονωτήρες. Επιπλέον, εδώ και χρόνια έχει ξεκινήσει ένα εκτενές ερευνητικό πρόγραμμα για την περαιτέρω διερεύνηση της

συμπεριφοράς των μονωτήρων σε πραγματικές συνθήκες καταπόνησης. Στο πλαίσιο αυτό, παρακολουθείται συνεχώς το ρεύμα διαρροής σε πορσελάνινους και συνθετικούς μονωτήρες διαφόρων τύπων, εγκατεστημένους σε διάφορα σημεία του Συστήματος Μεταφοράς, με πιο πρόσφατο βήμα την κατασκευή του Υπαίθριου Σταθμού Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» από τον ΔΕΔΔΗΕ και τη μεταφορά όλων των μετρήσεων εκεί.

3.2 Στάδια της έρευνας

Το ερευνητικό πρόγραμμα ξεκίνησε το 2001, έπειτα από υπογραφή σύμβασης μεταξύ της, τότε, ΔΕΗ και του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Πανεπιστημίου Πατρών. Μακροχρόνιος στόχος του προγράμματος ήταν, αφενός, η κατανόηση του φαινομένου ρύπανσης σε συσχετισμό με τις τοπικές συνθήκες της Κρήτης και, αφετέρου, η αξιολόγηση της συμπεριφοράς καινούριων μονωτικών υλικών, μέσω διεξαγωγής μετρήσεων στο πεδίο και στο εργαστήριο [212]. Οι πρώτες μετρήσεις ρεύματος διαρροής μονωτήρων υψηλής τάσης στο πεδίο πραγματοποιήθηκαν ύστερα από την εγκατάσταση μετρητικής διάταξης στον υποσταθμό Ηράκλειο II. Η συλλογή και επεξεργασία κυματομορφών ρεύματος συνεχίστηκε τα επόμενα χρόνια [214], [215], [216], με την τοποθέτηση και δεύτερης μετρητικής διάταξης στον υποσταθμό των Λινοπεραμάτων.

Τα επόμενα χρόνια ακολούθησε, στα πλαίσια της εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής του Κ. Σιδεράκη [217], εκτεταμένη διερεύνηση της συμπεριφοράς των πορσελάνινων μονωτήρων, επικαλυμμένων με RTV και μη, με μετρήσεις του ρεύματος διαρροής τόσο στο πεδίο [218], [219], όσο και στο εργαστήριο [220], [221], οι δεύτερες σε συνεργασία με τον καθηγητή S.M. Gubanski του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Τσάλμερς, στο Γκέτεμποργκ της Σουηδίας. Επίσης, μελετήθηκε σε βάθος το φαινόμενο απώλειας και ανάκτησης υδροφοβίας των επικαλύψεων RTV, για την καλύτερη κατανόηση της ανώτερης ηλεκτρικής τους συμπεριφοράς.

Με την έλευση του Δ. Πυλαρινού [210], η έρευνα προσανατολίστηκε σε τεχνικές επεξεργασίας σήματος για την περαιτέρω ανάλυση των καταγεγραμμένων κυματομορφών [222], [223]. Το επόμενο βήμα ήταν η ανάπτυξη λογικής φιλτραρίσματος των μετρήσεων, για την αντιμετώπιση της επίδρασης του βιομηχανικού θορύβου [224], και, κυρίως, τη διαχείριση του όγκου των δεδομένων που προκύπτουν από τη μακροχρόνια παρακολούθηση και συλλογή κυματομορφών ρεύματος διαρροής στο πεδίο [225], [226]. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα έχει στραφεί προς τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και λογισμικού για την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση των κυματομορφών [227], [228], [229], [230], [231], [232], σύμφωνα με τα στάδια που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.3. Επιπροσθέτως, οι μετρητικές διατάξεις μετεγκαταστάθηκαν [222] στον υπαίθριο σταθμό δοκιμών «ΤΑΛΩΣ», όπου διεξάγονται πλέον όλες οι υπαίθριες μετρήσεις και δοκιμές.

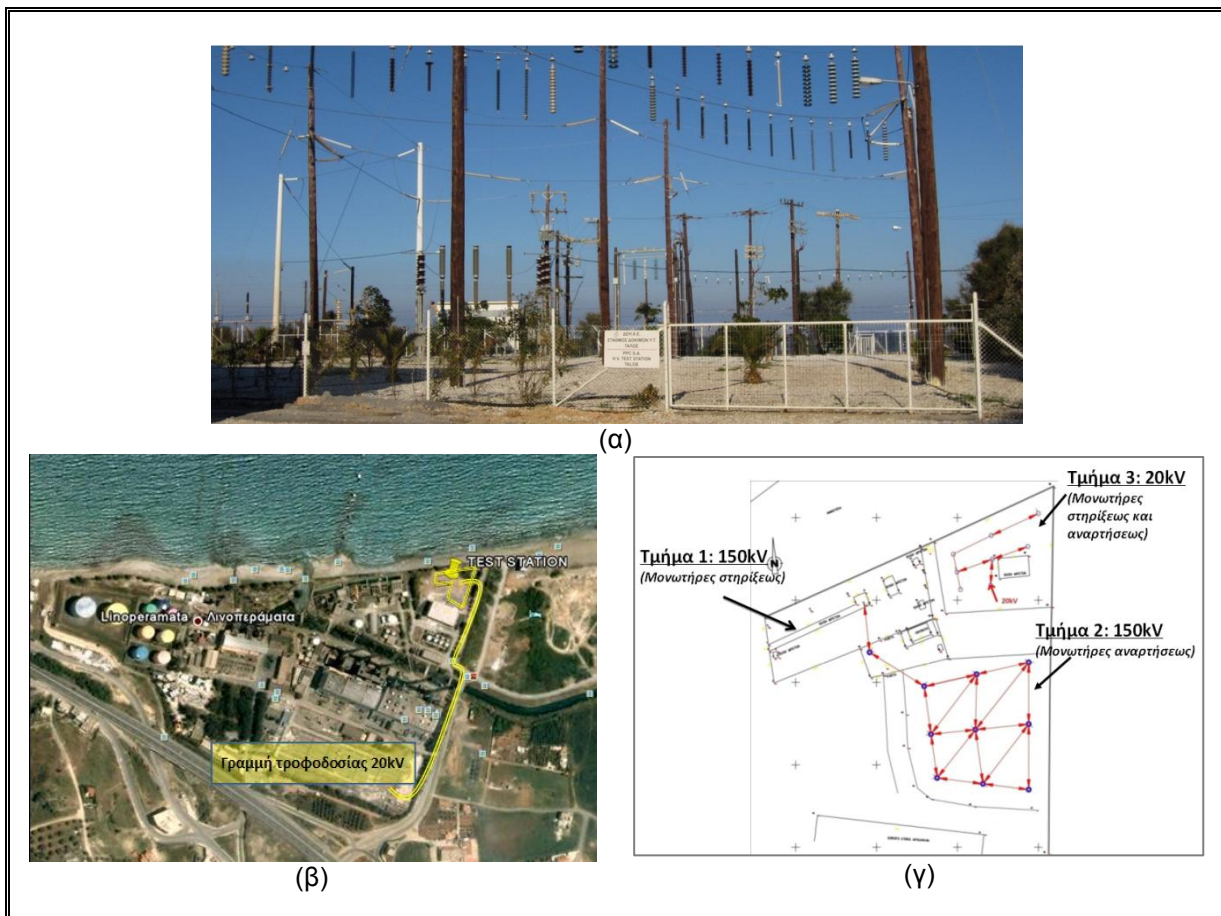
3.3 Ο υπαίθριος ερευνητικός σταθμός δοκιμών «ΤΑΛΩΣ»

Ο σταθμός βρίσκεται στο ευρύτερο χώρο του υποσταθμού 150kV των Λινοπεραμάτων (Εικόνα 3.2), λίγα μόλις μέτρα από την παραλία, στα δυτικά προάστια της πόλης του Ηρακλείου. Η τοποθεσία αυτή δεν επιλέχθηκε τυχαία, καθώς συνδυάζει στο μέγιστο όλους τους παράγοντες που συνεισφέρουν στο

πρόβλημα ρύπανσης της Κρήτης. Ηλεκτρίσθηκε για πρώτη φορά το 2008 [233], έπειτα από ολοκλήρωση μέρους των εργασιών κατασκευής του, και τροφοδοτείται με αποκλειστική γραμμή 20kV από τον υποσταθμό Λινοπεραμάτων.

Ο σταθμός προσφέρεται για παρακολούθηση και μέτρηση του ρεύματος διαρροής κεραμικών και συνθετικών μονωτήρων υπό υψηλή εναλλασσόμενη τάση δύο επιπέδων, 20kV και 150kV. Η επίτευξη της τάσης των 150kV γίνεται με χρήση της μίας φάσης ενός τριφασικού μετασχηματιστή ανύψωσης 20/150kV, ο οποίος λόγω παλαιότητας και αστοχιών είχε αντικατασταθεί και εγκαταλειφθεί. Ο χώρος του σταθμού ενδείκνυται και για κατασκευή διατάξεων εκτός τάσης, με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών στη διαδικασία γήρανσης της επιφάνειας των μονωτήρων (μετρήσεις *ESDD*, *NSDD*). Επίσης, διαθέτει πατενταρισμένη διάταξη παραγωγής υψηλού ρεύματος (περίπου 1100A) για δοκιμές αντοχής των επαφών σε δίκτυα Υ.Τ. Στα μελλοντικά πλάνα ανήκει η κατασκευή επέκτασης DC τμήματος, για δοκιμές μονωτήρων παντός τύπου υπό συνεχή τάση.

Στην επίσημη ιστοσελίδα του σταθμού, talos-ts.com, υπάρχουν αναρτημένες όλες οι επιστημονικές δημοσιεύσεις της ερευνητικής ομάδας του νησιού και αναφέρονται όλες οι συνεργασίες με τα διάφορα πανεπιστημιακά και ερευνητικά ιδρύματα της χώρας. Επιπλέον, στο παράρτημα της παρούσας εργασίας (σελ. 119) επισυνάπτονται οι δύο όψεις του φυλλαδίου που μοιράστηκε στην αντιπροσωπεία των μελών του διεθνούς συνεδρίου ISAP κατά την επίσκεψή τους στο σταθμό δοκιμών το 2011 (σχεδιασμένο από τους Δ. Πυλαρινό και Κ. Σιδεράκη).

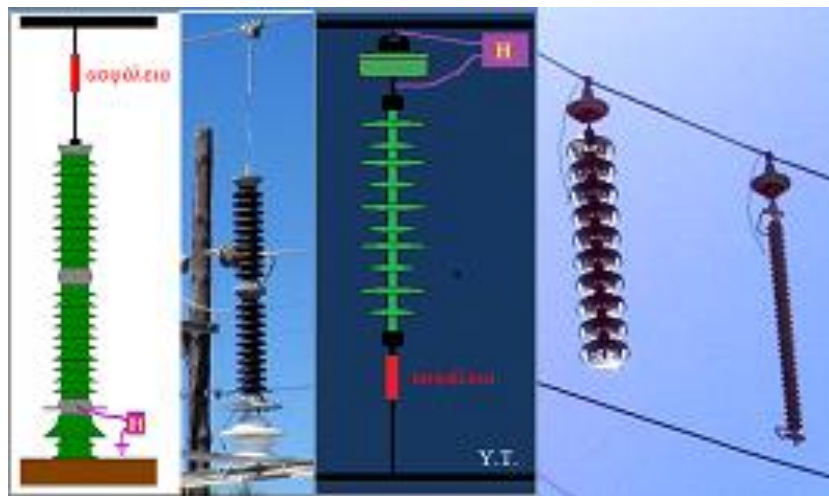


Εικόνα 3.2: (α) Η είσοδος του Σταθμού Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» (β) Η γραμμή τροφοδοσίας του Σταθμού Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» και η θέση του στον Υποσταθμό Λινοπεραμάτων (γ) Κάτοψη

Κεφάλαιο 4 • Αισθητήρες Hall

4.1 Εισαγωγή

Για τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής στο σταθμό δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» χρησιμοποιούνται αισθητήρες τύπου Hall, συνδεδεμένοι εν σειρά με τους μονωτήρες υπό δοκιμή από την πλευρά του αγωγού γείωσης. Για να εξασφαλιστεί η πορεία του ρεύματος διαρροής μέσω των αισθητήρων Hall στη γη, και έτσι να πραγματοποιηθεί η μέτρησή του, χρησιμοποιούνται ενδιάμεσοι (stand – off) μονωτήρες. Επίσης, έχουν τοποθετηθεί κατάλληλες εκρηκτικές ασφάλειες για την προστασία της μετρητικής διάταξης από πιθανή εκδήλωση σφάλματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1: Η συνδεσμολογία αισθητήρων για μονωτήρες στήριξης και ανάρτησης και ανάλογες φωτογραφίες από «ΤΑΛΩΣ» [210].

4.2 Αρχή λειτουργίας – Φαινόμενο Hall

Η λειτουργία των αισθητήρων τύπου Hall βασίζεται στο φαινόμενο που παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον Edwin Hall το 1879. Ο Hall ανακάλυψε ότι όταν τεθεί εντός μαγνητικού πεδίου ένα αγωγίμο έλασμα που διαρρέεται από ρεύμα, τότε αναπτύσσεται μία διαφορά δυναμικού σε διεύθυνση που είναι κάθετη τόσο στο ρεύμα, όσο και στο μαγνητικό πεδίο. Η τάση αυτή είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος και της έντασης του μαγνητικού πεδίου [234]. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως φαινόμενο Hall, προξενείται από τη μονομερή απόκλιση των φορέων φορτίου, λόγω της αλληλεπίδρασης με το μαγνητικό πεδίο. Η σωστή ανάλυση των αποτελεσμάτων δίνει πληροφορίες για το πρόσημο του φορτίου των

φορέων και για την πυκνότητά τους. Το φαινόμενο Hall χρησιμοποιείται επίσης για τη μέτρηση μαγνητικών πεδίων.

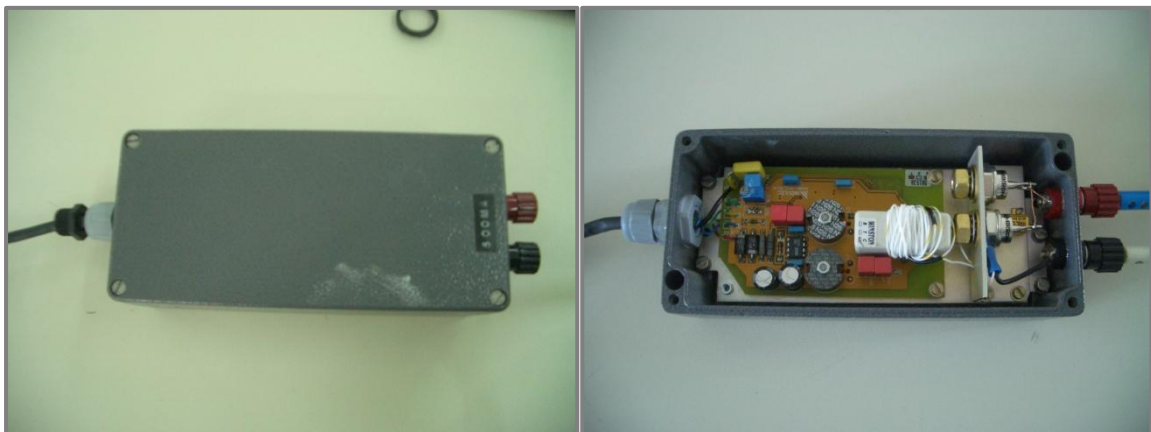
Οι αισθητήρες Hall λαμβάνουν το προς μέτρηση ρεύμα ως είσοδο και παράγουν μία, ανάλογη του ρεύματος, τάση ως έξοδο. Εάν η συμπεριφορά τους είναι απολύτως γραμμική, τότε οι μετρήσεις και οι παρατηρούμενες κυματομορφές της τάσης εξόδου αντικατοπτρίζουν επακριβώς το ρεύμα εισόδου, εφόσον πολλαπλασιαστούν με τον κατάλληλο συντελεστή αναλογίας, ο οποίος συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή.

4.3 Επιλογή αισθητήρων

Οι αισθητήρες αυτοί προτιμήθηκαν για τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής στο δίκτυο της Κρήτης διότι έχουν τρία βασικά πλεονεκτήματα: αξιοσημείωτα χαμηλή αντίσταση εισόδου, μεγάλο εύρος ζώνης (έως 20kHz) και γαλβανική απομόνωση του ηλεκτρικού συστήματος μέτρησης από την πλευρά της υψηλής τάσης. Επίσης, διαθέτουν ειδική θωράκιση που εξασφαλίζει τη στεγανότητά τους (*απαραίτητη στα πρώτα στάδια καταγραφών όπου εφαρμοζόταν stand – alone λειτουργία*) και εσωτερικό πρόσθετο κύκλωμα προστασίας από υπέρταση (έως 6kV).

Κατασκευάζονται από την εταιρεία CTLab στη Νότια Αφρική, όπως και το καταγραφικό OLCA (βλ. κεφάλαιο 5) και έχουν τη δυνατότητα να μετρούν δύο κλάσεις ρευμάτων: έως 500 mA και έως 3 A. Επειδή τα ρεύματα διαρροής κυμαίνονται σε περιοχές mA (*ενδεικτικά αναφέρεται ότι ρεύμα μεγαλύτερο των 350mA θεωρείται μη αποδεκτό και ο μονωτήρας ενέχει άμεσο κίνδυνο να μεταβεί σε πλήρη υπερπήδηση*), χρησιμοποιείται και εξετάζεται μόνο η πρώτη κλάση μέτρησης.

Στην εικόνα 4.2 απεικονίζεται ο αισθητήρας Hall με και χωρίς το εξωτερικό του περίβλημα. Το εσωτερικό κύκλωμα αποτελείται από ένα πηνίο Hall και πληθώρα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, πυκνωτών και αντιστάσεων για την ενίσχυση και μεταφορά του σήματος από την είσοδο (ρεύμα) στην έξοδο (τάση). Η ακριβής συνδεσμολογία δεν είναι δυνατόν να παρατεθεί στην παρούσα εργασία, καθώς πρόκειται για ιδιοκατασκευή της εταιρείας και υπόκειται σε πνευματικά δικαιώματα.

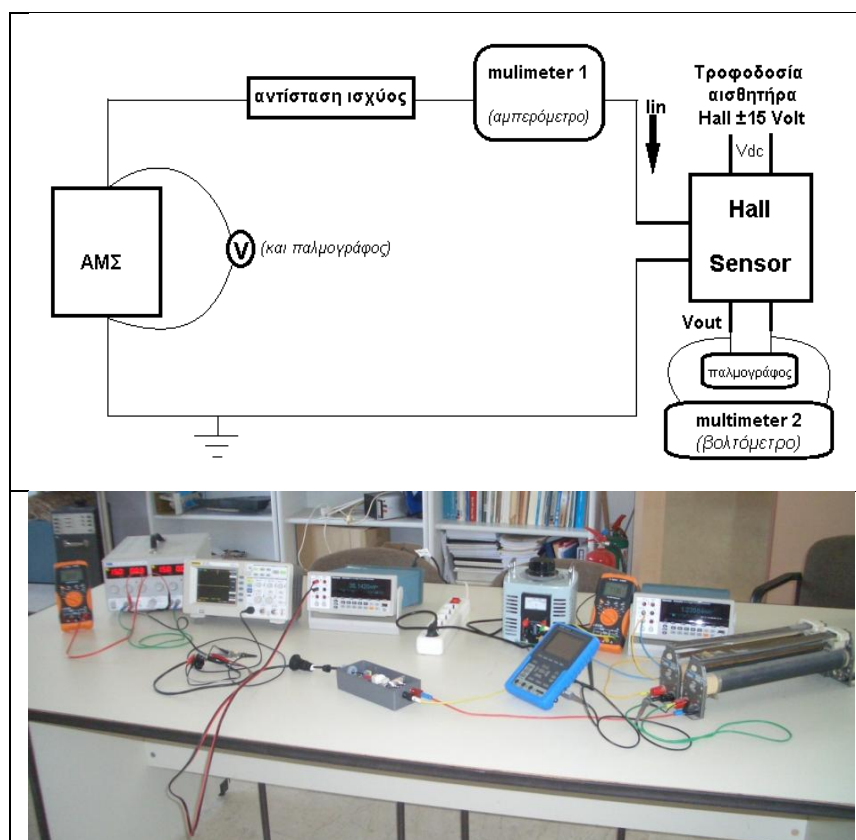


Εικόνα 4.2: Φωτογραφία του αισθητήρα Hall από το Φωτοβολταϊκό Πάρκο του ΤΕΙ Κρήτης.

Ο αισθητήρας λειτουργεί με τροφοδοσία ± 15 Volt DC (*συνολικό εύρος 30V_{DC}*) και αντίστοιχα παράγει στην έξοδό του τάση 0 ~ (± 15 Volt), ανάλογα με την τιμή του ρεύματος εισόδου.

4.4 Πείραμα βαθμονόμησης

Ο έλεγχος της γραμμικότητας του αισθητήρα Hall έγινε στο χώρο του Φωτοβολταϊκού Πάρκου του ΤΕΙ Κρήτης. Για την κατασκευή του κυκλώματος βαθμονόμησης (Εικόνα 4.3) χρειάστηκαν: ένας φορητός αυτομετασχηματιστής (Variac) ικανότητας 2000VA (0-250V / 8A), δύο αντιστάσεις ισχύος ονομαστικού μεγέθους 320Ω / 1,4A η καθεμία, τροφοδοσία αισθητήρα Hall ±15 Volt (μετρήθηκαν +14,97V / -15,05V), δύο ψηφιακά πολύμετρα Tektronix DMM4040 [235] για την ακριβή μέτρηση του ρεύματος εισόδου και της τάσης εξόδου του αισθητήρα, ένα φορητό ψηφιακό βολτόμετρο, με ενσωματωμένο παλμογράφο, για τη μέτρηση της τάσης του ΑΜΣ και την παρακολούθηση της κυματομορφής εισόδου, και ένας ψηφιακός εργαστηριακός παλμογράφος για την παρακολούθηση της κυματομορφής της τάσης εξόδου του αισθητήρα.



Εικόνα 4.3: Κύκλωμα βαθμονόμησης αισθητήρα Hall και φωτογραφία της πραγματικής διάταξης.

Η δοκιμή έγινε σταδιακά, ρυθμίζοντας την τάση του αυτομετασχηματιστή, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό ρεύμα εισόδου στον αισθητήρα, και στη συνέχεια μετρούνταν η αντίστοιχη τάση εξόδου. Το βήμα μέτρησης ήταν:

- για τις μετρήσεις από 0 - 10 mA → βήμα 1mA.
- για τις μετρήσεις από 10 - 50 mA → βήμα 5mA.
- για τις μετρήσεις από 50 - 100 mA → βήμα 10mA.
- για τις μετρήσεις από 100 - 500 mA → βήμα 20mA.

Το ψηφιακό πολύμετρο, που χρησιμοποιήθηκε ως αμπερόμετρο, είχε δύο κλίμακες μέτρησης του ρεύματος: 0 – 400mA και 400mA – 10A, Στην κλίμακα 0 – 400 mA χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο αντιστάσεις εν σειρά, συνολικού μεγέθους

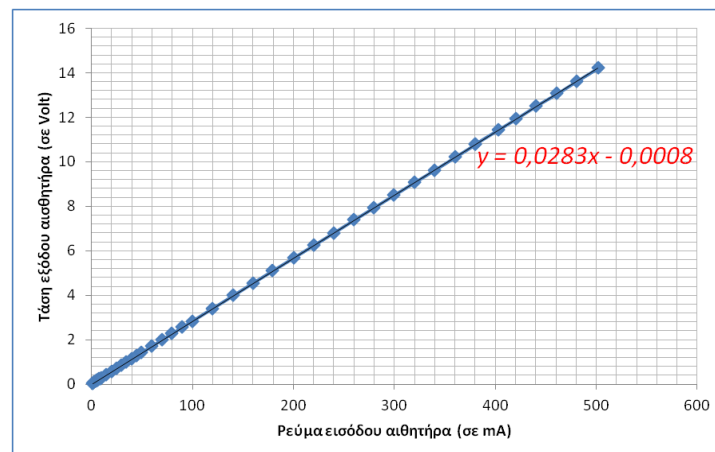
620,1 Ω (μετρήθηκε), ενώ στην κλίμακα 400mA - 10A χρησιμοποιήθηκε μόνο η μία αντίσταση μεγέθους 311,7 Ω (μετρήθηκε). Η αλλαγή της κλίμακας του πολυμέτρου έγινε στα 380mA. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

$V_{var,ac}$ (Volt)	$V_{hall,dc}$ (Volt)	$I_{in,ac}$ (mA)	$V_{out,ac}$ (Volt)	$V_{var,ac}$ (Volt)	$V_{hall,dc}$ (Volt)	$I_{in,ac}$ (mA)	$V_{out,ac}$ (Volt)
0,7722	30,02	1,238	0,035022	62,52	30,02	99,973	2,829
1,55	30,02	2,478	0,070402	75,17	30,02	120,096	3,399
2,095	30,02	3,356	0,095069	88,1	30,02	140,566	3,981
2,715	30,02	4,368	0,123	100,51	30,02	160,084	4,539
3,409	30,02	5,459	0,155	112,7	30,02	179,85	5,098
3,978	30,02	6,378	0,181	125,9	30,02	200,832	5,688
4,369	30,02	7,006	0,198	138,4	30,02	220,625	6,243
5,073	30,02	8,133	0,23	150,5	30,02	240,022	6,794
5,732	30,02	9,187	0,26	163,5	30,02	260,408	7,38
6,413	30,02	10,281	0,291	175,9	30,02	280,182	7,938
9,238	30,02	14,81	0,419	188,1	30,02	299,62	8,489
12,54	30,02	20,111	0,569	201	30,02	320,016	9,062
15,7	30,02	25,186	0,713	213,3	30,02	339,688	9,611
18,91	30,02	30,325	0,857	226,5	30,02	360,564	10,206
21,87	30,02	35,046	0,993	239,2	30,02	380,631	10,784
25,01	30,02	40,081	1,135	120	30,02	380,3	10,796
28,18	30,02	45,222	1,28	127	30,02	403,3	11,438
31,23	30,02	50,06	1,416	132,5	30,02	420,8	11,923
37,42	30,02	59,904	1,695	138,7	30,02	440,3	12,497
43,79	30,02	70,046	1,986	145,2	30,02	461,4	13,063
50,05	30,02	80,062	2,269	151,3	30,02	480,5	13,612
56,38	30,02	90,142	2,552	157,9	30,02	501,9	14,204

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα πειράματος βαθμονόμησης

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, η δοκιμή έγινε για ρεύμα μέτρησης (εισόδου) από 1.2 mA (ελάχιστο δυνατό) έως 501.9 mA και αντίστοιχη τάση εξόδου από 0.03 V έως 14.204 V. Ο αισθητήρας Hall προέκυψε απολύτως γραμμικός (Εικόνα 4.4) σε όλο το εύρος της εξεταζόμενης περιοχής, και η σχέση εξόδου (Τάσης) – εισόδου (Ρεύματος) είναι:

$$V \text{ (Volt)} = 0.0283 I \text{ (mA)} - 0.0008$$



Εικόνα 4.4: Χαρακτηριστική αισθητήρα Hall

Κεφάλαιο 5 • Σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων

5.1 Εισαγωγή

Η διαχείριση και επεξεργασία του συνόλου των μετρήσεων του ρεύματος διαρροής, που συλλέγονται μέσω του αισθητήρα Hall, γίνεται με τη σύνδεση του αισθητήρα σε ένα σύστημα συλλογής δεδομένων (*Data Acquisition System - DAS*). Η χρήση DAS επιβάλλεται σε μετρήσεις στο πεδίο, κυρίως λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που καταγράφονται εξαιτίας της μακροχρόνιας παρακολούθησης. Τα σύγχρονα DAS συνήθως διασυνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή και συνοδεύονται από κατάλληλο λογισμικό, το οποίο ο κάθε χρήστης προσαρμόζει στις δικές του ανάγκες, ενώ συχνά υπάρχει και η δυνατότητα ανάπτυξης αυτόνομου λογισμικού ανάλυσης των μετρήσεων, μέσω διαφόρων προγραμματιστικών περιβαλλόντων.

Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά τα δύο καταγραφικά συστήματα, παλιό και νέο, του σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» και παρατίθεται συγκριτική αξιολόγησή τους.

5.2 Αρχικό καταγραφικό σύστημα (OLCA)

Το πρώτο καταγραφικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ειδικά σχεδιασμένο Online Leakage Current Analyzer (OLCA) της C7lab [236]. Πρόκειται για μια από τις πλέον διαδεδομένες συσκευές παρακολούθησης ρεύματος διαρροής στο πεδίο, και έχει αναφερθεί η χρήση του σε πληθώρα χωρών από διαφορετικές εταιρίες ([58] - [61], [98] - [100], [146], [148], [149], [170], [200], [201], [203]).

Κάθε συσκευή διέθετε 9 κανάλια για την ταυτόχρονη παρακολούθηση του ρεύματος διαρροής από 9 μονωτήρες, με συνεχή δειγματοληψία, και 3 κανάλια για τη μέτρηση της τάσης. Ο ρυθμός δειγματοληψίας που χρησιμοποιούσε ήταν 2 kHz, ακρίβεια 12 bit και εύρος μέτρησης καναλιών ρεύματος ± 500 mA ή ± 3 A, ανάλογα με τη σύνδεση στον αισθητήρα Hall. Για την αποθήκευση των μετρήσεων χρησιμοποιούνταν μνήμη flash 48 MB.

Η OLCA είναι μια συσκευή κυρίως προσανατολισμένη στην καταγραφή στατιστικών στοιχείων όπως η τιμή κορυφής, η rms τιμή, το φορτίο κλπ. Για την καταγραφή των κυματομορφών, εφάρμοζε τη λογική του χρονικού παραθύρου, αποθηκεύοντας μία κυματομορφή, διάρκειας 480ms, ανά κανάλι και ανά χρονικό παράθυρο καθοριζόμενο από το χρήστη (μεταξύ 1-24 ωρών, συνήθως 24 ωρών). Η κυματομορφή που επιλεγόταν προς αποθήκευση ήταν εκείνη που εμφάνιζε τη μεγαλύτερη τιμή κορυφής εντός του παραθύρου [237]. Επιπλέον, για την επέκταση

της έρευνας προς την κατεύθυνση των κυματομορφών, απαιτήθηκε η συγγραφή συμπληρωματικού αυτόνομου λογισμικού σε MATLAB [238].

5.3 Αδυναμίες OLCA - Προδιαγραφές νέου συστήματος

Το σύστημα OLCA παρουσίαζε αρκετές αδυναμίες, με σημαντικότερες το «πάγωμα» της συσκευής και την απώλεια των μετρήσεων μέχρι να γίνει επανεκκίνηση, την απώλεια του επιπέδου του μηδενός, αλλά κυρίως την αποσπασματική μόνο καταγραφή κυματομορφών, η οποία επέτρεπε τον εντοπισμό προβλημάτων αλλά όχι και τον πλήρη καθορισμό της επίδρασης τους στα στατιστικά μεγέθη [210]. Επιπλέον, η λογική καταγραφής όσον αφορά τις κυματομορφές οδηγούσε στην καταγραφή, σε μεγάλα ποσοστά, κυματομορφών θορύβου [224].

Τα προβλήματα αυτά συνδυάζονταν με την προβληματική υποστήριξη από την κατασκευάστρια εταιρεία, καθώς η απουσία αντιπροσώπου στη Ελλάδα αύξανε δραματικά το κόστος και τον απαιτούμενο χρόνο επιδιόρθωσης (*ακόμα και όταν η βλάβη καλυπτόταν από την εγγύηση αγοράς, υπήρχε το κόστος μεταφοράς στην Νότια Αφρική, όπου εδράζεται η εταιρεία*). Μάλιστα, το 2013 η CTLab αφαίρεσε τη συγκεκριμένη συσκευή από τον κατάλογο προϊόντων της, σταματώντας την παραγωγή και υποστήριξή της. Επιπλέον, οι εν γένει περιορισμένες δυνατότητες, η ηλικία των συσκευών και οι συνεχείς βλάβες που παρουσιάστηκαν την τελευταία περίοδο, σε συνδυασμό με την πρόοδο που έχει επιτευχθεί πλέον σε προσιτά οικονομικά καταγραφικά συστήματα αλλά και την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης των κυματομορφών, οδήγησαν στην απόφαση αγοράς νέου καταγραφικού συστήματος το φθινόπωρο του 2012.

Δεδομένου ότι η έρευνα επικεντρώνεται πλέον στο σταθμό δοκιμών «ΤΑΛΩΣ», ο οποίος όμως δεν έχει πάρει ακόμα την τελική του μορφή, η καινούρια συσκευή έπρεπε να διαθέτει υψηλή προσαρμοστικότητα και χαμηλό κόστος. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια που τέθηκαν για την αγορά της ήταν τα εξής:

- Δυνατότητα καταγραφής όσο το δυνατόν περισσότερων μονωτήρων (καναλιών).
- Δυνατότητα συνεχούς και όχι αποσπασματικής καταγραφής κυματομορφών, αλλά και υποστήριξη λειτουργιών σκανδαλισμού, με δυνατότητα ορισμού από το χρήστη του πλήθους των σημείων πριν και μετά τον σκανδαλισμό.
- Μικρό κόστος.
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης των ήδη διαθέσιμων αισθητήρων Hall για περαιτέρω συμπίεση του κόστους.
- Δυνατότητα εγκατάστασης σε διαφορετικά σημεία του σταθμού και επικοινωνίας από ποικίλες και αρκετά μεγάλες αποστάσεις, με Η/Υ στεγασμένο στον οικίσκο ελέγχου του σταθμού.
- Απλή και εύκολα υλοποιήσιμη εγκατάσταση, επικοινωνία και καταγραφή χωρίς την ανάγκη μετατροπών, ενισχύσεων και συμπληρωματικού software/hardware.
- Δυνατότητα εύκολης επέκτασης του δικτύου, συνεργασίας/συγχρονισμού με άλλες συσκευές κλπ.

- Όσο το δυνατόν μεγάλη και αξιόπιστη κατασκευάστρια εταιρεία, ειδικευμένη στο αντικείμενο, που να έχει, κατά προτίμηση, Έλληνα αντιπρόσωπο.

5.4 Το νέο Data Acquisition System (DATAQ DI-722-32)

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια προτιμήθηκε η καταγραφική συσκευή DI-722-32 της DATAQ (pc-based instrumentation) [239], η οποία διαθέτει:

- 32 διαφορεικά κανάλια εύρους ± 20 V, που επιτρέπουν τη χρήση των ήδη διαθέσιμων αισθητήρων Hall με τάση εξόδου ± 15 V.
- Δυνατότητα συνεχούς καταγραφής κυματομορφών, αλλά και λειτουργία σκανδαλισμού με δυνατότητα ορισμού σημείων πριν και μετά τον σκανδαλισμό.
- Συνολικό διαθέσιμο ρυθμό δειγματοληψίας 50 kHz, με δυνατότητα επιλογής του αριθμού των ενεργών καναλιών και του ρυθμού δειγματοληψίας τους.
- Πολύ χαμηλότερο κόστος από τον προκάτοχο της (της τάξεως του 1/10).
- Δυνατότητα επικοινωνίας με υπολογιστή μέσω καλωδίου Ethernet, που προσφέρει τη μεγαλύτερη ωφέλιμη απόσταση (100m) σε σχέση με τα απλά πρωτόκολλα επικοινωνίας (π.χ. USB, RS232).
- Δυνατότητα εγκατάστασης και λειτουργίας σε τοπικό δίκτυο, σε συνεργασία και συγχρονισμό με άλλες συσκευές τις ίδιες εταιρείας.
- Διαθέσιμο λογισμικό (για Windows) θέασης και καταγραφής κυματομορφών με αρκετές ιδιότητες, δυνατότητα επέκτασής του με χρήση πρόσθετων προγραμμάτων (addons) και δυνατότητα διασύνδεσης με ευρέως διαδεδομένα προγραμματιστικά περιβάλλοντα (Labview, Matlab, C++, Excel κλπ).
- Κατασκευάστρια εταιρεία την DATAQ Instruments (μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες παγκοσμίως που ειδικεύονται στην κατασκευή καταγραφικών), και αντιπροσώπευση στην Ελλάδα από την Norm Ηλεκτρονική ΕΠΕ (εταιρεία επίσης ειδικευμένη σε τέτοιου είδους εφαρμογές, με παρουσία από το 1982 και συνεργασία με εργαστήρια Πανεπιστημίων, ΤΕΙ και Δημόσιων Υπηρεσιών).

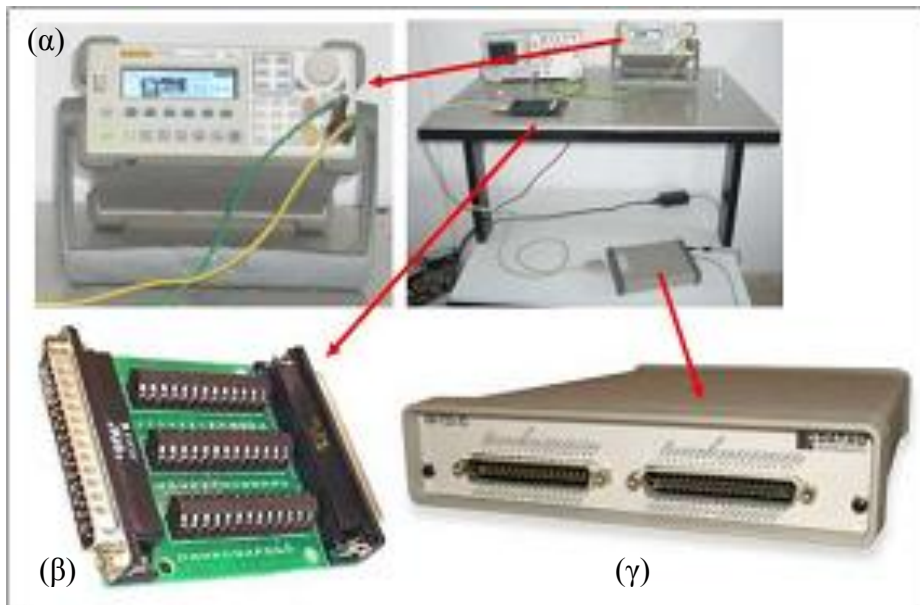


Εικόνα 5.1: Άποψη του Σταθμού Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» (εικόνα από Google Earth). Πιθανά σημεία τοποθέτησης της καταγραφικής συσκευής κατά τη φάση σχεδιασμού (A – Γ), η θέση που βρίσκεται ο οικίσκος ελέγχου (B) και η τελική θέση τοποθέτησης της συσκευής (Γ).

Στην Εικόνα 5.1 δίνεται άποψη του σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ», στην οποία σημειώνονται οι πιθανές θέσεις τοποθέτησης της καταγραφικής συσκευής καθώς και η θέση του οικίσκου ελέγχου. Η εικόνα υπογραμμίζει την σημασία της Ethernet σύνδεσης η οποία θα επέτρεπε την διασύνδεση με τον οικίσκο από όλες τις πιθανές θέσεις εγκατάστασης σε αντίθεση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

5.4.1 Έλεγχος και δοκιμές πριν την εγκατάσταση

Καθώς ο σταθμός δοκιμών βρισκόταν σε φάση εξέλιξης και κατασκευών καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής, η συσκευή αρχικά μεταφέρθηκε στο χώρο του Φωτοβολταϊκού Πάρκου του ΤΕΙ Κρήτης. Εκεί δοκιμάστηκαν και ερευνήθηκαν οι δυνατότητές της, καθώς όταν τεθεί σε λειτουργία θα είναι αφοσιωμένη για τη συνεχή καταγραφή κυματομορφών για διάστημα τουλάχιστον ενός χρόνου. Για τη δημιουργία των απαιτούμενων σημάτων εισόδου χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη παλμογεννήτρια [240]. Η συνολική διάταξη, καθώς και φωτογραφίες των διαφόρων μερών, φαίνονται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: (α) Η παλμογεννήτρια (β) Pass-through connector για τη σύνδεση των σημάτων εισόδου (γ) Η συσκευή

5.4.2 Λογισμικό

Το λογισμικό που συνοδεύει τη συσκευή περιέχει δύο βασικά προγράμματα [241]:

- Το **WinDaq Acquisition** (Waveform Recording Software) είναι το βασικό παράθυρο καταγραφής των σημάτων εισόδου, και δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των παραμέτρων που αφορούν στη συλλογή δεδομένων (αριθμός ενεργών καναλιών, ρυθμός δειγματοληψίας, εγγραφή κυματομορφών σε αρχείο κλπ), καθώς και τη δυνατότητα αλλαγής γραφικών ρυθμίσεων που σχετίζονται με την θέαση των δεδομένων κατά τη συλλογή τους.

- Το **WinDaq Waveform Browser** (Playback and Analysis Software) παρέχει τη δυνατότητα επεξεργασίας των αποθηκευμένων δεδομένων (*αρχεία με επέκταση .wdq*) στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας, την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και την εξαγωγή και αποθήκευση των δεδομένων σε διάφορους άλλους τύπους αρχείων (xls, csv, txt κλπ).

Παράγωγο της διεξοδικής μελέτης των δυνατοτήτων της συσκευής αποτέλεσε η σύνταξη ενός λεπτομερούς εγχειριδίου χρήσης της συσκευής DI-722-32 και του λογισμικού WinDaq, για τη διευκόλυνση των μελλοντικών χρηστών στην προσπάθεια εξοικείωσης με το νέο μετρητικό σύστημα (*παρατίθεται στο Παράρτημα, σελ. 87 – 118*). Εκεί υπάρχουν οδηγίες βήμα – προς – βήμα, με αντίστοιχες εικόνες, για την εγκατάσταση και την πρώτη λειτουργία της συσκευής, αλλά και η αναλυτική παρουσίαση των χρησιμότερων λειτουργιών των δύο βασικών προγραμμάτων, με εικονικές οδηγίες και παραδείγματα. Στο παρόν κεφάλαιο, για λόγους συντομίας, θα δοθούν ορισμένες μόνο εκ των πληροφοριών του εγχειριδίου.

5.4.3 Αυτοματοποιημένη εγγραφή σε αρχείο

Καθώς ο συνολικός διαθέσιμος ρυθμός δειγματοληψίας της συσκευής είναι 50kHz, επιλέγοντας ρυθμό δειγματοληψίας 2kHz ανά κανάλι, κατ' αντιστοιχία με το ρυθμό δειγματοληψίας της OLCA, είναι δυνατή η ταυτόχρονη καταγραφή έως 25 διαφορετικών καναλιών, που είναι υπεραρκετά για την παράλληλη παρακολούθηση του ρεύματος διαρροής πολλών διαφορετικών μονωτήρων. Όμως, τα αρχεία καταγραφής τύπου Windaq έχουν περιορισμό μεγίστου μεγέθους (4GB), το οποίο μεταφράζεται σε 11 ώρες, 55 λεπτά και 49 δευτερόλεπτα συνεχούς εγγραφής για το συγκεκριμένο συνδυασμό καναλιών και ρυθμού δειγματοληψίας (*τα 16 διαφορεικά κανάλια με ρυθμό καταγραφής 2 kHz αντιστοιχούν σε 18 ώρες*).

Για τη συνεχόμενη καταγραφή δεδομένων χωρίς ενδιάμεσες απώλειες θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία ιδιότητα του προγράμματος WinDaq Acquisition, που επιτρέπει την αυτόματη εκκίνηση εγγραφής σε νέο αρχείο, όταν η εγγραφή στο τρέχον αρχείο ολοκληρωθεί. Ωστόσο, εάν γεμίσει και το δεύτερο αρχείο, το σύστημα επιστρέφει ξανά στο αρχικό αρχείο και καταγράφει “πάνω” στα προηγούμενα δεδομένα, σβήνοντας ουσιαστικά την προηγούμενη αποθήκευση (*κυκλική καταγραφή μεταξύ δύο αρχείων*).

Κατά συνέπεια, θα πρέπει να αυτοματοποιηθεί η αντιγραφή του πρώτου αρχείου, όταν χρησιμοποιείται το δεύτερο. Ως λύση, επιλέχθηκε η συγγραφή κατάλληλου κώδικα script (*μελλοντικά*) που θα εκτελεί εγκαίρως προγραμματισμένη αντιγραφή του αρχείου σε επιλεγμένη θέση. Επίσης, σημειώνεται ότι για ένα χρόνο συνεχούς καταγραφής, χωρίς σκανδαλισμό, απαιτείται αποθηκευτικός χώρος περίπου 2920 GB (2.92 TB), για το συνδυασμό καναλιών και ρυθμού δειγματοληψίας που αναφέρθηκε παραπάνω.

5.4.4 Συχνотική ανάλυση αποθηκευμένων κυματομορφών

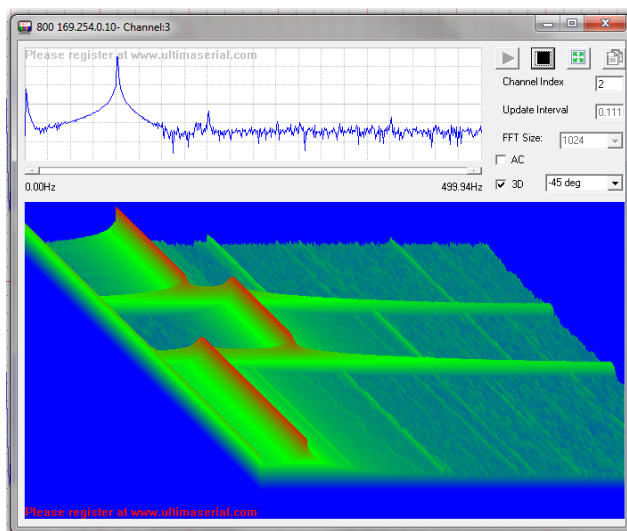
Η συχνотική ανάλυση των κυματομορφών του ρεύματος διαρροής αποκαλύπτει σημαντικές πληροφορίες για το στάδιο γήρανσης και την ηλεκτρική δραστηριότητα των μονωτήρων υψηλής τάσης. Κατά συνέπεια, είναι μία τεχνική που εφαρμόζεται

κατά κόρον στις αποθηκευμένες μετρήσεις. Το πρόγραμμα επεξεργασίας WinDaq Waveform Browser δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα εξαγωγής του μετασχηματισμού Fourier των αποθηκευμένων κυματομορφών, σε δεύτερο χρόνο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Παράδειγμα μετασχηματισμού Fourier δοκιμαστικού ημιτονοειδούς σήματος εισόδου, όπου είναι εμφανής η θεμελιώδης συχνότητα στα 50.07Hz.

Εναλλακτικά, μπορεί να επιλεγθεί η χρήση του πρόσθετου προγράμματος Spectrogram (διατίθεται από την *Ultimaserial*). Το πρόγραμμα αυτό λειτουργεί παράλληλα με το πρόγραμμα καταγραφής WinDaq Acquisition, και όταν ενεργοποιηθεί, προβάλλει σε ξεχωριστό παράθυρο μία τρισδιάστατη απεικόνιση της μεταβολής του πεδίου συχνότητας της κυματομορφής του σήματος εισόδου του επιλεγμένου καναλιού, καθώς συλλέγονται νέα δεδομένα (κάνοντας χρήση του μετασχηματισμού FFT). Στην Εικόνα 5.4 δίνεται παράδειγμα, όπου η συχνότητα του ημιτόνου, το οποίο δόθηκε ως σήμα στο κανάλι 3, μεταβλήθηκε από 50Hz σε 150Hz και έπειτα σε 100Hz:

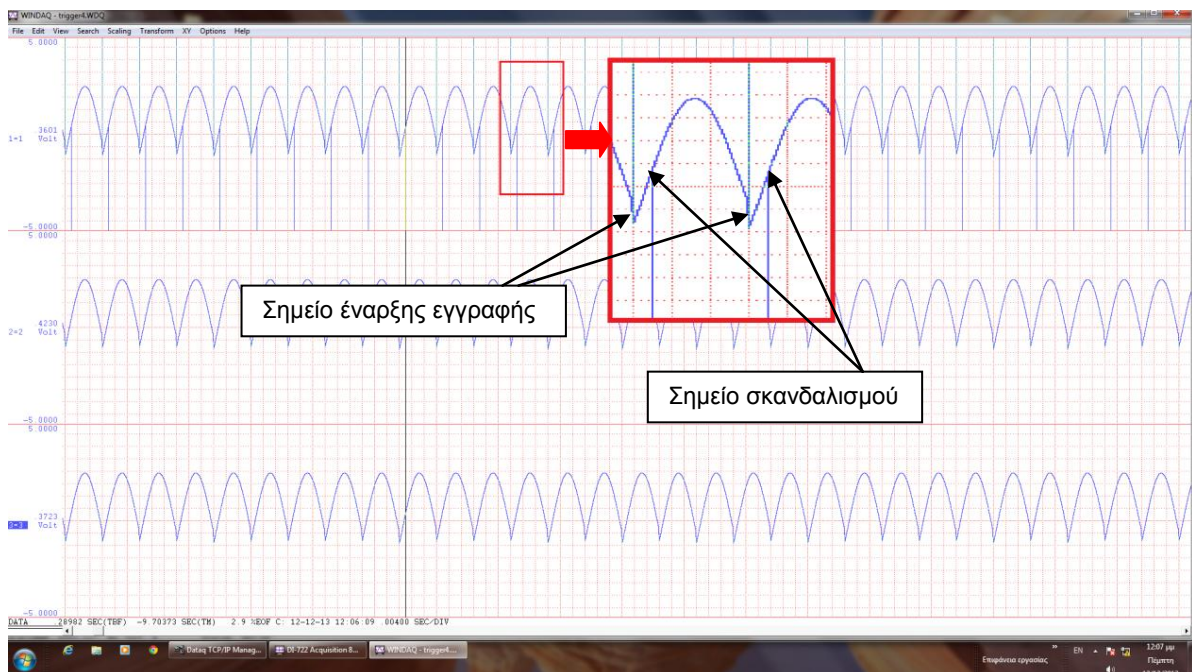


Εικόνα 5.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση συχνοτικού περιεχομένου ημιτονοειδούς σήματος μεταβαλλόμενης συχνότητας.

5.4.5 Σκανδαλισμένες μετρήσεις

Η χρήση σκανδαλισμένων μετρήσεων αποτελεί μια πολύ καλή αντιμετώπιση στο πρόβλημα του όγκου των δεδομένων που προκύπτουν από τη συνεχή και αδιάλειπτη καταγραφή κυματομορφών. Το πρόγραμμα καταγραφής WinDaq Acquisition διαθέτει δύο διαφορετικές λειτουργίες σκανδαλισμού:

- Λειτουργία Triggered Mode: η λειτουργία αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό συνθηκών σκανδαλισμού για την αποθήκευση των δεδομένων στο δίσκο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τον αριθμό δειγμάτων πριν και μετά το σκανδαλισμό, την κλίση του σήματος τη στιγμή που θα διέρχεται από το επίπεδο σκανδαλισμού (θετική ή αρνητική), το επίπεδο υστέρησης (για αξιόπιστο σκανδαλισμό όταν παρεμβάλλονται σήματα θορύβου) και το επίπεδο σκανδαλισμού. Ως κανάλι σκανδαλισμού επιτρέπεται να οριστεί μόνο ένα εκ των ενεργών καναλιών και μάλιστα εκείνο με τη χαμηλότερη αριθμηση. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα περιμένει την ικανοποίηση των συνθηκών σκανδαλισμού για το επιλεγμένο κανάλι, για να καταγράψει τον ορισμένο αριθμό δειγμάτων πριν και μετά το σκανδαλισμό για όλα τα ενεργά κανάλια. Στο αρχείο WDQ εισάγεται πάντα ένας δείκτης συμβάντων για κάθε αρχικό σημείο εγγραφής και ένας δείκτης συμβάντων στα σημεία που ικανοποιούν τις συνθήκες σκανδαλισμού. Ακολουθεί ένα παράδειγμα εγγραφής με ρύθμιση σκανδαλισμού για το πρώτο κανάλι (Εικόνα 5.5). Στα τρία ενεργά κανάλια δινόταν το ίδιο ημιτονοειδές σήμα πλάτους $5V_{p-p}$ και συχνότητας 50Hz.



Εικόνα 5.5: Παράδειγμα εγγραφής με ρύθμιση σκανδαλισμού Triggered Mode.

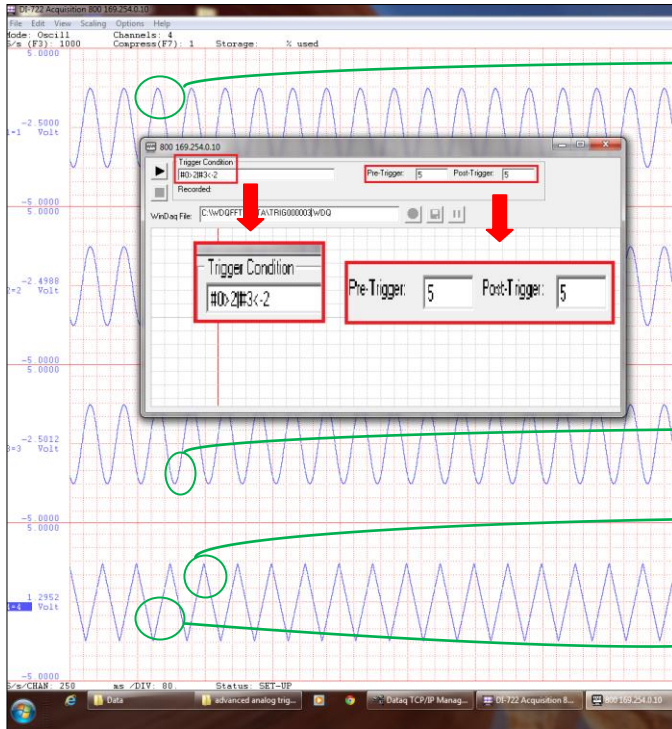
- Λειτουργία Triggered Storage: η λειτουργία αυτή αποτελεί μία απλοποιημένη εκδοχή της προηγούμενης. Οι ρυθμίσεις γίνονται με την ίδια λογική, με τη διαφορά ότι η εγγραφή εδώ ξεκινά με το σημείο σκανδαλισμού (δεν επιτρέπεται στο χρήστη να ορίσει αριθμό δειγμάτων πριν το σκανδαλισμό). Για την εγγραφή, το πρόγραμμα περιμένει την ικανοποίηση των συνθηκών σκανδαλισμού για το επιλεγμένο κανάλι, ώστε να καταγράψει τον ορισμένο αριθμό δειγμάτων μετά το σκανδαλισμό για όλα τα ενεργά κανάλια. Ακολουθεί ένα παράδειγμα εγγραφής με ρύθμιση σκανδαλισμού για το πρώτο κανάλι (Εικόνα 5.6). Στα τρία ενεργά κανάλια δινόταν το ίδιο ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 50Hz.



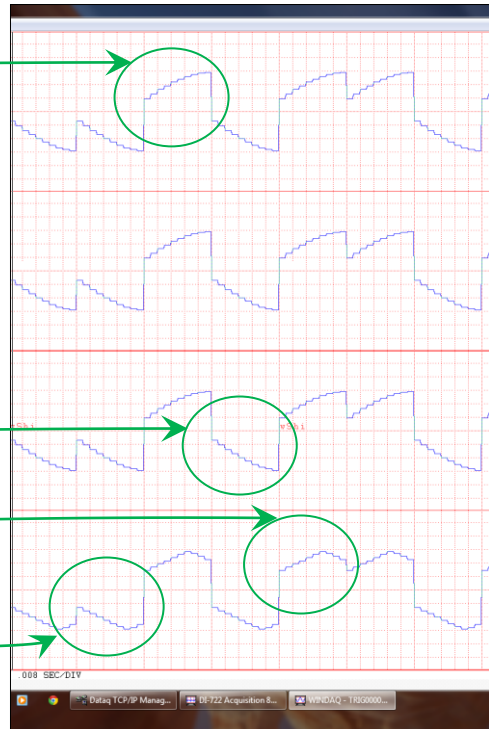
Εικόνα 5.6: Παράδειγμα εγγραφής με ρύθμιση σκανδαλισμού Triggered Storage.

Ο περιορισμός του σκανδαλισμού σε ένα μόνο κανάλι μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια δεδομένων, καθώς η αποθήκευση των ρευμάτων διαρροής όλων των υπό εξέταση δειγμάτων εξαρτάται από τη συμπεριφορά μόνο του ενός. Μία ικανοποιητική λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η χρησιμοποίηση, κατά τη διάρκεια της συλλογής μετρήσεων, του πρόσθετου προγράμματος Advanced Analog Triggered Recorder (διατίθεται από την *Ultimaserial*). Το πρόσθετο αυτό, όταν ενεργοποιηθεί, προβάλλει σε ξεχωριστό παράθυρο μια σύνθετη συνθήκη σκανδαλισμού, η οποία μπορεί να προκύψει κάνοντας μαθηματικές (+, -, /, *, ^ κλπ) ή λογικές πράξεις (&: AND, |: OR, <, >, ≤ κλπ) μεταξύ των σημάτων εισόδου των ενεργών καναλιών. Στη συνέχεια, κάθε φορά που ικανοποιείται η συνθήκη, γίνεται εγγραφή όλων των ενεργών καναλιών σε αρχείο WDAQ.

Ως ενδεικτικό παράδειγμα, παρατίθεται μια δοκιμή σκανδαλισμένης μέτρησης σε τέσσερα ενεργά κανάλια με σύνθετη συνθήκη (Εικόνα 5.7α & 5.7β). Στα τρία πρώτα κανάλια δίνεται ως είσοδος το ίδιο ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 50Hz και πλάτους $5 V_{p-p}$, ενώ στο τέταρτο κανάλι η είσοδος είναι τριγωνικός παλμός ίδιας συχνότητας και πλάτους. Όταν ικανοποιείται η δοθείσα συνθήκη σκανδαλισμού **#0>2|#3<-2** (δηλαδή εγγραφή όταν το 1ο κανάλι υπερβεί τα 2 V ή όταν το 4ο κανάλι είναι κατώτερο από -2 V), το λογισμικό καταγράφει για καθορισμένο από το χρήστη αριθμό σημείων τα δεδομένα από όλα τα ενεργά κανάλια.



Εικόνα 5.7α: Το λογισμικό WinDaq Acquisition με τα αρχικά σήματα και το λογισμικό Advanced Analog Triggered Recorder με τη συνθήκη σκανδαλισμού.



Εικόνα 5.7β: Το αρχείο που προέκυψε από τη σκανδαλισμένη εγγραφή των σημάτων του σχήματος 5.7α.

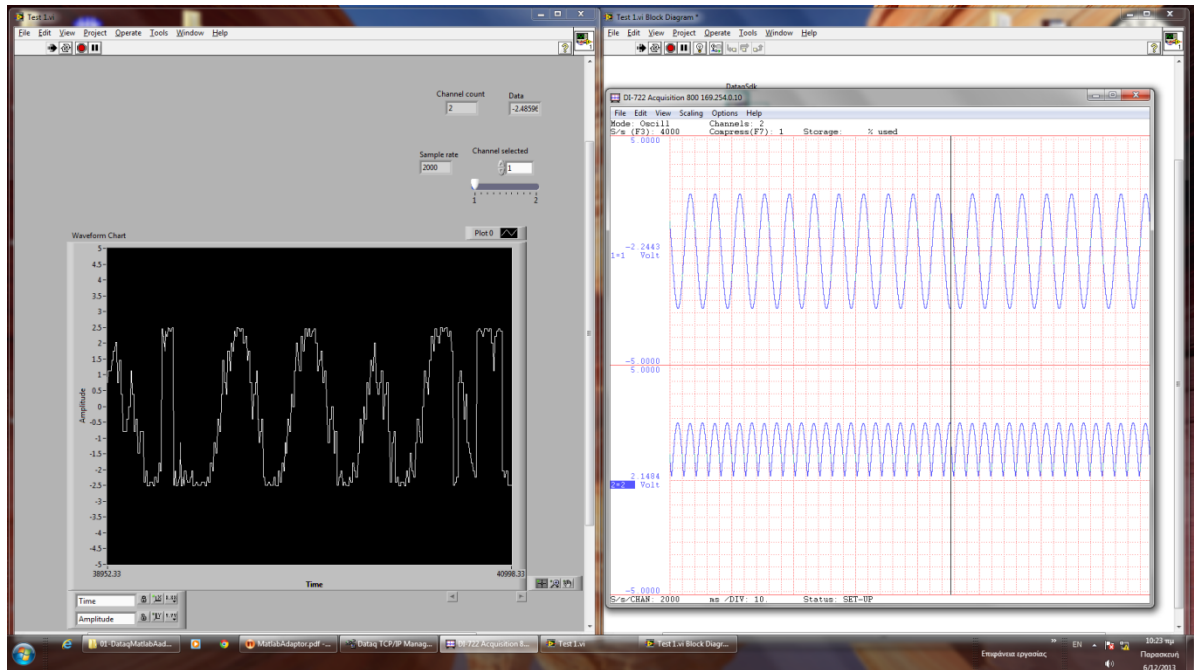
5.4.6 Προβλήματα στη συνδεσιμότητα με LabVIEW, MATLAB

Ένας από τους βασικούς λόγους επιλογής αυτής της συσκευής ήταν και η δυνατότητα διασύνδεσής της με ευρέως διαδεδομένα προγραμματιστικά περιβάλλοντα (*Labview, Matlab, C++, Excel κλπ*), όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο χρήσης [241]. Το χαρακτηριστικό αυτό φάνηκε εξαιρετικά χρήσιμο, καθώς καθιστούσε δυνατή τη χρησιμοποίηση του ήδη υπάρχοντος λογισμικού [238] για την επεξεργασία, στατιστική ανάλυση, συχνοτική ανάλυση και ταξινόμηση των αποθηκευμένων κυματομορφών του ρεύματος διαρροής.

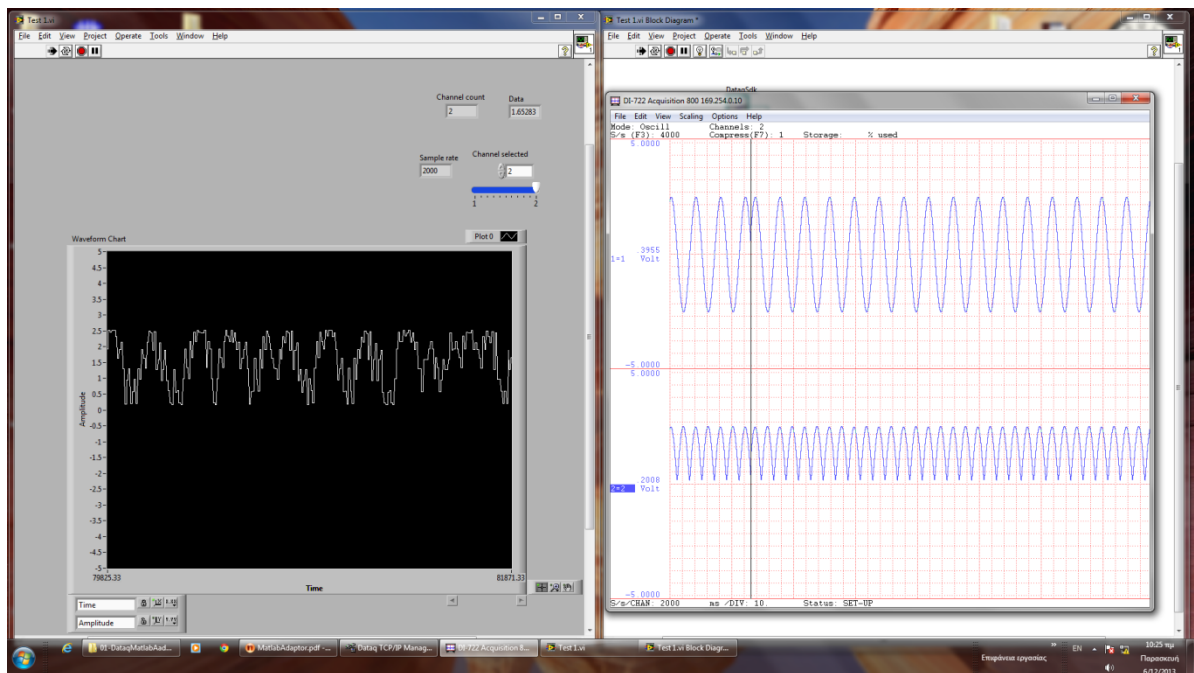
Ωστόσο, η διασύνδεση αυτή αποδείχθηκε αρκετά πολύπλοκη, καθώς γίνεται μέσω της βιβλιοθήκης των ActiveX Controls, η οποία εγκαθίσταται αυτόματα μαζί με το λογισμικό WinDaq. Είναι προσβάσιμη μέσα από οποιαδήποτε εφαρμογή την υποστηρίζει (ενδεικτικά: *Visual BASIC, Visual C++, National Instruments LabVIEW, CEC TestPoint, Borland C++ Builder, Matlab, Excel και πολλά άλλα*) και επιτρέπει στους προγραμματιστές τη χρήση κώδικα για τη σύνδεση του λογισμικού της συσκευής με άλλα προγραμματιστικά περιβάλλοντα και την κατασκευή περισσότερο εξελιγμένων εφαρμογών. Όμως, τα ActiveX Controls modules/functions, , που συμμετέχουν υποχρεωτικά στη συγγραφή του κώδικα, έχουν τη λογική «μαύρου κουτιού» για τον προγραμματιστή: δηλαδή οι ρυθμίσεις και οι διεργασίες που εκτελούν είναι αθέατες και μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα ροής και επικοινωνίας μεταξύ των λογισμικών.

Συγκεκριμένα, για τη διασύνδεση με LabVIEW ακολουθήθηκαν πιστά οι οδηγίες που περιγράφονται στο [242] και κατασκευάστηκε επιτυχώς το ζητούμενο μπλοκ διάγραμμα και front panel (παράτιθεται στο Παράρτημα, σελ. 120). Παρ' όλα αυτά, ενώ υπήρχαν οι ενδείξεις ότι επιτεύχθηκε σύνδεση των δύο λογισμικών, το

διάγραμμα κυματομορφών του LabVIEW αδυνατούσε να παρακολουθήσει τα δοκιμαστικά σήματα εισόδου (Εικόνες 5.8 – 5.9).



Εικόνα 5.8: Πρόβλημα στη συνδεσιμότητα με LabVIEW (1)



Εικόνα 5.9: Πρόβλημα στη συνδεσιμότητα με LabVIEW (2)

Αρχικά, έγινε η λογική υπόθεση ότι υπήρχε σύγκρουση στο ρυθμό δειγματοληψίας που χρησιμοποιούσαν τα δύο λογισμικά, η οποία ενισχύθηκε από την παρατήρηση ότι η απεικόνιση των σημάτων χαμηλής συχνότητας (μικρότερης των 10Hz) δινόταν σωστά. Ωστόσο, στάθηκε αδύνατον να βρεθεί ρύθμιση που να διορθώσει το πρόβλημα. Επιστρατεύτηκαν όλα τα διαθέσιμα εγχειρίδια για το λογισμικό LabVIEW [243], [244], [245] καθώς και διαδικτυακή επικοινωνία με την τεχνική υποστήριξη της DATAQ Instruments (αντίγραφο της επιστολής και των

αρχείων που εστάλησαν στη *DATAQ Instruments* παρατίθεται στο Παράρτημα, σελ. 125 – 129), χωρίς να βρεθεί λύση. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να εγκαταλειφθεί η προσπάθεια, καθώς η επίλυση του προβλήματος ξεπερνούσε κατά πολύ τα όρια της παρούσας εργασίας.

Προβλήματα επικοινωνίας και ροής αντιμετωπίστηκαν και κατά την προσπάθεια διασύνδεσης με *MATLAB* (παρατίθεται στο Παράρτημα, σελ. 129 - 130), οπότε το εγχείρημα αυτό αναβλήθηκε προσωρινά.

5.5 Συμπεράσματα από τις δοκιμές στο DI-722-32

Το νέο καταγραφικό σύστημα φαίνεται να είναι καλύτερο από τον προκάτοχό του *OLCA*. Καταρχάς, η λειτουργία του είναι πλήρως εξαρτημένη από *H/Y (pc-based instrumentation)*, με αποτέλεσμα να παρέχει περισσότερη ελευθερία και ευελιξία στο χειριστή και να επιδέχεται ενημερώσεις και βελτιώσεις του λογισμικού του. Επίσης, ξεφεύγει από τη λογική της αποσπασματικής μόνο καταγραφής των κυματομορφών, ανοίγοντας έτσι ένα νέο παράθυρο στην έρευνα που διεξάγεται στην Κρήτη, με συνεχή και αδιάλειπτη καταγραφή του ρεύματος διαρροής, χωρίς απώλεια δεδομένων. Αυτό θα συμβάλει σημαντικά στη συγκέντρωση μεγάλου όγκου μετρήσεων, και άρα νέων πληροφοριών προς ανάλυση και επεξήγηση. Επιπλέον, από οικονομικής σκοπιάς, η μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας θα είναι, συγκριτικά, κάτι παραπάνω από υπολογίσιμη.

Η συσκευή *DI-722-32*, αν πρόκειται για πολύ πιο πρόσφατη τεχνολογία και με πιο ανεπτυγμένο λογισμικό, δεν παύει να έχει τους δικούς της περιορισμούς. Όπως αναφέρθηκε, εκκρεμεί το θέμα της διασύνδεσής της με λοιπά προγραμματιστικά περιβάλλοντα. Οι ιδιαιτερότητες των λειτουργιών σκανδαλισμού, που περιγράφηκαν εκτενώς, φαίνεται να βρίσκουν λύση μέσω της χρήσης του πρόσθετου προγράμματος. Ωστόσο, η γενικότερη λογική αποθήκευσης και επεξεργασίας που χρησιμοποιεί το λογισμικό ενδέχεται να δημιουργήσει πρόβλημα, όταν ο όγκος των μετρήσεων αυξηθεί δραματικά. Συγκεκριμένα, η αυτόματη αποθήκευση των σημάτων εισόδου όλων των ενεργών καναλιών γίνεται σε ένα κοινό αρχείο *WDQ*, το οποίο πρέπει να προσπελαστεί, σε δεύτερο χρόνο από το χρήστη για την εξαγωγή των μετρήσεων του κάθε καναλιού (άρα του ρεύματος κάθε μονωτήρα) ξεχωριστά και σε πιο εύχρηστους τύπους αρχείων (*xls, csv, txt*). Είναι προφανές, λοιπόν, ότι όταν πρόκειται για αρχεία μεγέθους *4GB*, η διαδικασία αυτή είναι αδύνατον να γίνει χειροκίνητα. Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η ανάγκη αυτοματοποίησης και της εξαγωγής των μετρήσεων, είτε με χρήση μακροεντολών των *Windows* (συγγραφή *script*) είτε με την επίλυση του προβλήματος συνδεσιμότητας με προγραμματιστικά περιβάλλοντα ευρείας χρήσης και την ανάπτυξη ειδικού λογισμικού.

Φυσικά, τα τελικά συμπεράσματα θα προκύψουν ύστερα από τη χρήση της νέας συσκευής, για εύλογο χρονικό διάστημα, σε πραγματικές συνθήκες. Προέχει, επομένως, η άμεση εγκατάσταση του καταγραφικού στο Σταθμό Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ», ώστε να αρχίσει η λειτουργία του στο πεδίο.

Κεφάλαιο 6 • Συμπεράσματα - Προτάσεις

6.1 Γενικά Συμπεράσματα

Το πρόβλημα της ρύπανσης των μονωτήρων υψηλής τάσης έχει απασχολήσει στο παρελθόν, και συνεχίζει να απασχολεί, ένα πλήθος ερευνητών από όλο τον κόσμο. Εξαιτίας του φαινομένου αυτού, η επίδοση των υπαίθριων μονωτικών αποκτά ένα απρόβλεπτο χαρακτήρα, που επηρεάζει άμεσα την αξιοπιστία των δικτύων μεταφοράς. Οι αναρίθμητες προσπάθειες μοντελοποίησης και πρόβλεψης της ηλεκτρικής τους συμπεριφοράς, κυρίως μέσω της παρακολούθησης του ρεύματος διαρροής, καταδεικνύουν την πολυπλοκότητα της φύσης του προβλήματος, λόγω της εξάρτησής του από πλήθος παραγόντων σε μια πληθώρα συνδυασμών.

Στην Κρήτη λαμβάνει χώρα, εδώ και πολλά χρόνια, μία σημαντική προσπάθεια κατανόησης και αντιμετώπισης της ρύπανσης κεραμικών και συνθετικών μονωτήρων, η οποία υπαγορεύθηκε από τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες και την επίδρασή τους σε σφάλματα του συστήματος μεταφοράς. Η επιτυχία του τοπικού ερευνητικού προγράμματος έγκειται στην εκτέλεση μετρήσεων και δοκιμών, σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα, σε πραγματικές συνθήκες, κάτι που ελάχιστες ερευνητικές ομάδες παγκοσμίως έχουν να επιδείξουν. Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί, ως συνέπεια της μακροχρόνιας παρακολούθησης του ρεύματος διαρροής, θα συμβάλει τόσο στη εξέλιξη της έρευνας, όσο και στην καθοδήγηση των νέων ερευνητών που θα πλαισιώσουν την ερευνητική ομάδα στο μέλλον. Η πρόσφατη κατασκευή του υπαίθριου σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» αναμένεται να αποτελέσει την αφετηρία για τη συσπείρωση των μελετητών της ελληνικής επικράτειας και τη συνεργασία με πλήθος εργαστηρίων και πανεπιστημίων.

Η χρονική και συχνотική ανάλυση των κυματομορφών αποτελεί παγκοσμίως την βασική επιλογή επεξεργασίας των μετρήσεων του ρεύματος διαρροής. Κατά συνέπεια, η εξέλιξη, ως προς τη λογική αντιμετώπισης της καταγραφής των κυματομορφών, της μετρητικής διάταξης (που παρουσιάστηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο) ακολουθεί πλήρως τις τάσεις της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, καθώς η χρήση των πληροφοριών που περιέχονται στις κυματομορφές ρεύματος διαρροής αποτελούν το πιο ευρέως αποδεκτό διαγνωστικό εργαλείο για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των μονωτήρων.

Συνοψίζοντας, το καταγραφικό DI-722-32 της DATAQ φαίνεται να προσφέρει μια οικονομικά πιο προσιτή λύση, σε σχέση με το προγενέστερο σύστημα, με αρκετές δυνατότητες επέκτασης. Εκκρεμεί, όμως, η εγκατάστασή του στο πεδίο για τη διαπίστωση των πραγματικών δυνατοτήτων και προβλημάτων. Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Συνεργασία-POLYDIAGNO 2011 αναμένεται η αγορά και η εγκατάσταση νέου καταγραφικού συστήματος στον Σταθμό Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ», για την καταγραφή και παρακολούθηση διαφόρων μεγεθών που θα

εξάγονται από την πρωτογενή μέτρηση με χρήση τεχνικών επεξεργασίας σήματος. Ως εκ τούτου, το DI-722-32 θα δώσει τη δυνατότητα οι δύο λογικές καταγραφές να παραμείνουν ανεξάρτητες, γεγονός αρκετά σημαντικό για την αξιόπιστη λειτουργία και των δύο. Η συνεχής καταγραφή του ρεύματος διαρροής σε 16 διαφορετικούς μονωτήρες, για τουλάχιστον ένα έτος, θα οδηγήσει στη συσσώρευση ενός σημαντικού όγκου δεδομένων που αναμένεται να βοηθήσει σημαντικά στην εμβάθυνση της έρευνας.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα συμπεράσματα του 5^{ου} κεφαλαίου, η διασύνδεση του νέου καταγραφικού με τα ευρέως χρησιμοποιούμενα προγραμματιστικά περιβάλλοντα παραμένει ατελής. Κατά συνέπεια, προτείνεται η εκτενέστερη διερεύνηση και επίλυση αυτού του προβλήματος, με απώτερο μελλοντικό στόχο τη δημιουργία ολοκληρωμένου λογισμικού που θα συλλέγει μόνο τα χρήσιμα δεδομένα από τις παρατηρούμενες κυματομορφές, σύμφωνα με τις τεχνικές φιλτραρίσματος που έχουν αναπτυχθεί στα [225]- [226], και στη συνέχεια θα εφαρμόζει τις τεχνικές επεξεργασίας σήματος, αναγνώρισης προτύπων και αυτοματοποιημένης ταξινόμησης των επιλεγμένων κυματομορφών που αναπτύχθηκαν στα [210], [222] [227]- [232].

Καθώς η παραπάνω διαδικασία είναι χρονοβόρα και αμφιβόλου τελικού αποτελέσματος, προτείνεται παράλληλα η εκμετάλλευση του νέου καταγραφικού συστήματος ως έχει, και η διεξαγωγή των πρώτων δοκιμαστικών μετρήσεων στο πεδίο με το DI-722-32, ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τη χρησιμότητά του, τους περιορισμούς του και την εμφάνιση πιθανών προβλημάτων λειτουργίας, που η εργαστηριακή διερεύνηση των δυνατοτήτων του δεν μπόρεσε να καταδείξει.

Κεφάλαιο 7 • Βιβλιογραφία

- [1] CIGRE WG 33-04, TF 01, "Polluted insulators: a review of current knowledge," Cigre Publications, Jun 2000.
- [2] IEC/TS 60815, "Selection and dimensioning of high voltage insulators intended for use in polluted conditions," IEC, 2008.
- [3] CIGRE WG B2.03, "Guide for the establishment of naturally polluted insulator testing stations," Cigre publications, Oct 2007.
- [4] A. J. McElroy, W. J. Lyon, J. D. M. Phelps and H. H. Woodson, "Insulators with contaminated surfaces, part I: Field conditions and their laboratory simulation," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS - 89, no. 8, pp. 1848 - 1858, Nov/ Dec 1970.
- [5] C. L. Phan and M. Hara, "Leakage current and flashover performance of iced insulators," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS - 98, no. 3, pp. 849 - 859, May 1979.
- [6] S. E. -D. Habib and M. Khalifa, "A new monitor for pollution on power line insulators, part I: Design, construction and preliminary tests," *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 133, Pt. C, no. 2, pp. 105 - 108, Mar 1986.
- [7] M. Khalifa, A. El-Morshedy, O. E. Gouda and S. E. -D. Habib, "A new monitor for pollution on power line insulators, part II: Simulated field tests," *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 135, Pt. C, no. 1, pp. 24 - 30, Jan 1988.
- [8] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "The electrical performance of silicone rubber insulating coatings in a salt-fog chamber," in *IEEE 1989 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Leesburg, VA, USA, 29 Oct - 2 Nov 1989.
- [9] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "Artificial testing and evaluation of RTV coatings in a salt-fog chamber," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 26, no. 4, pp. 797 - 805, Aug 1991.
- [10] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "Suppression mechanism of leakage current on RTV coated porcelain and silicone rubber insulators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 6, no. 4, pp. 1549 - 1556, Oct 1991.
- [11] E. A. Cherney, R. Hackam and S. H. Kim, "Porcelain insulator maintenance with RTV silicone rubber coatings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 6, no. 3, pp. 1177 - 1181, Jul 1991.
- [12] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "Effects of filler level in RTV silicone rubber coatings used in HV insulators," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 27, no. 6, pp. 1065 - 1072, Dec 1992.
- [13] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "Hydrophobic behavior of insulators coated with RTV silicone rubber," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 27, no. 3, pp. 610 - 622, Jun 1992.
- [14] S. H. Kim and R. Hackam, "Effects of saline-water flow rate and air speed on leakage

- current in RTV coatings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 4, pp. 1956 - 1964, Oct 1995.
- [15] H. Deng, R. Hackam and E. A. Cherney, "Influence of thickness, substrate type, amount of silicone fluid and solvent type on the electrical performance of RTV silicone rubber coatings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 1, pp. 431 - 443, Jan 1996.
- [16] H. Deng and R. Hackam, "Electrical performance of RTV silicone rubber coatings of different thickness on porcelain," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 12, no. 2, pp. 857 - 866, Apr 1997.
- [17] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "Evaluation of RTV silicone rubber insulator coatings in a salt-fog chamber," in *IEEE 1990 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Pocono Manor, PA, USA, 28 - 31 Oct 1990.
- [18] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, "Performance of RTV silicone rubber insulator coatings," in *Conference Record of the 1990 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Toronto, Canada, 3 - 6 Jun 1990.
- [19] E. A. Cherney, "RTV silicone rubber coatings for substation insulator maintenance," in *Conference Record of the 1993 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, Hyannis, MA, USA, 21 - 25 Jun 1993.
- [20] S. H. Kim and R. Hackam, "Evaluation of RTV coating with stationary fog," in *IEEE 1995 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Virginia Beach, VA, USA, 22 - 25 Oct 1995.
- [21] H. Deng, R. Hackam and E. A. Cherney, "Effects of addition of silicone fluid on electrical performance of RTV silicone rubber coatings," in *Proceedings of the 1995 IEEE 5th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics (ICSD'95)*, Leicester, UK, 10 - 13 Jul 1995.
- [22] H. Deng, R. Hackam and E. A. Cherney, "Factors influencing the electrical performance of RTV silicone rubber coatings," in *IEEE 1994 Annual Report of the Conference on Electric Insulation and Dielectric Phenomena*, Arlington, TX, USA, 23 - 26 Oct 1994.
- [23] H. Deng, R. Hackam and E. A. Cherney, "Effects of coating thickness of RTV silicone rubber on its electrical performance," in *Conference Record of the 1994 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Pittsburgh, PA, USA, 5 - 8 Jun 1994.
- [24] R. S. Gorur, G. G. Karady, A. Jagota and M. Shah, "Comparison of RTV silicone rubber coatings under artificial contamination in a fog chamber," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 7, no. 2, pp. 713 - 719, Apr 1992.
- [25] A. De La O, R. S. Gorur and J. Chang, "AC clean fog tests on nonceramic insulating materials and a comparison with porcelain," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 4, pp. 2000 - 2008, Oct 1994.
- [26] G. G. Karady, M. Shah and R. L. Brown, "Flashover mechanism of silicone rubber insulators used for outdoor insulation - I," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 4, pp. 1965 - 1971, Oct 1995.
- [27] M. Shah, G. G. Karady and R. L. Brown, "Flashover mechanism of silicone rubber insulators used for outdoor insulation - II," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 4, pp. 1972 - 1978, Oct 1995.
- [28] R. S. Gorur, J. Mishra, R. Tay and R. McAfee, "Electrical performance of RTV silicone rubber coatings," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 3, no. 2, pp. 299 - 306, Apr 1996.
- [29] J. Montesinos, R. S. Gorur and J. Goudie, "Electrical Performance of RTV silicone

- rubber coatings after exposure to an acidic environment," in *IEEE 1998 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Atlanta, GA, USA, 25 - 28 Oct 1998.
- [30] G. G. Karady and F. Amarth, "Signature analysis for leakage current waveforms of polluted insulators," in *IEEE 1999 Transmission and Distribution Conference*, New Orleans, LA, USA, 11 - 16 Apr 1999.
- [31] G. G. Karady, "Flashover mechanism of non-ceramic insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 6, no. 5, pp. 718 - 723, Oct 1999.
- [32] G. G. Karady, F. Amarth and R. Sundararajan, "Dynamic modeling of AC insulator flashover characteristics," in *11th International Symposium on High Voltage Engineering*, London, UK, 23 - 27 Aug 1999.
- [33] R. S. Gorur and B. S. Bernstein, "Field and laboratory aging of polymeric distribution cable terminations: part 1- field aging," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, no. 2, pp. 316 - 322, Apr 1998.
- [34] R. S. Gorur and B. S. Bernstein, "Field and laboratory aging of polymeric distribution cable terminations: part 2 - laboratory aging," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, no. 2, pp. 323 - 329, Apr 1998.
- [35] M. A. R. M. Fernando and S. M. Gubanski, "Leakage current patterns on artificially polluted composite insulators," in *IEEE 1996 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Millbrae, CA, USA, 20 - 23 Oct 1996.
- [36] M. A. R. M. Fernando and S. M. Gubanski, "Analysis of leakage current wave forms for field-aged and new composite insulators," in *IEEE 1997 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Minneapolis, MN, USA, 19 - 22 Oct 1997.
- [37] M. A. R. M. Fernando, J. Lambrecht and S. M. Gubanski, "Modelling non-linear leakage currents on artificially polluted polymeric surfaces," in *IEEE 1998 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Atlanta, GA, USA, 25 - 28 Oct 1998.
- [38] M. A. R. M. Fernando and S. M. Gubanski, "Leakage current patterns on contaminated polymeric surfaces," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 6, no. 5, pp. 688 - 694, Oct 1999.
- [39] T. Sorqvist and S. M. Gubanski, "Leakage current and flashover of field-aged polymeric insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 6, no. 5, pp. 744 - 753, Oct 1999.
- [40] M. A. R. M. Fernando and S. M. Gubanski, "Leakage currents on non-ceramic insulators and materials," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 6, no. 5, pp. 660 - 667, Oct 1999.
- [41] S. M. Gubanski and M. A. R. M. Fernando, "Research findings comparing performance of different insulator designs on distribution lines in tropical environment," in *INSULATOR 2000, World Congress on Insulator Technologies for the Year 2000 and Beyond*, Barcelona, Spain, Nov 1999.
- [42] D. Windmar, K. Dowling, T. Eriksson, U. W. Gedde and H. Hillborg, "Leakage current analysis and infrared spectroscopy of outdoor insulating materials aged in a salt-fog test," in *IEEE 1996 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Millbrae, CA, USA, 20 - 23 Oct 1996.
- [43] A. E. Vlastos and E. Sherif, "Experience from insulators with RTV silicon rubber sheds and shed coatings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, no. 4, pp. 2030 - 2038, Oct 1990.
- [44] A. E. Vlastos and T. Orbeck, "Outdoor leakage current monitoring of silicone composite insulators in coastal service conditions," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, pp. 1066 - 1070, Apr 1996.

- [45] Α. Βλαστός και Δ. Αγορής, «Συμπεριφορά συνθετικών μονωτήρων, κατασκευασμένων από SIR και EPDM, σε δίκτυα υψηλής τάσης,» σε *Ελληνική Επιτροπή CIGRE*, Σύνοδος Πάτρα, 6 - 7 Ιουνίου 1996.
- [46] C. N. Richards and J. D. Renowden, "Development of a remote insulator contamination monitoring system," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 12, no. 1, pp. 389 - 397, Jan 1997.
- [47] S. Shihab, V. Melik, L. Zhou, G. Melik and N. Alame, "On-line pollution leakage current monitoring system," in *Proceedings of the 4th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials*, Brisbane, Australia, 3 - 8 Jul 1994.
- [48] B. Pokaner, C. Lee and D. Hawker, "Leakage current monitoring of composite long rod insulators," in *Proceedings of 4th international Conference on Properties & Application of Dielectric Materials*, Brisbane, Australia, 3 - 8 Jul 1994.
- [49] J. L. Fierro-Chavez, I. Ramirez-Vazquez and G. Montoya-Tena, "On-line leakage current monitoring of 400kV insulator strings in polluted areas," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 143, no. 6, pp. 560 - 564, Nov 1996.
- [50] J. Ramirez-Nino, M. J. O. Pacheco, J. Rodriguez and V. M. Castano, "Design and construction of a pollution monitor for power line insulators," *Measurement Science and Technology*, vol. 7, no. 6, pp. 876 - 881, 1996.
- [51] K. Isaka, Y. Yokoi, K. Naito, R. Matsuoka, S. Ito, K. Sakanishi and O. Fujii, "Development of real-time system for simultaneous observation of visual discharges and leakage current on contaminated dc insulators," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 25, no. 6, pp. 1153 - 1160, Dec 1990.
- [52] N. Sugawara and K. Hokari, "Leakage resistance Data Acquisition System for porcelain insulators along the coast," in *Proceedings of the 4th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials*, Brisbane, Australia, 3 - 8 Jul 1994.
- [53] N. Sugawara, K. Hokari, M. Hijikata, A. Saito and K. Yamanouchi, "Leakage resistance Data Acquisition System and several data for maintenance of transmission line porcelain insulators along coasts in wet snow," in *Proceedings of the 5th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials*, Seoul, Korea, 25 - 30 May 1997.
- [54] N. Sugawara, K. Kobayashi, K. Hokari, M. Hijikata, A. Sasaki and K. Nishimura, "Leakage resistance of suspension porcelain insulators in coastal fog conditions," in *Proceedings of the 5th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials*, Seoul, Korea, 25 - 30 May 1997.
- [55] K. Iwai, Y. Hase, E. Nakamura and H. Katsukawa, "Development of a new apparatus for contamination measurement of overhead transmission line insulators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, no. 4, pp. 1412 - 1417, Oct 1998.
- [56] M. Sato, A. Nakajima, T. Komukai and A. Oyamada, "Spectral analysis of leakage current on contaminated insulators by auto regressive method," in *IEEE 1998 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Atlanta, GA, USA, 25 - 28 Oct 1998.
- [57] T. Suda, "Study on the frequency characteristics of leakage current waveforms of artificially polluted 12t suspension insulators by the clean fog method," in *11th International Symposium on High Voltage Engineering*, London, UK, 23 - 27 Aug 1999.
- [58] W. L. Vosloo, J. P. Holtzhausen and A. H. A. Roediger, "Leakage current performance of naturally aged non-ceramic insulators under a severe marine environment," in *IEEE 4th AFRICON*, Stellenbosch, South Africa, 24 - 27 September 1996.
- [59] I. Gutman, R. Hartings and W. L. Vosloo, "Field testing of composite insulators at

- Natal test stations in South Africa," in *11th International Symposium on High Voltage Engineering*, London, UK, 22 - 27 Aug 1999.
- [60] W. L. Vosloo and F. F. Bologna, "High voltage insulators: the backbone of transmission and distribution networks," in *INSULATOR 2000, World Congress on Insulator Technologies for the Year 2000 and Beyond*, Barcelona, Spain, Nov 1999.
- [61] F. F. Bologna, A. C. Britten, G. Watridge, D. J. Stevens and G. Grigorakis, "Leakage currents on lightly polluted on 275kV glass disc insulator stings in conditions of light wetting," in *1999 IEEE AFRICON*, Cape Town, South Africa, 28 Sep - 01 Oct 1999.
- [62] D. L. Williams, A. Haddad, A. R. Rowlands, H. M. Young and R. T. Waters, "Formation and characterization of dry bands in clean fog on polluted insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 6, no. 5, pp. 724 - 731, Oct 1999.
- [63] C.-S. Huh and B.-H. Youn, "The effect of environmental factors on degradation and recovery characteristics of RTV silicone rubber," in *11th International Symposium on High Voltage Engineering*, London, UK, 22 - 27 Aug 1999.
- [64] R. Munteanu, "Experience and applications of newest generation of insulators in the network of Israel Electric," in *INSULATOR 2000, World Congress on Insulator Technologies for the Year 2000 and Beyond*, Barcelona, Spain, Nov 1999.
- [65] F. Kaidanov and R. Munteanu, "Investigations of leakage currents along polluted and wetted insulators and their correlation with flashover voltages," in *18th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, Tel Aviv, Israel, 7 - 8 Mar 1995.
- [66] IEEE Dielectric and Electrical Insulation Society's Outdoor Service Environment Committee S-32-3, "Round robin testing of RTV silicone rubber coatings for outdoor insulation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 4, pp. 1881 - 1887, Oct 1996.
- [67] D. Devendranath, G. V. Rao, Channakeshava and A. D. Rajkumar, "Ageing studies on RTV coated insulator in salt-fog pollution," in *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Singapore, 23 - 27 Jan 2000.
- [68] D. Devendranath, Channakeshava and A. D. Rajkumar, "Leakage current and charge in RTV coated insulators under pollution conditions," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 9, no. 2, pp. 294 - 299, Apr 2002.
- [69] D. Devendranath, G. Girija Channakeshava and B. Venkatesulu, "Performance of RTV-coated insulator below 1mA leakage current," *IEEE Power Engineering Review*, vol. 22, no. 7, pp. 40 - 41, Jul 2002.
- [70] S. Subba Reddy and G. R. Nagabhushana, "Study of leakage current behavior on artificially polluted surface of ceramic insulator," *Plasma Science & Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 1922 - 1927, 2003.
- [71] k. Dinesh, S. Ashwin, V. Harish, E. VarathKanth, C. Venkateshaiah and R. Sarathi, "Understanding the surface condition of insulation material using wavelets," in *CBIP - International Conference: Recent Trends in Maintenance Technologies of EHV Transmission Lines*, New Delhi, India, 29 - 30 Apr 2002.
- [72] R. Sarathi, S. Chandrasekar, C. Venkateshaiah and N. Yoshimura, "Condition monitoring of outdoor polymeric insulation structures using wavelets and neural networks," in *IEEE 2003 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Albuquerque, NM, USA, 19 - 22 Oct 2003.
- [73] R. Sarathi and U. M. Rao, "Analysis of surface degradation of silicone rubber due to tracking - A physicochemical approach," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 88, no. 10, pp. 2392 - 2399, Jun 2003.
- [74] R. Sarathi and S. Chandrasekar, "Diagnostic study of the surface condition of the insulation structure using wavelet transform and neural networks," *Electric Power Systems Research*, vol. 68, no. 2, pp. 137 - 147, Feb 2004.

- [75] G. G. Karady and F. Amarh, "Extreme Value Analysis of leakage current envelope of polluted insulators," in *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Seattle, WA, USA, 16- 20 Jul 2000.
- [76] F. Amarh, G. G. Karady and R. Sundararajan, "Level Crossing Analysis of leakage current envelope of polluted insulators," *IEEE Power Engineering Review*, pp. 46 - 49, Aug 2001.
- [77] F. Amarh, G. G. Karady and R. Sundararajan, "Linear Stochastic Analysis of polluted insulator leakage current," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 17, no. 4, pp. 1063 - 1069, Oct 2002.
- [78] S. Venkataraman and R. S. Gorur, "Prediction of polymer insulating material degradation using Daubechies wavelet transformation," in *IEEE 2002 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Cancun, Mexico, 20-24 Oct 2002.
- [79] F. Amarh, "Electric Transmission Line Flashover Prediction System - PhD Thesis and Final Report," PSERC publication 01-16, Arizona, USA, May 2001.
- [80] S. Kumagai and N. Yoshimura, "Tracking and erosion of HTV silicone rubber and suppression mechanism of ATH," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 2, pp. 203 - 211, Apr 2001.
- [81] S. Kumagai and N. Yoshimura, "Tracking and erosion of HTV silicone rubbers of different thickness," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 4, pp. 673 - 678, Aug 2001.
- [82] S. Kumagai and N. Yoshimura, "Electrical and environmental stress and the hydrophobic stability of SIR, EVA and their blends," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 4, pp. 679 - 686, Aug 2001.
- [83] S. Kumagai and N. Yoshimura, "Leakage current analysis for monitoring the conditions of polymer insulators," in *Proceedings of 2001 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM 2001)*., Himeji, Japan, 19 - 22 Nov 2001.
- [84] S. Kumagai and N. Yoshimura, "Leakage current characterization for estimating the conditions of ceramic and polymeric insulating surfaces," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 11, no. 4, pp. 681 - 690, Aug 2004.
- [85] H. Homma, T. Kuroyagi, T. Takahashi, S. Ohtsuka and M. Hikita, "Algorithm for determining the surface leakage current on polymer insulating materials based on current waveform distortion," in *IEEE 2002 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Cancun, Mexico, 20 - 24 Oct 2002.
- [86] T. Nakashini, H. Komiya, H. Shinokubo, R. Matsuoka, S. Kumagai, M. Hikita and T. Irie, "Comparative leakage current measurements on silicone rubber rods in salt fog chamber by different measuring systems," in *Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Boston, MA, USA, 7 - 10 Apr 2002.
- [87] S. Kurihara, Y. Z. Arief, T. Tsurusaki, S. Ohtsuka, Y. Hashimoto, S. Higashi and M. Hikita, "Construction of remote monitoring system for separative measurement of leakage current of outdoor insulators," in *Proceedings of the 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, Nagoya, Japan, 1 - 5 June 2003.
- [88] M. Otsubo, T. Hashiguchi, C. Honda, O. Takenouchi, T. Sakoda and Y. Hashimoto, "Evaluation of insulation performance of polymeric surface using a novel separation technique of leakage current," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 10, no. 6, pp. 1053 - 1060, Dec 2003.
- [89] Y. Zhu, S. Yamashita, N. Anami, M. Otsubo, C. Honda, S. Hashimoto and Y. Hashimoto, "Leakage current analysis and electric field calculation in salt fog ageing test on polymer insulation material," in *IEEE 2003 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Albuquerque, NM, USA, 19 - 22

- Oct 2003.
- [90] M. Otsubo, N. Anami, C. Honda, O. Takenouchi, Y. Hashimoto and Y. Sonoda, "Evaluation of the leakage current and observation of discharge emission in pollution test of polymer insulator," in *13th International Symposium on High Voltage Engineering*, Delft, Netherlands, 25 - 29 Aug 2003.
- [91] B. Marungsri, H. Komiya, I. Aoyama, A. Ishikawa and R. Matsuoka, "Salt fog ageing test results of silicone rubber for outdoor polymer insulators," in *Proceedings of the 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, Nagoya, Japan, 1 - 5 Jun 2003.
- [92] T. Suda, "Frequency characteristics of leakage current waveforms of an artificially polluted suspension insulator," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 4, pp. 705 - 709, Aug 2001.
- [93] N.-C. Wang, C.-F. Chi and T.-Y. Guo, "Leakage current test and study of room temperature vulcanizing coatings for outdoor high voltage porcelain insulators," in *Proceedings of the PowerCon 2000: International Conference on Power System Technology*, Perth, Western Australia, 4 - 7 Dec 2000.
- [94] J.-H. Kim, W.-C. Song, J.-H. Lee, Y.-K. Park, H.-G. Cho, Y.-S. Yoo and K.-J. Yang, "Leakage current monitoring and outdoor degradation of silicone rubber," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 6, pp. 1108 - 1115, Dec 2001.
- [95] M. A. M. Piah and A. Darus, "Modeling leakage current and Electric field behavior of wet contaminated insulators," *IEEE Transactions on Power Delivery - Power Engineering Letters*, vol. 19, no. 1, pp. 432 - 433, Jan 2004.
- [96] M. D. Afendi, M. A. M. Piah and A. Darus, "Computer-based monitoring system for analysing surface leakage current in an IEC 587 test set-up," *Jurnal Teknologi @ University Teknologi Malaysia*, vol. 38 (D), pp. 67 - 78, Jun 2003.
- [97] PowerLink, Queensland, "LCM pollution monitoring system," in *PPC Workshop: Contamination Issues on High Voltage Installations*, Heraklion, Crete, Greece, Apr 2001.
- [98] W. L. Vosloo, I. Gutman and R. Hartings, "Long-term service testing of insulators at a test tower in South Africa," in *CIGRE Regional Conference*, Somerset West, Oct 2001.
- [99] W. L. Vosloo, R. Swinny and J. P. Holtzhausen, "Koeberg Insulator Test Station (KIPTS): An in-house insulator product ageing test station," in *CIGRE Regional Conference*, Somerset West, Oct 2001.
- [100] J. P. Holtzhausen and W. L. Vosloo, "Insulator pollution and wetting processes at a severe coastal site," in *13th International Symposium on High Voltage Engineering*, Delft, Netherlands, Aug 2003.
- [101] W. L. Vosloo and J. P. Holtzhausen, "The prediction of insulator leakage currents from environmental data," in *IEEE 6th AFRICON*, University of Pretoria, South Africa, 2 - 4 Oct 2002.
- [102] J. P. Holtzhausen and W. L. Vosloo, "An analysis of leakage current waveforms, measured on-site, with reference to insulator pollution flashover models," in *13th International Symposium on High Voltage Engineering*, Delft, Netherlands, Aug 2003.
- [103] R. Znaidi, "Assessment of composite insulators behavior in marine and desert environment," in *PPC Workshop: Contamination Issues on High Voltage Installations*, Heraklion, Crete, Greece, Apr 2001.
- [104] R. Munteanu, "Use of leakage current monitoring system for maintenance of insulators," in *World Conference on Insulators, Arresters & Bushings*, Malaga, Spain, 16 - 19 Nov 2003.

- [105] M. Youssef and A. A. El-Alayly, "Remote monitoring of surface current over insulators," in *2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Atlanta, GA, USA, 28 Oct - 2 Nov 2001.
- [106] K. L. Chrzan, "Pollution test station Glogow, twenty years of research," in *13th International Symposium on High Voltage Engineering*, Delft, Netherlands, Aug 2003.
- [107] T. Sorqvist, "Long-term field experience with RTV coated porcelain insulators," in *Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Anaheim, CA, USA, 2 - 5 Apr 2000.
- [108] T. G. Gustavsson, S. M. Gubanski, H. Hillborg, I. S. Karlsson and U. W. Gedde, "Aging of silicone rubber under ac or dc voltages in a coastal environment," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 6, pp. 1029 - 1039, Dec 2001.
- [109] I. J. S. Lopes, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "A study of partial discharges from water droplets on a silicone rubber insulating surface," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 2, pp. 262 - 268, Apr 2001.
- [110] I. J. S. Lopes, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "Partial discharge patterns for silicone rubber insulators under salt-fog," in *IEEE 2001 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Kitchener, Ontario, Canada, 14 - 17 Oct 2001.
- [111] I. J. S. Lopes, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "A method for detecting the transition from corona from water droplets to dry-band arcing on silicone rubber insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 9, no. 4, pp. 964 - 971, Dec 2002.
- [112] A. H. El-Hag, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "Low frequency harmonic components of leakage current as a diagnostic tool to study aging of silicone rubber insulators," in *IEEE 2001 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Kitchener, Ontario, Canada, 14 - 17 Oct 2001.
- [113] R. Omranipour, L. H. Meyer, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "Tracking and erosion resistance of RTV silicone rubber: Effect of filler particle size and loading," in *IEEE 2002 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Cancun, Mexico, 20 - 24 Oct 2002.
- [114] A. H. El-Hag, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "Use of low frequency harmonic components as a signature to detect arcing on HTV silicone rubber in salt-fog," in *Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Boston, MA, USA, 7 - 10 Apr 2002.
- [115] A. H. El-Hag, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "Fundamental and low frequency harmonic components of leakage current as a diagnostic tool to study aging of RTV and HTV silicone rubber in salt-fog," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 10, no. 1, pp. 128 - 136, Feb 2003.
- [116] C. J. Kim, J. A. Momoh and H.-J. Lee, "Phase-time analysis fo the leakage impulse current of faulty line-post pin insulators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, no. 1, pp. 323 - 328, Jan 2003.
- [117] C. S. Richards, C. L. Benner, K. L. Butler-Purry and B. Don Russell, "Electrical behavior of contaminated distribution insulators exposed to natural wetting," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 2, pp. 551 - 558, Apr 2003.
- [118] D. Armentrout, M. Kumosa and L. Kumosa, "Water diffusion into and electrical testing of composite insulator GRP rods," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 11, no. 3, pp. 506 - 522, Jun 2004.
- [119] G. Montoya, I. Ramirez and J. I. Montoya, "Measuring pollution level generated on electrical insulators after a strong storm," *Electric Power Systems Research*, vol. 71, no. 3, pp. 267 - 273, Nov 2004.

- [120] Suwarno, "Suppression of leakage current and improving insulator voltage withstand using silicone compound coating," in *IEEE 7th International Power Engineering Conference (IPEC 2005)*, Singapore, 29 Nov - 2 Dec 2005.
- [121] Suwarno, "Leakage current waveforms of outdoor polymeric insulators and possibility of application for diagnostics of insulator conditions," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 114 - 119, Jan 2006.
- [122] Waluyo, P. M. Pakpahan, Suwarno and M. A. Djauhari, "Study on leakage current waveforms of porcelain insulator due to various artificial pollutants," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 32, pp. 293 - 298, 2007.
- [123] M. K. Iwa Garniwa, B. Sudiarto and R. S. Ansorulah, "Effect of pollutant type and concentration on harmonic characteristic of leakage current on resin epoxy insulator," in *Proceedings of the 2nd Indonesia-Japan Joint Scientific Symposium*, Universitas Indonesia, Sep 2006.
- [124] S. Manjang and I. Abduh, "Leakage current patterns on artificially polluted porcelain and polymer insulator," in *IEEE 8th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials (ICPADM)*, Bali, Indonesia, 26 - 30 Jun 2006.
- [125] H. Ahmad, M. A. Salam, L. Y. Ying and N. Bashir, "Harmonic components of leakage current as a diagnostic tool to study the aging of insulators," *Journal of Electrostatics*, vol. 66, no. 3 - 4, pp. 156 - 164, Mar 2008.
- [126] W. Chen, C. Yao, P. Chen, C. Sun, L. Du and R. Liao, "A new broadband microcurrent transducer for insulator leakage current monitoring system," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 1, pp. 355 - 360, Jan 2008.
- [127] Z. Guan, Y. Mao, L. Wang, R. Li, H. Wen and Y. Ma, "Leakage current and discharge phenomenon of outdoor insulators," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 1, no. 1, 2009.
- [128] H. Gao, Z. Jia, Z. Guan, L. Wang and K. Zhu, "Investigation on field-aged RTV-coated insulators used in heavily contaminated areas," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 2, pp. 1117 - 1124, Apr 2007.
- [129] B. X. Du and Y. Liu, "Frequency distribution of leakage current on silicone rubber insulator in salt-fog environments," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 24, no. 3, pp. 1458 - 1464, Jul 2009.
- [130] B. X. Du, Y. Liu, H. J. Liu and Y. J. Yang, "Recurrent plot analysis of leakage current for monitoring outdoor insulator performance," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 16, no. 1, pp. 139 - 146, Feb 2009.
- [131] S. Kumagai, "Leakage current suppression and resistance to tracking and erosion of HTV silicone rubber with added silicone plasticizer," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, no. 2, pp. 384 - 392, Apr 2007.
- [132] S. Kumagai, "Influence of algal fouling on hydrophobicity and leakage current on silicone rubber," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, no. 5, pp. 1201 - 1206, Oct 2007.
- [133] S. Kumagai, B. Marungsri, H. Shinokubo, R. Matsuoka and N. Yoshimura, "Comparison of leakage current and aging of silicone rubbers and porcelain in both field and salt-fog tests," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 13, no. 6, pp. 1286 - 1302, Dec 2006.
- [134] H. Homma, T. Kuroyagi, R. Ishino and T. Takahashi, "Comparison of leakage current properties between polymeric insulators and porcelain insulators under salt polluted conditions," in *Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, Kitakyushu, Japan, 5 - 9 Jun 2005.
- [135] T. Suda, "Frequency characteristics of leakage current waveforms of a string of suspension insulators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 1, pp. 481 - 487, Jan 2005.

- [136] Y. Zhu, M. Otsubo, C. Honda, Y. Hashimoto and A. Ohno, "Mechanism for change in leakage current waveform on a wet silicone rubber surface - A study using a dynamic 3-D model," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 12, no. 3, pp. 556 - 565, Jun 2005.
- [137] K. L. Wong, S. Pathak and X. Yu, "Aging effect on leakage current flow in wooden poles," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 16, no. 1, pp. 133 - 138, Feb 2009.
- [138] V. Rajini and K. Udayakumar, "Degradation of silicone rubber under AC or DC voltages in radiation environment," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 16, no. 3, pp. 834 - 841, Jun 2009.
- [139] D. Devendranath, G. Girija, R. S. Shivakumara Aradhya, B. Gunasekaran and A. Bhaskaran, "Development and application of a multi channel current integrator-cum-peak classifier for online monitoring of leakage current on RTV coated insulators," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 152, no. 2, pp. 247 - 252, Mar 2005.
- [140] D. Devendranath, K. A. Aravind, A. Ramulu and A. K. Tripathy, "Accelerated-ageing test for RTV-coated insulators: analysis of electrical and material properties," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 152, no. 5, pp. 635 - 644, Sep 2005.
- [141] M. Amin and M. Salman, "Aging of polymeric insulators (an overview)," *Reviews on Advanced Materials Science*, vol. 13, pp. 93 - 116, 2006.
- [142] M. Amin, M. Akbar and S. Amin, "Hydrophobicity of silicone rubber used for outdoor insulation an overview," *Reviews on Advanced Materials Science*, vol. 16, pp. 10 - 26, 2007.
- [143] M. Amin, S. Amin and M. Ali, "Monitoring of leakage current for composite insulators and electrical devices," *Reviews on Advanced Materieals Science*, vol. 21, pp. 75 - 89, 2009.
- [144] M. Rezaei, M. Oskouee, M. R. Shariati, S. Agah and M. Rasti, "A practical application of substation insulator maintenance at a steel mill factory in south of Iran," in *42nd CIGRE Session, Presentation B3-109*, Palais de Congres, Paris, 24 - 29 Aug 2008.
- [145] M. R. Shariati, S. J. A. Vaseai, A. Hooshmand Khooy and A. Omidvarnia, "A novel plan for performance evaluation of aged composite insulators," in *42nd CIGRE Session, Presentation C4-123*, Palais de Congres, Paris, 24 - 29 Aug 2008.
- [146] A. Kazemi, M. T. Hassanzadeh and A. Gholami, "Artificial neural network for insulator leakage current prediction from environmental data," in *IEEE 2nd International Conference on Power and Energy (PECon 08)*, Johor Baharu, Malaysia, 1 - 3 Dec 2008.
- [147] M. A. Salam, N. El-Fadil and Z. Nadir, "A novel approach to predict leakage current in insulators from wind velocity," *ECTI Transactions On Electrical Engineering, Electronics and Communications*, vol. 4, no. 1, pp. 47 - 50, Feb 2006.
- [148] E. Natan, R. Munteanu and R. Rabinovici, "Prediction of insulator flashover based on leakage current and humidity measurements," in *IEEE 24th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Eilat*, Israel, Nov 2006.
- [149] W. L. Vosloo, F. Engelbrecht, N. Heger and J. P. Holtzhausen, "Implementation of 220kV in-service insulator performance test tower in Namibia," in *IEEE 2007 AFRICON*, Windhoek, Namibia, 26 - 28 Sep 2007.
- [150] G. Montoya-Tena, R. Hernandez-Corona and I. Ramirez-Vasquez, "Experiences on pollution level measurement in Mexico," *Electric Power Systems Research*, vol. 76, no. 1-3, pp. 58 - 66, Sep 2005.
- [151] G. Montoya, I. Ramirez and R. Hernandez, "The leakage current as a diagnostic tool

- for outdoor insulation," in *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America*, Bogota, Colombia, 13-15 Aug 2008.
- [152] I. Ramirez, R. Hernandez and G. Montoya, "Diagnostics for nonceramic insulators in harsh environment," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 25, no. 6, pp. 28 - 33, Nov/ Dec 2009.
- [153] E. Fontana, S. Campello Oliveira, F. J. M. M. Cavalcanti, R. Bandeira Lima, J. F. Martins-Filho and E. Meneses-Pacheco, "Novel sensor system for leakage current detection on insulator strings of overhead transmission lines," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 4, pp. 2064 - 2070, Oct 2006.
- [154] S. Campello Oliveira, E. Fontana and F. J. M. M. Cavalcanti, "Real time monitoring of the leakage current of 230kV insulator strings under washing," in *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Chicago, IL, USA, 21-24 Apr 2008.
- [155] S. Campello Oliveira, E. Fontana and F. J. M. M. Cavalcanti, "Real-time monitoring of the leakage current of 230kV glass-type insulators during washing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 24, no. 4, pp. 2257 - 2260, 2009 Oct.
- [156] F. Meghnefi, C. Volat and M. Farzaneh, "Temporal and Frequency analysis of the leakage current of a station post insulator during ice accretion," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, no. 6, pp. 1381 - 1389, Dec 2007.
- [157] H. Hemmatjou, M. Farzaneh and I. Fofana, "Modeling of the AC arc discharge on snow-covered insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, no. 6, pp. 1390 - 1400, Dec 2007.
- [158] K. Kannus and K. Lathi, "Laboratory investigations of the electrical performance of ice-covered insulators and a metal oxide surge arrester," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, no. 6, pp. 1357 - 1372, Dec 2007.
- [159] A. H. El-Hag, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "Effect of insulator profile on aging performance of silicone rubber insulators in salt-fog," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, no. 2, pp. 352 - 359, Apr 2007.
- [160] A. H. El-Hag, S. H. Jayaram and E. A. Cherney, "Calculation of leakage current density of silicone rubber insulators under accelerated aging conditions," *Journal of Electrostatics*, vol. 67, no. 1, pp. 48 - 53, Feb 2009.
- [161] A. H. El-Hag, "A new technique to detect dry-band arcing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 2, pp. 1202 - 1203, Apr 2005.
- [162] A. H. El-Hag, "Leakage current characterization for estimating the conditions of non-ceramic insulators' surfaces," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, no. 3-4, pp. 379 - 384, Mar 2007.
- [163] R. Boudissa, S. Djafri, A. Haddad, R. Belaicha and R. Bearsch, "Effect of insulator shape on surface discharges and flashover under polluted conditions," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 12, no. 3, pp. 429 - 437, Jun 2005.
- [164] A. N. Jahromi, A. H. El-Hag, S. H. Jayaram, M. Sanaye-Pasand and H. Mohseni, "Effect of acid immersion on RTV silicone rubber coatings in inclined plane tests," in *IEEE 2005 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP'05)*, Nashville, TN, USA, 16 - 19 Oct 2005.
- [165] A. N. Jahromi, A. H. El-Hag, S. H. Jayaram, E. A. Cherney, M. Sanaye-Pasand and H. Mohseni, "A neural network based method for leakage current prediction of polymeric insulators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 1, pp. 506 - 507, Jan 2006.
- [166] Z. Su, W. Ma, D. Wu, U. Astrom and G. Karlsson, "Measurement of site pollution severity under DC voltage by means of a portable test station," in *14th International Symposium on High Voltage Engineering*, Tsinghua University, Beijing, 25 - 29 Aug

2005.

- [167] R. Sarathi, S. Chandrasekar and N. Yoshimura, "Investigations into the surface condition of silicone rubber insulation material using multiresolution signal decomposition technique," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, no. 1, pp. 243 - 252, Jan 2006.
- [168] F. Aulia, F. David, E. P. Waldy and H. Hazmi, "The leakage current analysis of 20kV suspension porcelain insulator contaminated by salt moisture and cement dust in Padang area," in *IEEE 8th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials*, Bali, Indonesia, 26 - 30 Jun 2006.
- [169] I. Gutman, T. Ohnstad, L. Wallin, D. Windmar and U. Akesson, "Field experience and test verification of HV composite apparatus insulators," in *42nd CIGRE Session, Presentation A3-302*, Palais de Congres, Paris, 24 - 29 Aug 2008.
- [170] S. Berlijn, K. Halsan, I. Gutman and A. Derrfalk, "Assesing ten years of service experience with composite line insulators at HVDC," in *INMR 2009 - World Congress on Insulators, Arresters and Bushings*, Crete, Greece, 10 - 13 May 2009.
- [171] J. M. Seifert, R. Barsch and W. L. Vosloo, "Dimensioning of the housing profile of silicone rubber composite insulators for harsh marine pollution conditions," in *42nd CIGRE Session, Presentation D1-303*, Palais de Cogres, Paris, 24 - 29 Aug 2008.
- [172] S. Chandrasekar, C. Kalaivanan, A. Cavallini and G. C. Montanari, "Investigations on leakage current and phase angle characteristics of porcelain and polymeric insulator under contaminated conditions," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 16, no. 2, pp. 574 - 583, Apr 2009.
- [173] R. A. de Lima, E. Fontana, J. F. Martins-Filho, T. L. Prata, G. O. Cavalcanti, R. B. Lima, S. Campello Oliveira and F. J. M. M. Cavalcanti, "Monitoring pollution deposition in high voltage insulators via satellite," in *14° SBMO – Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e 9° CBMag – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo*, Vila Velha, Brazil, 2010.
- [174] I. A. Joneidi, A. Ghorbandaeipour, A. R. Majzobi, A. A. Shayegani and H. Mohseni, "Investigation of ultra violet influence on the surface of silicone rubber insulator," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [175] Z. Farhadinejad, M. Ehsabi, I. Ahmadi-Joneidi, A. A. Shayegani and H. Mohseni, "Effects of UVC radiation on thermal, electrical and morphological behavior of silicone rubber insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 5, pp. 1740 - 1749, Oct 2012.
- [176] A. S. Nekeb, N. Harid and A. Haddad, "Effect of UV irradiation on the leakage current of polymeric insulators," in *Proceedings of 2011 46th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC)*, Soest, Germany, 5 - 8 Sep 2011.
- [177] N. Bashir and H. Ahmad, "Odd harmonics and third to fifth harmonic ratios of leakage currents as diagnostic tools to study the aging of glass insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 3, pp. 819 - 832, Jun 2010.
- [178] H. H. Kordkheili, H. Abravesh, M. Tabashi, M. Dakhem and M. M. Abravesh, "Determining the probability of flashover occurrence in composite insulators by using leakage current harmonic components," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 2, pp. 502 - 512, Apr 2010.
- [179] X. Jiang, Y. Shi, C. Sun and Z. Zhang, "Evaluation of the safety condition of porcelain insulators by the time and frequency characteristics of LC based on artificial pollution tests," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 2, pp. 481 - 489, Apr 2010.
- [180] M. A. Douar, A. Mekhaldi and M. C. Bouzidi, "Flashover process and frequency analysis of the leakage current on insulator model under non-uniform pollution

- conditions," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 4, pp. 1284 - 1297, Aug 2010.
- [181] M. A. Douar, A. Mekhaldi and M. C. Bouzidi, "Frequency analysis of the leakage current under non uniform polluted conditions on one insulator plane model," in *IEEE 2010 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, West Lafayette, USA , 17 - 20 Oct 2010.
- [182] Z. Xu, Z. Jia, Z. Li, X. Wei, Z. Guan, M. McAlpine, Y. Zhao and Y. Li, "Anti-icing performance of RTV coatings on porcelain insulators by controlling the leakage current," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 18, no. 3, pp. 760 - 766, Jun 2011.
- [183] X. Wei, Z. Jia, Z. Sun, W. Liao, Y. Qin, Z. Guan, Z. Xu and X. Peng, "Study of anti-icing performance of insulator strings bottom-coated with semiconductive silicone rubber coating," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 6, pp. 2063 - 2072, Dec 2012.
- [184] H. Su, Z. Jia, Z. Guan and L. Li, "Evaluation of insulators sting's icing status based on leakage current," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [185] C. Volat, F. Meghbehi, M. Farzaneh and H. Ezzaidi, "Monitoring leakage current of ice-covered station post insulators using Artificial Neural Networks," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 2, pp. 443 - 450, Apr 2010.
- [186] Y. Liu and B. X. Du, "Recurrent plot analysis of leakage current on flashover performance of rime-iced composite insulator," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 2, pp. 465 - 472, Apr 2010.
- [187] X. Jiang, Y. Xia, L. Dong, J. Hu and L. Shu, "Study on leakage currents' frequent and phase characteristics of ice-covered insulators," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [188] I. M. Jarrar, "Using a pattern recognition-based technique to assess the condition of silicone rubber outdoor insulators," A Thesis Presented to the Faculty of the American University of Sharjah College of Engineering in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Electrical Engineering, Sharjah, United Arab Emirates, May 2013.
- [189] Z. Liu and X.-S. Li, "The application of wavelet neural network in the detection of electrical insulator leakage current," in *2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application*, Changsha, Hunan China, 13 - 14 Oct 2010.
- [190] S. Chandrasekar, "Wavelet transform and artificial neural network approach to infer the surface condition of power transmission line ceramic insulators," *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 59 - 66, Winter - Spring 2010.
- [191] J. Li, C. Sun, W. Sima, Q. Yang and J. Hu, "Contamination level prediction of insulators based on the characteristics of leakage current," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 1, pp. 417 - 424, Jan 2010.
- [192] J. Li, W. Sima, C. Sun and S. A. Sebo, "Use of leakage currents of insulators to determine the stage characteristics of the flashover process and contamination level prediction," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 2, pp. 490 - 501, Apr 2010.
- [193] W.-G. Chen, Q. Xia, B. Luo and L. -. C. Li, "Fractal characteristic research of leakage current for insulators contamination degree prediction," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 28 Aug 2011.
- [194] L. Zhao, J. Jiang, S. Duan, C. Fang, J. Wang, K. Wang, P. Cao and J. Zhou, "The

- prediction of post insulators leakage current from environmental data," in *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE)*, Yichang, China, 16 - 18 Sep 2011.
- [195] V. R. Yandri, "The estimation of flashover voltage as 20kV outdoor insulator in tropical environment based on leakage current data," in *2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Bandung, Indonesia, 17 - 19 Jul 2011.
- [196] M. A. R. M. Fernando and S. M. Gubanski, "Ageing of silicone rubber insulators in coastal and inland tropical environment," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 2, pp. 326 - 333, Apr 2010.
- [197] Waluyo, I. Ngapuli, Sinisuka, Suwarno and M. A. Djauhari, "Comparative study on the properties of porcelain and epoxy resin insulators taken from a coastal area in Indonesia," *International Journal of Innovations in Energy Systems and Power*, vol. 5, no. 1, pp. 22 - 39, Apr 2010.
- [198] J. Zhou, J. Li, R. Huang, B. Liu and X. Yu, "A study of the contamination flashover at actual high altitude," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [199] K. L. Chrzan, "Leakage currents on naturally contaminated porcelain and silicone insulators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 2, pp. 904 - 910, Apr 2010.
- [200] K. L. Chrzan, W. L. Vosloo and J. P. Holtzhausen, "Power Engineering Letters: Leakage current on porcelain and silicone insulators under sea or light industrial pollution," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 26, no. 3, pp. 2051 - 2052, Jul 2011.
- [201] P. J. Pieterse, A. I. Elombo, G. N. J. Mouton, H. J. Vermeulen, J. P. Holtzhausen and W. L. Vosloo, "A coastal insulator pollution test station for the evaluation of the relative ageing performance of power line insulators under AC and DC Voltage," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [202] A. I. Elombo, J. P. Holtzhausen, H. J. Vermeulen, P. J. Pieterse and W. L. Vosloo, "Comparative evaluation of the leakage current and aging performance of HTV SR insulators of different creepage lengths when energized by AC, DC+ or DC- in a severe marine environment," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 20, no. 2, pp. 421 - 428, Apr 2013.
- [203] G. N. J. Mouton, "An evaluation of different material line insulators under high voltage AC and bipolar DC excitation in a marine polluted environment," Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree Master of Science in Engineering at Stellenbosch University, Copyright © 2012 Stellenbosch University, December 2012.
- [204] L. H. Meyer, G. E. Cardoso, C. R. Oliboni, M. Pessoa, T. I. Mustafa, H. D. Almaguer, F. H. Molina and G. Cassel, "Monitoring of leakage current and weather conditions to evaluate performance of insulating systems in the field," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [205] H. Su, Z. Jia, Z. Guan and L. Li, "Durability of RTV-coated insulators used in subtropical areas," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 18, no. 3, pp. 767 - 774, Jun 2011.
- [206] M. Rezaei, M. R. Shariati and S. Jabbari, "Assessment of in service composite insulators in very harsh coastal environment of Iran: Laboratory and Field testing," in *CIGRE 21st International Conference on Electricity Distribution*, Frankfurt, Germany, 6 - 9 Jun 2011.
- [207] Z. Li, Q. Zhang, L. Zhang, F. Liu, H. Xi and H. Wang, "Study on critical flashover

- characteristics of insulator string covered with ice," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [208] Y. Li, Q. Zhang, H. Xi and F. Liu, "Experimental study of partial arc propagation process and flashover characteristics along the contaminated insulator string," in *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany, 22 - 26 Apr 2011.
- [209] S. Braini, A. Haddad and N. Harid, "The performance of nano-coating for high voltage insulatoris," in *Proceedings of 2011 46th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC)*, Soest, Germany, 5 - 8 Sep 2011.
- [210] Δ. Πυλαρινός, «Διερεύνηση συμπεριφοράς μονωτήρων υψηλής τάσης μέσω μετρήσεων του ρεύματος διαρροής,» Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, Πάτρα, 2012.
- [211] Ι. Ν. Στεφανάκης, «Η επίδραση της θαλάσσιας ρύπανσης στο σύστημα μεταφοράς Κρήτης,» σε *Ελληνική επιτροπή CIGRE*, Σύνοδος Πάτρα, 6 - 7 Ιουνίου 1996.
- [212] J. Stefanakis, E. Thalassinakis, K. Siderakis, D. Agoris and E. Dialynas, "Fighting pollution in the Cretan transmission system - 25 years experience," in *Contamination Issues on High Voltage Installations*, Heraklion, Crete, Greece, 2001.
- [213] K. Siderakis, J. Stefanakis, E. Thalassinakis, D. Agoris and E. Dialynas, "Coastal contamination of the high voltage insulators in the Cretan power system," in *IEE 2nd Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2000)*, Herzlia, Israel, 13 - 15 Nov 2000.
- [214] K. Siderakis, D. Agoris, E. Thalassinakis and J. Stefanakis, "Evaluation of the pollution performance of SIR materials in the Cretan transmission system in correlation to the pollution model of Crete," in *3rd Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2002)*, Athens, Greece, 4 - 6 Nov 2002.
- [215] E. Thalassinakis and C. G. Karagiannopoulos, "Measurements and interpretations concerning leakage currents on polluted high voltage insulators," *Measurement Science and Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 421 - 426, 2003.
- [216] K. Siderakis, D. Agoris, E. Pyrgioti and E. Thalassinakis, "Investigation of leakage current on high voltage insulators - Field Measurements," *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, vol. 5, no. 3, pp. 1188 - 1191, 2004.
- [217] Κ. Σιδεράκης, «Διερεύνηση της συμπεριφοράς μονωτήρων πορσελάνης και υλικών RTV SIR σε πραγματικές και εργαστηριακές συνθήκες με μετρήσεις του ρεύματος διαρροής,» Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, 2006.
- [218] K. Siderakis, D. Agoris, J. Stefanakis and E. Thalassinakis, "Influence of the profile on the performance of porcelain insulators installed in coastal high voltage networks in the case of condensation wetting," *IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology*, vol. 153, no. 4, pp. 158 - 163, 2006.
- [219] K. Siderakis and D. Agoris, "Performance of RTV silicone rubber coatings installed in coastal systems," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, pp. 248 - 254, 2008.
- [220] K. Siderakis, D. Agoris and S. Gubanski, "Influence of heat conductivity on the performance of RTV SIR coatings with different fillers," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 38, pp. 3682 - 3689, 2005.
- [221] K. Siderakis, D. Agoris and S. M. Gubanski, "Salt fog evaluation of RTV SIR coatings with different fillers," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 4, pp. 2270 - 2277, 2008.
- [222] D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Thalassinakis, I. Vitellas and E. Pyrgioti, "Recording and managing field leakage current waveforms in Crete. Installation, measurement,

- software development and signal processing," in *16th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems (ISAP 2011)*, Hersonissos, Crete, Greece, 25 - 28 Sep 2011.
- [223] D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Pyrgioti, E. Thalassinakis and I. Vitellas, "Monitoring leakage current waveforms in the field," in *DEMSEE 5th international conference and technical exhibit on Deregulated Electricity Market issues in South-Eastern Europe*, Sitia, Crete, Greece, 23 - 24 Sep 2010.
- [224] D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Pyrgioti, E. Thalassinakis and I. Vitellas, "Impact of noise related waveforms on long term field leakage current measurements," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 18, no. 1, pp. 122 - 129, 2011.
- [225] D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Pyrgioti, E. Thalassinakis and I. Vitellas, "Long term leakage current measurements in the field: Techniques to overcome the noise and data size problems," in *7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2010)*, Agia Napa, Cyprus, 7 - 10 Nov 2010.
- [226] D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Pyrgioti, E. Thalassinakis and I. Vitellas, "Investigating and overcoming the noise and data size problems in long term field leakage current monitoring," in *17th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2011)*, Hannover, Germany, 22 - 26 Aug 2011.
- [227] D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Pyrgioti, E. Thalassinakis and I. Vitellas, "Automating the classification of field leakage current waveforms," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 1, no. 1, pp. 8 - 12, 2011.
- [228] D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Thalassinakis, E. Pyrgioti, I. Vitellas and S. L. David, "Online applicable techniques to evaluate field leakage current waveforms," *Electric Power System Research*, vol. 84, no. 1, pp. 65 - 71, 2012.
- [229] D. Pylarinos, K. Theofilatos, K. Siderakis, E. Thalassinakis, I. Vitellas, A. T. Alexandridis and E. Pyrgioti, "Investigation and classification of field leakage current waveforms," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 6, pp. 2111 - 2118, 2012.
- [230] D. Pylarinos, K. Theofilatos, K. Siderakis, E. Pyrgioti, T. Papazoglou, I. Vitellas and E. Thalassinakis, "Classification of Field Leakage Current Waveforms using Genetic Algorithms and an Euclidian Classifier," in *7th International Workshop on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe*, Bucharest, Romania, 20 - 21 Sep 2012.
- [231] D. Pylarinos, K. Theofilatos, K. Siderakis, E. Pyrgioti, T. Papazoglou, I. Vitellas and E. Thalassinakis, "Feature selection and classification of field leakage current waveforms using Genetic Algorithms," in *CIGRE Symposium 2013, paper no. 325*, Lisbon, Portugal, 22 - 24 Apr 2013.
- [232] K. Theofilatos, D. Pylarinos, S. Likothanassis, D. Melidis, K. Siderakis, E. Thalassinakis and S. Mavroudi, "A hybrid support vector fuzzy inference system for the classification of leakage current waveforms portraying discharges," *Electric Power Components and Systems*, vol. 42, no. 2, pp. 180 - 189, 2014.
- [233] "Greek Utility readies to energize new insulator Test Station," *INMR, Issue 82*, vol. 16, no. 4, pp. 32 - 37, 2008.
- [234] S. O. Kasap, «Ενότητα 2.5: Το φαινόμενο Hall και διατάξεις Hall,» σε *Αρχές Ηλεκτρονικών Υλικών και Διατάξεων - Δεύτερη Έκδοση*, Αθήνα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2004, pp. 188 - 194.
- [235] Tektronix, "DMM4040 and DMM4050 Digital Multimeter Users Manual," [Online]. Available: <http://www.tek.com/digital-multimeter/dmm4050-4040>.
- [236] "OLCA installation guide, CTRlab," September, 1999; reviewed 2001, South Africa.

- [Online]. Available:
<http://www.ctlab.com/downloads/OLCAv3%20Installation%20Guide.pdf>.
- [237] OLCA Data Manager User's Guide, CTLab.
- [238] D. Pylarinos, "A custom-made MATLAB based software to manage leakage current waveforms," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 1, no. 2, pp. 36 - 42, 2011.
- [239] DATAQ Instruments, "DI-720 Series, DI-722 Series, DI-730 Series, DI-725/E, DI-78B, DI-75B User's Manual, Manual Revision AN," 2012. [Online]. Available: <http://www.dataq.com/products/hardware/di722.htm>.
- [240] RIGOL Technologies, Inc., "DG1000 Series Dual-Channel Function/Arbitrary Waveform Generator, RIGOL, User's Guide," Jun 2014. [Online].
- [241] DATAQ Instruments, "WinDaq Acquisition Waveform Recording Software, WinDaq Waveform Browser Playback and Analysis Software, ActiveX Controls and XControls Software Modules User's Manual, Manual Revision K," 2012. [Online]. Available: <http://www.dataq.com/products/hardware/di722.htm>.
- [242] Ioan S. Popescu, DATAQ Instruments, "Data Acquisition Using LabVIEW and DATAQ Instruments' ActiveX Controls," [Online]. Available: <http://www.dataq.com/blog/data-acquisition/programming/data-acquisition-using-labview-dataq-instruments-activex-controls/>.
- [243] National Instruments, "LabVIEW™ - Getting Started with LabVIEW," June 2013. [Online]. Available: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373427j.pdf>.
- [244] National Instruments, "LabVIEW™ - Measurements Manual," July 2000 Edition. [Online]. Available: http://fy.chalmers.se/~f7xlh/LV_Kurs/Measur_Man_2000.pdf.
- [245] National Instruments, "LabVIEW™ - Using external code in LabVIEW," July 2000 Edition. [Online]. Available: <http://www.ni.com/pdf/manuals/370109a.pdf>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ «ΤΑΛΩΣ»

Μ. Κληρονόμου¹, Δ. Πυλαρινός², Κ. Σιδεράκης³, Ι. Φ. Γκόνος¹, Ι. Α. Σταθόπουλος¹
και Ε. Θαλασσινάκης²

¹Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π., Ηρώων
Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου, ΤΚ. 15780

²ΔΕΔΔΗΕ, Τέρμα Καστοριάς, Κατσαμπάς, Ηράκλειο Κρήτης

³ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Εσταυρωμένος, ΤΘ. 1939, ΤΚ. 71004
Ηράκλειο Κρήτης
E-mail: kl_mai@hotmail.com

Περίληψη

Η μέτρηση του ρεύματος διαρροής αποτελεί ευρέως διαδεδομένη τεχνική παρακολούθησης και διερεύνησης της συμπεριφοράς μονωτήρων υψηλής τάσης (Υ.Τ.). Προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα συνεχούς επιτήρησης και η διενέργεια παράλληλων μετρήσεων σε πλήθος δοκιμίων, ενώ μπορεί να εφαρμοστεί σε εργαστηριακές και πραγματικές συνθήκες. Παράλληλα όμως εμφανίζει σημαντικές τεχνικές δυσκολίες καθώς η ορθή παρακολούθηση, ειδικά σε πραγματικές συνθήκες, απαιτεί την καταγραφή και επεξεργασία ενός τεράστιου όγκου δεδομένων. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η μέτρηση του ρεύματος διαρροής ως εργαλείο παρακολούθησης με περίπτωση εφαρμογής το δίκτυο Κρήτης όπου, δεδομένων των έντονων προβλημάτων ρύπανσης, διεξάγεται πολύχρονη έρευνα για τη συμπεριφορά μονωτήρων Υ.Τ., στην οποία συμπεριλαμβάνεται η παρακολούθηση του ρεύματος στο πεδίο. Πλέον πρόσφατο στάδιο της έρευνας αποτελεί η κατασκευή και λειτουργία του υπαίθριου σταθμού δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» του ΔΕΔΔΗΕ στο Ηράκλειο Κρήτης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διάταξη καταγραφής και παρατίθεται αξιολόγησή της, συγκριτικά με προγενέστερες εκδοχές, σε θέματα ευκολίας χρήσης, ευελιξίας, περιορισμών και κόστους λειτουργίας.

Λέξεις - κλειδιά: ρύπανση μονωτήρων υψηλής τάσης, ανασκόπηση μεθόδων μέτρησης ρεύματος διαρροής, δίκτυο Κρήτης, Data Acquisition System, Σταθμός Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ»

Abstract

Measuring leakage current is a widespread monitoring technique for the investigation of the performance of high voltage (HV) insulators. It offers many advantages, such as continuous and parallel monitoring and testing of different specimens, and can be applied both under laboratory and field conditions. However, it bears obvious technical difficulties, especially in the case of field measurements where long term monitoring results to vast amounts of data. In this paper, an insight of leakage current monitoring is presented with the Cretan network as a case study. Given the intense pollution problems in Crete, a significant research effort is focused on the performance of HV insulators. In this paper the various aspects of field leakage current monitoring at TALOS High Voltage Test Station, constructed in Iraklion, are presented.

Keywords: high voltage insulators pollution, review of leakage current monitoring techniques, Cretan Network, Data Acquisition System, "TALOS" test station

1. Εισαγωγή

Η συμπεριφορά των μονωτήρων υψηλής τάσης αποτελεί βασικό παράγοντα σχετικά με την αξιοπιστία και ασφαλή λειτουργία ενός δικτύου μεταφοράς. Η συμπεριφορά και απόδοση των μονωτήρων εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων με έντονα τοπικό χαρακτήρα (Cigre 2000, IEC 60815). Σημαντικότερος ίσως παράγοντας είναι το φαινόμενο της ρύπανσης των μονωτικών επιφανειών από εναέριες εναποθέσεις, οι οποίες, συνήθως με την επίδραση ενός μηχανισμού ύγρανσης, επιτρέπουν τη ροή ρεύματος διαρροής στην επιφάνεια. Ξηρές ζώνες δημιουργούνται, καταγράφονται τοπικές υπερπηδήσεις και εκκενώσεις, οι οποίες μπορεί να επεκταθούν μέχρι την τελική υπερπήδηση του μονωτήρα (Cigre 2000). Κύρια πηγή ρύπανσης θεωρείται η θάλασσα, λόγω της μεταφοράς και συσσώρευσης αλατιού στην επιφάνεια των μονωτήρων, με την απόσταση από την ακτή να θεωρείται κυρίαρχος παράγοντας για τον καθορισμό της βαρύτητας της ρύπανσης, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και ιδιαίτερα τη σφοδρότητα του ανέμου (IEC 60815). Το δίκτυο Κρήτης αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα επιβαρυσμένου περιβάλλοντος λόγω των τοπικών περιβαλλοντικών συνθηκών αλλά και της παράκτιας ανάπτυξης του δικτύου. Έτσι, η ΔΕΗ έχει προχωρήσει σε εφαρμογή ποικίλων μεθόδων για τη διερεύνηση και καταπολέμηση του φαινομένου.

Σημαντικό ρόλο στην έρευνα κατέχει η μελέτη του ρεύματος διαρροής, καθώς η εξέλιξη του φαινομένου αντικατοπτρίζεται στην κυματομορφή του ρεύματος, και έτσι η καταγραφή του ρεύματος διαρροής αποτελεί ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την παρακολούθηση και διερεύνηση του φαινομένου της ρύπανσης και της συμπεριφοράς των μονωτήρων (Cigre 2000, Cigre 2007, IEC 60815). Πρέπει να σημειωθεί ότι, όσον αφορά στη μέτρηση του ρεύματος διαρροής, παρατηρείται ένας βασικός διαχωρισμός μεταξύ μετρήσεων στο εργαστήριο και στο πεδίο (Fernando and Gubanski 1999). Στις πρώτες εξετάζονται πρόσθετα στοιχεία, όπως το συχνοτικό περιεχόμενο, και έχει εφαρμοστεί ποικιλία τεχνικών επεξεργασίας σήματος, ενώ καταγράφεται συχνά και η πρωτογενής κυματομορφή. Στην περίπτωση καταγραφής στο πεδίο όμως, λόγω των προφανών τεχνικών δυσκολιών, το σύνηθες είναι η εξαγωγή και καταγραφή μόνο συγκεκριμένων μεγεθών από την κυματομορφή, με συννηθέστερα την τιμή κορυφής, την rms τιμή και το φορτίο, ενώ αυτή καθαυτή η κυματομορφή καταγράφεται αποσπασματικά ή καθόλου (Pylarinos, Siderakis and Pyrgioti 2011). Στην περίπτωση της Κρήτης, η αρχική προσέγγιση δεν ξέφευγε από τα παραπάνω, με τη διαφορά της μακροχρόνιας παρακολούθησης που, έστω και μέσω αποσπασματικής καταγραφής κυματομορφών, κατέληξε σε καταγραφή ενός σημαντικού πλήθους κυματομορφών, η επεξεργασία των οποίων οδήγησε σε σημαντικά ερευνητικά συμπεράσματα (Pylarinos et al. 2012, Theofilatos et al. 2014). Το επόμενο βήμα της έρευνας αφορά στη συνεχή καταγραφή της κυματομορφής ρεύματος διαρροής πολλαπλών μονωτήρων τοποθετημένων στον Υπαίθριο Σταθμό Δοκιμών Υψηλής Τάσης «ΤΑΛΩΣ». Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί η εξέλιξη της μετρητικής διάταξης τόσο από πλευράς εγκατάστασης όσο και λογισμικού.

2. Ρεύμα διαρροής και επιφανειακή δραστηριότητα

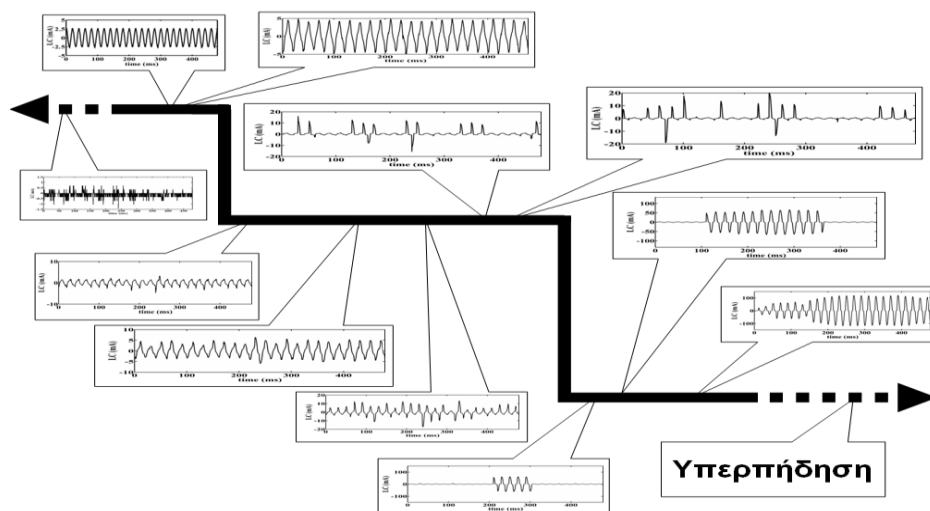
Η επιφανειακή δραστηριότητα έχει αντιστοιχηθεί με συγκεκριμένα σχήματα κυματομορφών ρεύματος διαρροής από πλήθος ερευνητών σε εργαστηριακές επιταχυνόμενες δοκιμές (Πυλαρινός 2012), τα οποία συνοψίζονται ως εξής:

- Στο πρώτο στάδιο (*πρώιμη δραστηριότητα*) ο μονωτήρας διατηρεί σε μεγάλο βαθμό τη διηλεκτρική του συμπεριφορά, με το ρεύμα διαρροής να είναι αρχικά χωρητικό.

Καθώς η διηλεκτρική συμπεριφορά υποβαθμίζεται, γίνεται ωμικό ημιτονοειδές και στη συνέχεια παραμορφωμένο ημιτονοειδές.

- Στο δεύτερο στάδιο (*ασθενείς εκκενώσεις*) αρχίζει η καταγραφή ασθενών εκκενώσεων, με παλμούς να υπερτίθενται στις κορυφές των ημιπεριόδων των ημιτόνων. Καθώς η δραστηριότητα προχωρά, οι εκκενώσεις γίνονται περισσότερες και πιο ισχυρές και οι παλμοί αυξάνουν σε εύρος και συχνότητα εμφάνισης.
- Στο τρίτο στάδιο (*ισχυρές εκκενώσεις*) οι εκκενώσεις είναι τόσο έντονες και εκτεταμένες που δίνουν στην κυματομορφή σχεδόν συμμετρικό μη γραμμικό σχήμα με μεγάλες τιμές κορυφής.

Στην περίπτωση καταγραφής σε πραγματικές συνθήκες, η έρευνα έδειξε ότι καταγράφονται αντίστοιχες κυματομορφές, με τη διαφορά ότι το χωρητικό ρεύμα είναι συνήθως εκτός ενδιαφέροντος (και ακρίβειας, καθώς υπερκαλύπτεται από τον περιβάλλοντα θόρυβο), η πορεία της δραστηριότητας δεν είναι μονοσήμαντη (όπως στις επιταχυνόμενες δοκιμές) αλλά παρουσιάζει οπισθοχωρήσεις και άλματα (φάσεις) ανάλογα με τις συνθήκες και το υλικό, ενώ κυματομορφές προγενέστερων σταδίων μπορεί να παρουσιάσουν μεγαλύτερο εύρος (και αντίστροφα) κατά τη διάρκεια διαφορετικών φάσεων (Πυλαρινός 2012). Μια σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών σταδίων, σε συνάρτηση με τις καταγραφόμενες κυματομορφές και σε αντιστοιχία με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν εργαστηριακές δοκιμές, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση της δραστηριότητας στο πεδίο (Πυλαρινός 2012)

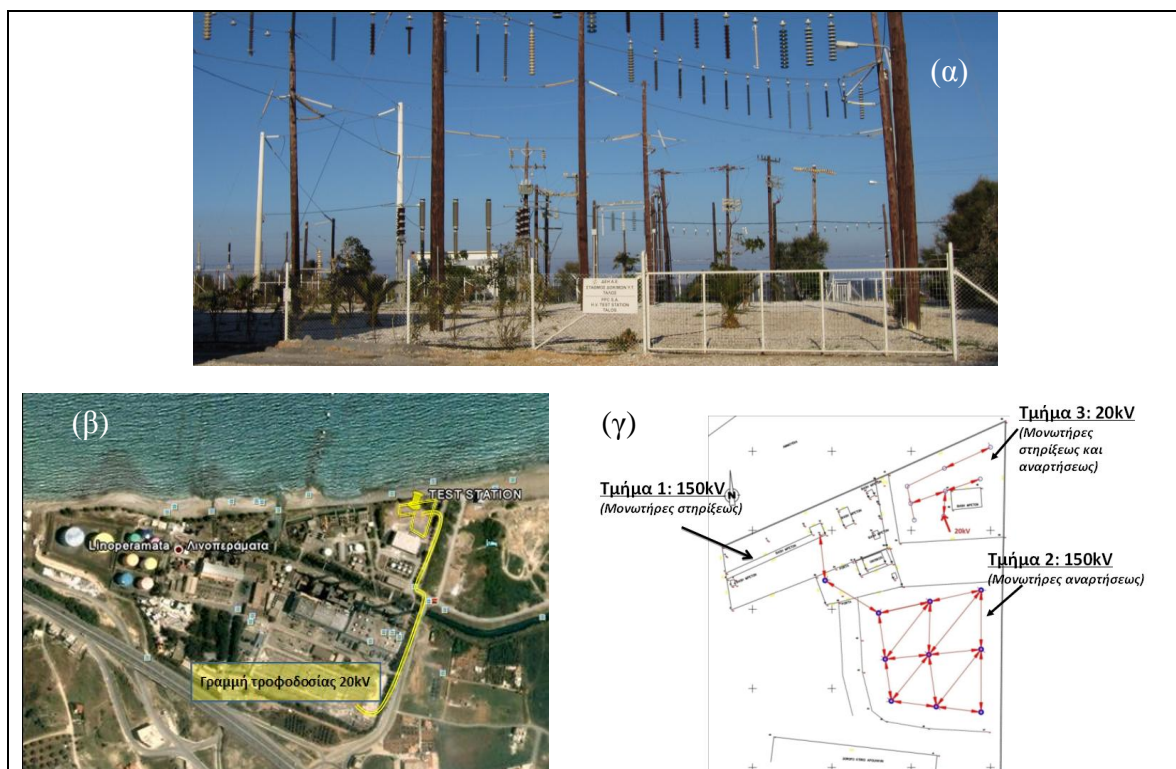
3. Η περίπτωση της Κρήτης

Η Κρήτη αποτελεί από άποψη ρύπανσης μια εξαιρετικά ιδιαίτερη περίπτωση για δύο κυρίως λόγους: τις τοπικές συνθήκες, με την παρουσία μακράς ξηράς περιόδου, ισχυρών ανέμων και βραχωδών ακτών, και τον παράκτιο σχεδιασμό του συστήματος μεταφοράς (Stefanakis et al. 2001). Το σύστημα Κρήτης φαίνεται στο Σχήμα 2. Από τα πρώτα βήματα ανάπτυξης του συστήματος μεταφοράς, τα σφάλματα λόγω ρύπανσης αποτελούσαν αξιοσημείωτο ποσοστό των συνολικών σφαλμάτων που καταγράφονταν στο δίκτυο (Siderakis et al. 2000), με το πρόβλημα να βελτιώνεται σημαντικά με την εφαρμογή διαφόρων τεχνικών αντιμετώπισης, όπως καθαρισμό μονωτήρων εντός και εκτός τάσης, εφαρμογή RTV επικαλύψεων και εγκατάσταση συνθετικών μονωτήρων (Siderakis et al. 2002, 2006 & 2008). Επιπλέον, σημαντική ερευνητική προσπάθεια έχει γίνει προς την κατεύθυνση της διερεύνησης του ρεύματος διαρροής (Pylyarinos et al. 2011

& 2012, Theofilatos et al. 2014) αλλά και την περαιτέρω διερεύνηση της συμπεριφοράς των μονωτήρων σε πραγματικές συνθήκες καταπόνησης, με πιο πρόσφατο βήμα την κατασκευή του Υπαίθριου Σταθμού Δοκιμών Υψηλών Τάσεων «ΤΑΛΩΣ» από τον ΔΕΔΔΗΕ, όπου και επικεντρώνεται πλέον η ερευνητική προσπάθεια (Pylarinos et al. 2011). Περισσότερες πληροφορίες για τον σταθμό και σχετική βιβλιογραφία μπορούν να αναζητηθούν στην ιστοσελίδα *talos-ts.com*.



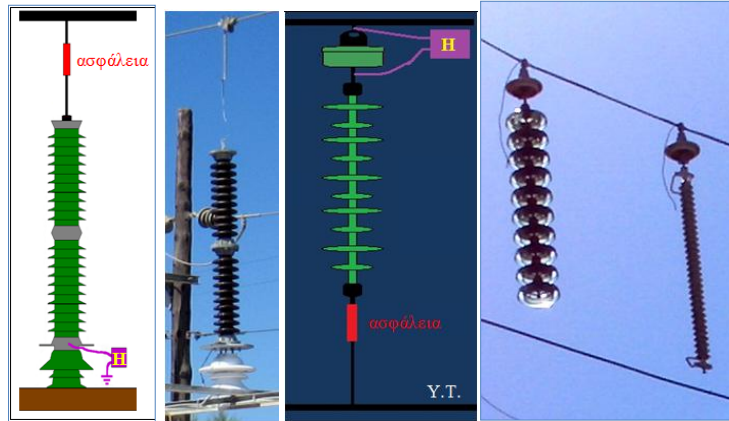
Σχήμα 2: Το σύστημα Κρήτης



Σχήμα 3. (α) Η είσοδος του Σταθμού Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» (β) Η γραμμή τροφοδοσίας του Σταθμού Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» και η θέση του στον Υποσταθμό Λινοπεραμάτων (γ) Κάτοψη

4. Αισθητήρες

Για τη μέτρηση του ρεύματος διαρροής χρησιμοποιούνται αισθητήρες Hall, ενώ για να οδηγηθεί το ρεύμα μέσω αυτών στη γη χρησιμοποιούνται ενδιάμεσοι (stand-off) μονωτήρες. Επίσης έχουν τοποθετηθεί και κατάλληλες εκρηκτικές ασφάλειες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Οι αισθητήρες Hall επιλέχθηκαν διότι διαθέτουν αξιοσημείωτα χαμηλή αντίσταση εισόδου, μεγάλο εύρος ζώνης (έως 20kHz) και γαλβανική απομόνωση του ηλεκτρικού συστήματος μέτρησης από την πλευρά της υψηλής τάσης.

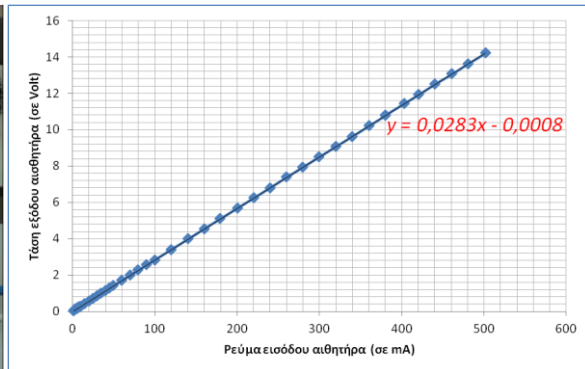


Σχήμα 4: Η συνδεσμολογία αισθητήρων για μονωτήρες στήριξης και ανάρτησης και ανάλογες φωτογραφίες από «ΤΑΛΩΣ» (Πυλαρινός 2012)

Η γραμμικότητα των αισθητήρων ελέγχθηκε στο εργαστήριο, με τη διάταξη να απεικονίζεται στο Σχήμα 5, ενώ η χαρακτηριστική που προέκυψε δίνεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 5: Φωτογραφία της διάταξης βαθμονόμησης του αισθητήρα Hall



Σχήμα 6: Χαρακτηριστική αισθητήρα Hall (όπως υπολογίστηκε από τη βαθμονόμηση)

Η δοκιμή έγινε για ρεύμα μέτρησης (εισόδου) από 1.2 mA έως 501.9 mA και αντίστοιχη τάση εξόδου από 0.03 V έως 14.204 V. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6, ο αισθητήρας Hall είναι γραμμικός στην εξεταζόμενη περιοχή και η σχέση εξόδου (Τάσης) – εισόδου (Ρεύματος) είναι:

$$V \text{ (Volt)} = 0.0283 I \text{ (mA)} - 0.0008 \quad (1)$$

4.1 Αρχικό καταγραφικό σύστημα (OLCA)

Το πρώτο καταγραφικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ειδικά σχεδιασμένο Online Leakage Current Analyzer (OLCA) της CTRlab (Installation Guide 2001). Πρόκειται για μια από τις πλέον διαδεδομένες συσκευές παρακολούθησης ρεύματος διαρροής στο πεδίο, και έχει αναφερθεί η χρήση της σε πληθώρα χωρών από διάφορους ερευνητές (Bologna et al. 1999, Vosloo et al. 2001, Natan et al. 2006, Vosloo et al. 2007, Kazemi et al. 2008, Chrzan et al. 2011). Ο ρυθμός δειγματοληψίας που χρησιμοποιούσε η OLCA ήταν 2 kHz, η ακρίβεια 12 bit και το εύρος μέτρησης καναλιών ρεύματος ± 500 mA ή ± 3 A. Για την αποθήκευση των μετρήσεων χρησιμοποιούνταν μνήμη flash 48 MB. Η OLCA ήταν μια συσκευή κυρίως προσανατολισμένη στην καταγραφή στατιστικών στοιχείων, όπως η τιμή κορυφής, η rms τιμή, το φορτίο κλπ. Για την καταγραφή των κυματομορφών εφάρμοζε τη λογική του χρονικού παραθύρου, αποθηκεύοντας μία κυματομορφή (διάρκειας 480 ms)

ανά κανάλι και χρονικό παράθυρο (συνήθως 24 ωρών), με την κυματομορφή που επιλεγόταν να είναι εκείνη με τη μεγαλύτερη τιμή κορυφής εντός του συγκεκριμένου παράθυρου (OLCA User's Guide). Για την επέκταση δε της έρευνας προς την κατεύθυνση των κυματομορφών, απαιτήθηκε η συγγραφή συμπληρωματικού αυτόνομου λογισμικού (Pylarinos 2011).

4.2 Προδιαγραφές νέου συστήματος

Το σύστημα OLCA παρουσίαζε αρκετές αδυναμίες, με σημαντικότερες το «πάγωμα» της συσκευής και την απώλεια των μετρήσεων μέχρι να γίνει επανεκκίνηση, την απώλεια του επιπέδου του μηδενός αλλά κυρίως την αποσπασματική μόνο καταγραφή κυματομορφών, η οποία επέτρεπε τον εντοπισμό προβλημάτων αλλά όχι και τον πλήρη καθορισμό της επίδρασης τους στα στατιστικά μεγέθη (Πυλαρινός, 2012). Επιπλέον, η λογική καταγραφής όσον αφορά τις κυματομορφές οδηγούσε στην καταγραφή σε μεγάλα ποσοστά κυματομορφών θορύβου (Pylarinos et al. 2012). Οι εν γένει περιορισμένες δυνατότητες, η προβληματική υποστήριξη από την κατασκευάστρια εταιρεία και ορισμένες πρόσφατες βλάβες, σε συνδυασμό με την πρόοδο που έχει επιτευχθεί πλέον σε προσιτά οικονομικά καταγραφικά συστήματα αλλά και την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης κυματομορφών, οδήγησαν στην απόφαση αγοράς νέου καταγραφικού συστήματος το φθινόπωρο του 2012. Δεδομένου ότι ο σταθμός δοκιμών βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης, ήταν σημαντικό για την νέα συσκευή να διαθέτει υψηλή προσαρμοστικότητα και χαμηλό κόστος. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια που τέθηκαν για την αγορά της ήταν τα εξής:

- Δυνατότητα καταγραφής όσο το δυνατόν περισσότερων μονωτήρων (καναλιών).
- Δυνατότητα συνεχούς καταγραφής κυματομορφών, αλλά και υποστήριξη λειτουργιών σκανδαλισμού, με δυνατότητα ορισμού από το χρήστη του πλήθους των σημείων πριν και μετά τον σκανδαλισμό.
- Μικρό αρχικό κόστος και δυνατότητα χρησιμοποίησης των ήδη διαθέσιμων αισθητήρων Hall για επιπλέον συμπίεση του κόστους.
- Απλή και εύκολα υλοποιήσιμη εγκατάσταση, επικοινωνία και καταγραφή χωρίς την ανάγκη μετατροπών, ενισχύσεων και συμπληρωματικού software / hardware.
- Δυνατότητα εγκατάστασης σε διάφορα σημεία του σταθμού και επικοινωνίας από ποικίλες και μεγάλες αποστάσεις με H/Y στεγασμένο στον ειδικό οικίσκο ελέγχου.
- Δυνατότητα εύκολης επέκτασης του δικτύου, συνεργασίας/συγχρονισμού με άλλες συσκευές κλπ.

4.3 Το νέο Data Acquisition System (DATAQ DI-722-32)

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια προτιμήθηκε η καταγραφική συσκευή DI-722-32 της DATAQ (DI-7xx series User's Manual 2012), η οποία διαθέτει:

- 32 διαφορεικά κανάλια εύρους ± 20 V, που επιτρέπουν τη χρήση των ήδη διαθέσιμων αισθητήρων Hall με τάση εξόδου ± 15 V.
- Δυνατότητα συνεχούς καταγραφής κυματομορφών, αλλά και λειτουργία σκανδαλισμού με δυνατότητα ορισμού σημείων πριν και μετά τον σκανδαλισμό.
- Συνολικό διαθέσιμο ρυθμό δειγματοληψίας 50 kHz, με δυνατότητα επιλογής του αριθμού των ενεργών καναλιών και του ρυθμού δειγματοληψίας τους.
- Πολύ χαμηλότερο κόστος από τον προκάτοχο της (της τάξεως του 1/10).
- Δυνατότητα εγκατάστασης και λειτουργίας σε τοπικό δίκτυο, σε συνεργασία και συγχρονισμό με άλλες συσκευές της ίδιας εταιρείας.

- Δυνατότητα επικοινωνίας με υπολογιστή μέσω καλωδίου Ethernet, που προσφέρει τη μεγαλύτερη ωφέλιμη απόσταση (100 m) σε σχέση με τα απλά πρωτόκολλα επικοινωνίας (π.χ. USB, RS232).
- Διαθέσιμο λογισμικό (για Windows) θέασης και καταγραφής κυματομορφών με αρκετές ιδιότητες, δυνατότητα επέκτασής του με χρήση πρόσθετων προγραμμάτων (addons) και δυνατότητα διασύνδεσης με ευρέως διαδεδομένα προγραμματιστικά περιβάλλοντα (Labview, Matlab, C++, Excel κλπ).

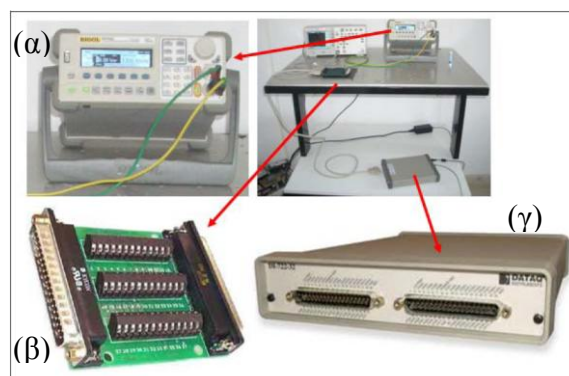
Στο Σχήμα 7 δίνεται άποψη του σταθμού δοκιμών (εικόνα από Google Earth), στην οποία σημειώνονται αρχικές πιθανές θέσεις τοποθέτησης της καταγραφικής συσκευής καθώς και η θέση του οικίσκου ελέγχου. Το Σχήμα δίνεται για να υπογραμμίσει τη σημασία της Ethernet σύνδεσης, η οποία θα επέτρεπε την διασύνδεση με τον οικίσκο από όλες τις πιθανές θέσεις εγκατάστασης σε αντίθεση με τα άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας.



Σχήμα 7. Άποψη του Σταθμού Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ». Πιθανά σημεία τοποθέτησης της καταγραφικής συσκευής κατά τη φάση σχεδιασμού (Α-Γ), η θέση που βρίσκεται ο οικίσκος ελέγχου (Β) και η θέση τοποθέτησης της συσκευής (Γ).

4.4 Έλεγχος και δοκιμές πριν την εγκατάσταση

Καθώς ο σταθμός δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» βρισκόταν σε φάση εξέλιξης, η συσκευή αρχικά μεταφέρθηκε στο χώρο του Φωτοβολταϊκού Πάρκου του ΤΕΙ Κρήτης. Εκεί ερευνήθηκαν οι δυνατότητές της κατά το δυνατόν πριν την τοποθέτηση, καθώς προβλέπεται η συνεχής λειτουργία της, αποκλειστικά για καταγραφή κυματομορφών, για διάστημα τουλάχιστον ενός έτους. Για τη δημιουργία των απαιτούμενων σημάτων εισόδου χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη παλμογεννήτρια. Η συνολική διάταξη απεικονίζεται στο Σχήμα 8.



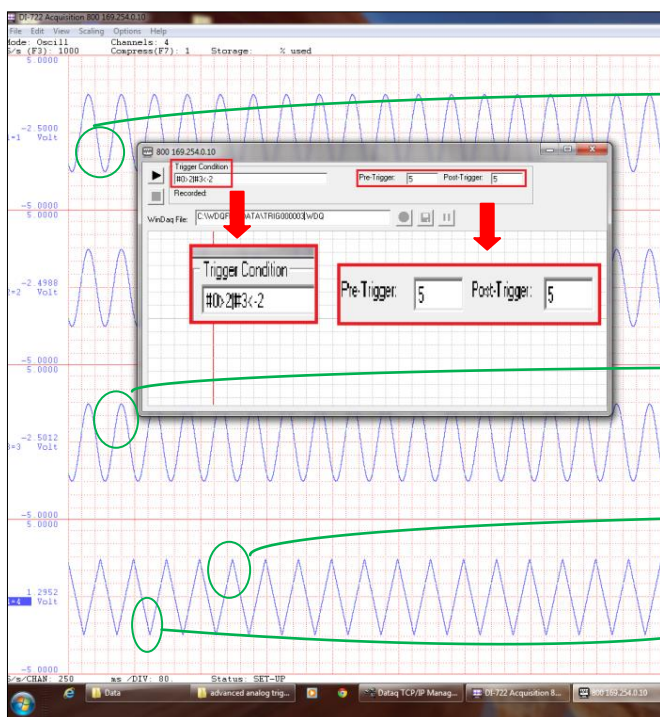
Σχήμα 8: (α) Η παλμογεννήτρια (β) Pass-through connector για σύνδεση σημάτων (γ) Η συσκευή

4.5 Λογισμικό

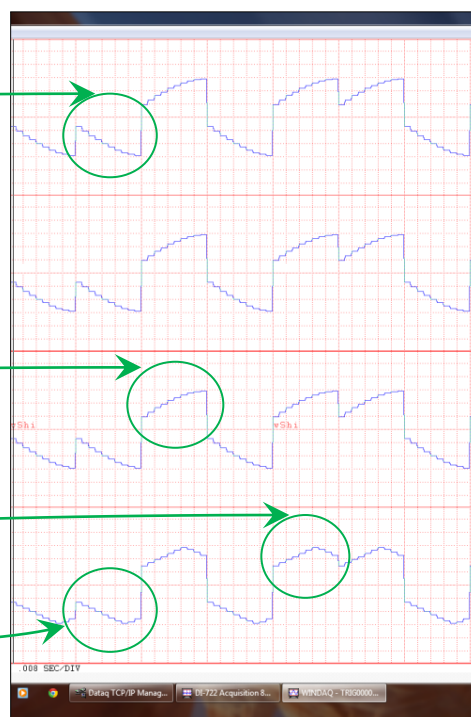
Το λογισμικό που συνοδεύει τη συσκευή περιέχει δύο βασικά προγράμματα (WinDag Software Manual 2012):

- Το **WinDag Acquisition** (Waveform Recording Software), που δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των παραμέτρων που αφορούν στη συλλογή δεδομένων (αριθμός ενεργών καναλιών, ρυθμός δειγματοληψίας, εγγραφή κυματομορφών σε αρχείο κλπ), καθώς και τη δυνατότητα αλλαγής γραφικών ρυθμίσεων που σχετίζονται με την θέαση των δεδομένων κατά τη συλλογή τους.
- Το **WinDag Waveform Browser** (Playback and Analysis Software), που δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας των αποθηκευμένων δεδομένων στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας, την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και την αποθήκευση των δεδομένων σε διάφορους τύπους αρχείων (xls, csv, txt κλπ).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συνολικός διαθέσιμος ρυθμός δειγματοληψίας της συσκευής είναι 50 kHz και υπερεπαρκεί για τη συνεχή καταγραφή κυματομορφών σε 16 διαφορεικά κανάλια με ρυθμό αντίστοιχο της προηγούμενης συσκευής. Τα αρχεία καταγραφής έχουν περιορισμό μεγίστου μεγέθους (4GB), που αντιστοιχεί σε 18 ώρες συνεχούς καταγραφής για 16 διαφορεικά κανάλια με ρυθμό καταγραφής 2 kHz. Για να αποφευχθεί η απώλεια δεδομένων, το λογισμικό επιτρέπει την κυκλική καταγραφή μεταξύ δύο αρχείων. Για την αυτοματοποίηση της αντιγραφής του πρώτου αρχείου, όταν χρησιμοποιείται το δεύτερο, επιλέχθηκε η λύση της συγγραφής κατάλληλου κώδικα (script) που θα εκτελεί προγραμματισμένη αντιγραφή του αρχείου σε επιλεγμένη θέση.



Σχήμα 9α: Το λογισμικό WinDag Acquisition με τα αρχικά σήματα και το λογισμικό Advanced Analog Triggered Recorder με τη συνθήκη σκανδαλισμού



Σχήμα 9β: Το αρχείο που προέκυψε από τη σκανδαλισμένη εγγραφή των σημάτων του σχήματος 9α

Παράγωγο της διεξοδικής μελέτης των δυνατοτήτων της συσκευής αποτέλεσε η σύνταξη ενός εγχειριδίου χρήσης της συσκευής DI-722-32 και του λογισμικού WinDag, για τη διευκόλυνση των μελλοντικών χρηστών στη λειτουργία του νέου μετρητικού συστήματος

(Κληρονόμου 2014). Ως ενδεικτικό παράδειγμα παρατίθεται μια δοκιμή σκανδαλισμένης μέτρησης σε 4 ενεργά κανάλια με σύνθετη συνθήκη (Σχήμα 9α & 9β), που επετεύχθη συνδυάζοντας το WinDaq Acquisition με το πρόσθετο λογισμικό Advanced Analog Triggered Recorder. Στα 3 πρώτα κανάλια δίνεται ως είσοδος το ίδιο ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 50 Hz και πλάτους $5 V_{p-p}$, ενώ στο τέταρτο κανάλι η είσοδος είναι τριγωνικός παλμός ίδιας συχνότητας και πλάτους. Όταν ικανοποιείται η δοθείσα συνθήκη σκανδαλισμού $\#0>2\#3<-2$ (δηλαδή εγγραφή όταν το 1^ο κανάλι υπερβεί τα 2 V ή όταν το 4^ο κανάλι είναι κατώτερο από -2 V), το λογισμικό καταγράφει για καθορισμένο από το χρήστη αριθμό σημείων τα δεδομένα από όλα τα ενεργά κανάλια.

5. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Το καταγραφικό DI-722-32 της DATAQ προσφέρει μια οικονομικά προσιτή λύση με αρκετές δυνατότητες επέκτασης. Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Συνεργασία-POLYDIAGNO 2011 αναμένεται η αγορά και η εγκατάσταση νέου καταγραφικού συστήματος στον Σταθμό Δοκιμών ΤΑΛΩΣ, για την καταγραφή και παρακολούθηση διαφόρων μεγεθών που θα εξάγονται από την πρωτογενή μέτρηση (δηλαδή τις κυματομορφές) με χρήση διαφόρων τεχνικών επεξεργασίας σήματος. Ως εκ τούτου το DI-722-32 θα δώσει τη δυνατότητα οι δύο λογικές καταγραφές να παραμείνουν ανεξάρτητες, γεγονός αρκετά σημαντικό για την αξιόπιστη λειτουργία και των δύο. Η συνεχής καταγραφή του ρεύματος διαρροής σε 16 διαφορετικούς μονωτήρες για τουλάχιστον ένα έτος θα οδηγήσει στη συσσώρευση ενός σημαντικού όγκου δεδομένων που αναμένεται να βοηθήσει σημαντικά στην εμβάθυνση της έρευνας.

6. Βιβλιογραφία

- Δ. Πυλαρινός, “Διερεύνηση συμπεριφοράς μονωτήρων υψηλής τάσης μέσω μετρήσεων του ρεύματος διαρροής”, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, 2012, Πάτρα
- Μ. Κληρονόμου, “Οδηγός Χρήσης Συσκευής Συλλογής Δεδομένων DI-722-32 και του λογισμικού WinDaq”, 2014
- F. F. Bologna, A. C. Britten, G. Watridge, D. J. Stevens, G. Grigorakis, “Leakage currents on lightly polluted 275 kV glass disc insulator strings in conditions of light wetting”, IEEE Africon Conference, Vol. 2, pp. 739 – 742, 1999, South Africa
- K. L. Chrzan, W. L. Vosloo, J. P. Holtzhausen, “Leakage Current on Porcelain and Silicone Insulators Under Sea or Light Industrial Pollution”, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 26, No. 3, pp. 2051-2052, 2011
- CIGRE WG 33-04, TF 01, “Polluted insulators: a review of current knowledge”, Cigre publications, June 2000
- CIGRE WG B2.03, “Guide for the establishment of naturally polluted insulator testing stations”, Cigre publications, October 2007
- DI-720 Series, DI-722 Series, DI-730 Series, DI-725/E, DI-78B, DI-75B User’s Manual, Manual Revision AN, DATAQ Instruments, 2012 (<http://www.dataq.com/products/hardware/di722.htm>)
- M.A.R.M. Fernando, S.M. Gubanski, “Leakage Currents on Non-ceramic Insulators and Materials”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6 No. 5, 1999
- “Greek Utility Readies to Energize New Insulator Test Station”, INMR, Issue 82, Volume 16, Number 4, pp. 32-37, 2008
- IEC/TS 60815, “Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions”, IEC, 2008
- A. Kazemi, M.T. Hassanzadeh, A.Gholami, “Artificial Neural Network for Insulator Leakage Currents Prediction from Environmental Data”, 2nd IEEE International Conference on Power and Energy, pp. 13-17, 2008, Malaysia

- E. Natan, R. Munteanu, R. Rabinovici, “*Prediction of Insulator Flashover Based on Leakage Current and Humidity Measurements*”, IEEE 24th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, pp. 260-264, 2006
- OLCA installation guide, CTLab, September, 1999; reviewed 2001, South Africa (<http://www.ctlab.com/downloads/OLCAv3%20Installation%20Guide.pdf>)
- OLCA Data Manager User's Guide, CTLab
- D. Pylarinos, “*A custom-made MATLAB based software to manage leakage current waveforms*”, Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 1, No. 2, pp. 36-42, 2011
- D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Pyrgioti “*Measuring and analyzing leakage current for outdoor insulators and specimens*”, Reviews on Adv. Mater. Sci., Vol. 29, No. 1, pp. 31-53, 2011
- D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Thalassinakis, I. Vitellas, E. Pyrgioti, “*Recording and managing field leakage current waveforms in Crete. Installation, measurement, software development and signal processing*”, ISAP 16th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, Hersonissos, September 25-28, 2011, Crete, Greece
- D. Pylarinos, K. Theofilatos, K. Siderakis, E. Thalassinakis, I. Vitellas, A. T. Alexandridis, E. Pyrgioti, “*Investigation and classification of field leakage current waveforms*”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 19, No. 6, pp. 2111-2118, 2012
- D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Thalassinakis, E. Pyrgioti, I. Vitellas, S. L. David, “*Online applicable techniques to evaluate field leakage current waveforms*”, Electric Power Systems Research, Vol. 84, No. 1, pp. 65-71, 2012
- K. Siderakis, J. Stefanakis, E. Thalassinakis, D. Agoris, E. Dialynas, “*Coastal contamination of the high voltage insulators in the Cretan power system*”, 2nd Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, IEE Conference Med Power 2000, November 13-15 2000, Herzlia, Israel
- K. Siderakis, D. Agoris, E. Thalassinakis, J. Stefanakis, “*Evaluation of the pollution performance of SIR materials in the Cretan transmission system in correlation to the pollution model of Crete*”, 3rd Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, MED POWER 2002, November 4-6 2002, Athens, Greece
- K. Siderakis, D. Agoris, J. Stefanakis, E. Thalassinakis, “*Influence of the profile on the performance of porcelain insulators installed in coastal high voltage networks in the case of condensation wetting*”, Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings, Vol. 153, No. 4, pp. 158-163, 2006
- K. Siderakis, D. Agoris, “*Performance of RTV silicone rubber coatings installed in coastal systems*”, Electric Power Systems Research, Issue 78, pp. 248-254, 2008
- J. Stefanakis, E. Thalassinakis, K. Siderakis, D. Agoris, E. Dialynas, “*Fighting pollution in the Cretan transmission system. 25 years experience*”, Contamination Issues on High Voltage Installations, 2001, Iraklion, Greece
- K. Theofilatos, D. Pylarinos, S. Likothanassis, D. Melidis, K. Siderakis, E. Thalassinakis, S. Mavroudi, “*A Hybrid Support Vector Fuzzy Inference System for the Classification of Leakage Current Waveforms Portraying Discharges*”, Electric Power Components & Systems, Vol. 42, No. 2, pp. 180-189, 2014
- W. L. Vosloo, I. Gutman, R. Hartings, “*Long-term service testing of insulators at a test tower in South Africa*”, CIGRE Regional Conference, 2001, Somerset West
- W. L. Vosloo, F. Engelbrecht, N. Heger, J. P. Holtzhausen, “*Implementation of 220 kV In-Service Insulator Performance Test Tower in Namibia*”, 2007 Africon Conference, pp. 1-6, 2007
- WinDaq Acquisition Waveform Recording Software, WinDaq Waveform Browser Playback and Analysis Software, ActiveX Controls and XControls Software Modules User's Manual, Manual Revision K, DATAQ Instruments, 2012 (<http://www.dataq.com/products/hardware/di722.htm>)

Σταθμός Δοκιμών Υψηλής Τάσης “ΤΑΛΩΣ” ΔΕΔΔΗΕ ΔΔΝ
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Σ.Η.Μ.Μ.Υ. ΕΜΠ
Φωτοβολταϊκό Πάρκο ΤΕΙ Ηρακλείου

ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ DI-722-32 ΚΑΙ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ WINDAQ

*Κληρονόμου Μαρία - Άννα
Φοιτήτρια Σ.Η.Μ.Μ.Υ. ΕΜΠ*

**Δεκέμβριος 2013 –
Ιανουάριος 2014**

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	2
2. Εγκατάσταση λογισμικού	3
3. Ενεργοποίηση συσκευής	5
4. Εισαγωγή σήματος στη συσκευή	7
5. Το λογισμικό WinDaq	9
5.1. Το πρόγραμμα WinDaq Acquisition (Waveform Recording Software)	9
5.1.1. Ενεργοποίηση καναλιών για συλλογή δεδομένων	10
5.1.2. Προβολή ενεργοποιημένων καναλιών	10
5.1.3. Καθορισμός ρυθμού δειγματοληψίας	11
5.1.4. Αλλαγές στις ρυθμίσεις των καναλιών	11
5.1.4.i. Προσδιορισμός ενίσχυσης	11
5.1.4.ii. Διαφορές Burst rate και Sample rate	12
5.1.4.iii. Επιλογή μεθόδου συλλογής δεδομένων	12
5.1.5. Βαθμονόμηση σημάτων εισόδου	13
5.1.6. Εγγραφή κυματομορφών στο δίσκο	14
5.1.7. Πρόσθετες λειτουργίες	16
5.1.8. Πρόσθετα προγράμματα	19
5.2. Το πρόγραμμα WinDaq Waveform Browser (Playback and Analysis Software)	23
5.2.1. Περιήγηση στο αρχείο δεδομένων	24
5.2.2. Προβολή και ρυθμίσεις καναλιών	24
5.2.3. Προβολή ώρας και ημερομηνίας	24
5.2.4. Πραγματοποιώντας μετρήσεις με τον κέρσορα	25
5.2.5. Παρακολούθηση ενός τμήματος ή του συνόλου των δεδομένων στο αρχείο	26
5.2.6. Πραγματοποιώντας στατιστικές μετρήσεις	27
5.2.7. Εξαγωγή δεδομένων στο Excel	28
5.2.8. Πρόσθετες λειτουργίες	30
6. Τα λογισμικά ActiveX Controls και XControls Software	31
7. Βιβλιογραφία	31

1. Εισαγωγή

Η συσκευή DI-722-32 είναι μία συσκευή συλλογής δεδομένων γενικού σκοπού και αποτελεί προϊόν της DATAQ Instruments (<http://www.dataq.com/>). Υπόκειται στη λογική pc-based instrumentation (ελέγχεται δηλαδή πλήρως μέσω υπολογιστή) και συνοδεύεται από το λογισμικό Windaq Software. Διαθέτει 32 διαφορετικά αναλογικά κανάλια εισόδου εύρους $\pm 20\text{ V}$ και έχει μέγιστο συνολικό ρυθμό δειγματοληψίας 50.000 δείγματα/δευτερόλεπτο. Οι βασικές προδιαγραφές της συσκευής φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Αναλυτικότερες πληροφορίες σχετικά με τις προδιαγραφές της DI-722 αλλά και των υπόλοιπων συσκευών της εταιρείας υπάρχουν στο [1].

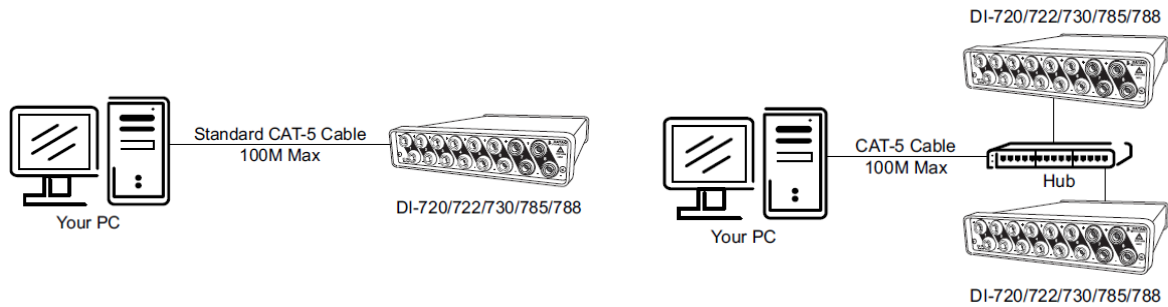
Βασικές προδιαγραφές συσκευής συλλογής δεδομένων DI-722-32	
Συμβατή αρχιτεκτονική υπολογιστών:	Οποιαδήποτε αρχιτεκτονική PC
Αριθμός αναλογικών καναλιών εισόδου:	32 διαφορετικά
Ανάλυση μετατροπής:	16-bit/ 14-bit όταν χρησιμοποιείται μαζί με το λογισμικό Windaq
Λόγος απόρριψης κοινής λειτουργίας:	80 dB ελάχιστο @ $A_v=1$
Ακρίβεια:	$V_{in} \leq 800\text{V} \pm (0.25\% \text{ του πλήρους εύρους} \pm 100\mu\text{V})$ $V_{in} > 800\text{V} \pm (0.5\% \text{ του πλήρους εύρους})$
Crosstalk:	-75dB @ 50 kHz σε 100Ω ασύμμετρο
Ρυθμός δειγματοληψίας (συνολικά για όλα τα ενεργά κανάλια):	Μέγιστο 50.000 δείγματα/δευτερόλεπτο
Μέγιστο αναλογικό εύρος μέτρησης:	$\pm 20\text{V}$ πλήρες εύρος για ενίσχυση ίση με 1 $\pm 10\text{V}$ πλήρες εύρος για ενίσχυση ίση με 2 $\pm 5\text{V}$ πλήρες εύρος για ενίσχυση ίση με 4 $\pm 2,5\text{V}$ πλήρες εύρος για ενίσχυση ίση με 8
Μέγιστη είσοδος άνευ βλάβης (είσοδος προς γη):	120V RMS
Σφάλμα ενίσχυσης:	Μέγιστο 1 bit @ 1 kHz ρυθμό δειγματοληψίας
Input offset voltage:	Μέγιστο 1 bit @ 1 kHz ρυθμό δειγματοληψίας
Input settling time:	4μs έως 0,01% σε όλα τα επίπεδα ενίσχυσης
Αντίσταση εισόδου:	1 MΩ
Μέγιστη καθυστέρηση μεταξύ συγχρονισμένων μονάδων:	5 microseconds
Αριθμός αναλογικών καναλιών εξόδου:	Κανένα
Αριθμός μετρητών εισόδου:	240
Ανάλυση:	1 μέρος στα 32.768
Ακρίβεια ρολογιού βάσης:	0,005% ή 50 ppm
Συχνότητα μετρητή εισόδου:	16 MHz
Λίστα σάρωσης εισόδου:	Χωρητικότητα για Ethernet - 240 στοιχεία
Μήκος πριν και μετά τον σκανδαλισμό:	Για προϊόντα Ethernet: (Σημεία πριν + Σημεία μετά) x τον αριθμό των ενεργοποιημένων καναλιών \rightarrow πρέπει να είναι ≤ 64.000
Κανάλι σκανδαλισμού:	Οποιοδήποτε
Υστέρηση στάθμης σκανδαλισμού;	8-bit (256 μετρήματα)
Τύπος on-board DSP:	Αναλογικές συσκευές ADSP2181, 32 MIPS
Συχνότητα ρολογιού:	16 MHz εξωτερικά, 64 MHz εσωτερικά
Μνήμη δεδομένων:	Λέξεις 16k
Μνήμη προγράμματος:	Λέξεις 16k
Διαστάσεις κουτιού:	18,5166 εκ. πλάτος x 22,86 εκ. μήκος x 3,8608 εκ. ύψος
I/O connector:	37-pin male D-type
Βάρος:	Περίπου 1.35 κιλά
<u>Περιβάλλον λειτουργίας:</u>	
Component temperature	0° έως 70° C
Σχετική υγρασία	0% έως 90% χωρίς συμπύκνωση
<u>Περιβάλλον αποθήκευσης:</u>	
Θερμοκρασία	-40° έως 100° C
Σχετική υγρασία	0% έως 90% χωρίς συμπύκνωση
Τάση τροφοδοσίας:	Συνεχής 9-36 V
Ισχύς:	10 Watts

2. Εγκατάσταση λογισμικού

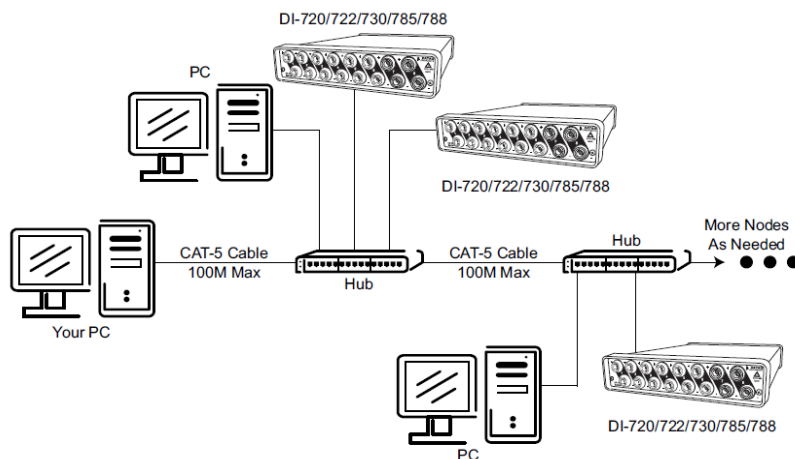
Για την πρώτη λειτουργία της συσκευής απαιτείται να έχει προηγηθεί η εγκατάσταση του λογισμικού σε Windows XP, Vista ή 7. Υπάρχουν τρία πακέτα: το Windaq/Lite, το Windaq/Pro και το Windaq/Pro+, τα οποία επιτρέπουν αντιστοίχως μικρή, μέτρια και μέγιστη πρόσβαση στις δυνατότητες του λογισμικού. Το πακέτο που έχει αγοραστεί είναι το Windaq/Pro και ο κωδικός εγκατάστασης είναι **83454563**, ο οποίος αναγράφεται και πάνω στο CD εγκατάστασης λογισμικού που έχει αποσταλεί από την εταιρεία.

Τα βήματα της εγκατάστασης εξαρτώνται από τον τρόπο σύνδεσης της συσκευής με τον υπολογιστή (Printer port/USB/Ethernet). Εάν πρόκειται για συσκευή Ethernet, υπάρχουν τρεις διαφορετικές δυνατότητες εγκατάστασης, για να επιλέξει ο χρήστης την καταλληλότερη για την εφαρμογή του:

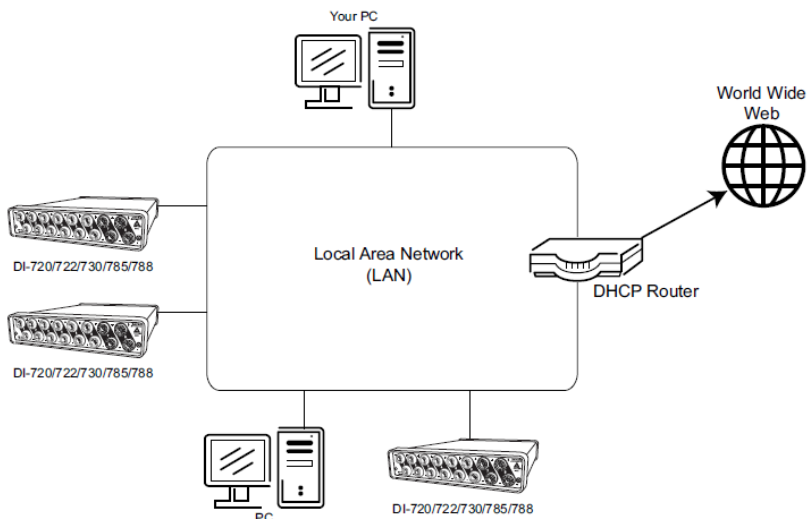
- Εγκατάσταση της συσκευής μέσω απευθείας σύνδεσης με τον υπολογιστή ή μέσω διακλαδωτή όπου είναι εγκατεστημένα MONO προϊόντα DI-72x, DI-730 ή DI-78x.



- Εγκατάσταση της συσκευής μέσω διανεμημένου δικτύου χωρίς DHCP διακομιστή όπου μία ή περισσότερες συσκευές της DATAQ Instruments θα συνυπάρχουν με άλλες συσκευές Ethernet και οι στατικές διευθύνσεις IP θα εκχωρούνται ατομικά.



- Εγκατάσταση της συσκευής μέσω διανεμημένου δικτύου με DHCP διακομιστή.



Εν προκειμένω χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος τρόπος εγκατάστασης και εκτελέστηκαν τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Εισαγωγή του CD εγκατάστασης λογισμικού “*The DATAQ Instruments Software*” στη μονάδα CD-ROM του υπολογιστή. Η αυτόματη εκτέλεση των Windows εκκινεί το πρόγραμμα εγκατάστασης. Σε περίπτωση που η αυτόματη εκτέλεση είναι απενεργοποιημένη, θα πρέπει να ανοιχθεί από τα περιεχόμενα στο CD αρχεία το πρόγραμμα “*setup.exe*” από το χρήστη.
- 2) Στο παράθυρο διαλόγου “*What do you want to do?*”, επιλογή του “**Install Software**” και στη συνέχεια “**OK**”.
- 3) Στο παράθυρο διαλόγου “*Installing Software*”, επιλογή του “**Install Software for all other products**” και στη συνέχεια “**OK**”.
- 4) Στο παράθυρο διαλόγου “*Specify the product*”, πρέπει να επιλεγθεί η επιθυμητή προς εγκατάσταση έκδοση WinDaq και στη συνέχεια “**OK**”.
- 5) Στο παράθυρο διαλόγου “*Specify the Instrument*”, επιλογή του “**DI-720/740/730 HV Portable Instruments**” και στη συνέχεια “**OK**”.
- 6) Στο παράθυρο διαλόγου “*Specify the Instrument*”, επιλογή του “**Ethernet**” και στη συνέχεια “**OK**”.
- 7) Στο παράθυρο διαλόγου “*Select a device*”, επιλογή του αριθμού μοντέλου της συσκευής και στη συνέχεια “**OK**”. Ο αριθμός μοντέλου αναγράφεται στο αυτοκόλλητο που βρίσκεται στη βάση της συσκευής και για τη συγκεκριμένη συσκευή είναι **DI-722-32-EN**.
- 8) Στο παράθυρο διαλόγου “*Welcome!*” ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ακυρώσει την εγκατάσταση. Επιλογή “**OK**” για συνέχιση της εγκατάστασης ή “**Cancel**” για ακύρωση.
- 9) Ανάγνωση του Συμφωνητικού Άδειας Λογισμικού και επιλογή “**Accept and Continue**” ή “**Cancel**” για συνέχιση ή έξοδο από την εγκατάσταση αντίστοιχα.
- 10) Εισαγωγή των πληροφοριών εγγραφής του χρήστη στα κατάλληλα πλαίσια κειμένου και επιλογή “**OK**”.
- 11) Η επιλογή του φακέλου προορισμού στο σκληρό δίσκο, στον οποίο ο χρήστης επιθυμεί να αποθηκευτούν όλοι οι φάκελοι και τα αρχεία του προγράμματος, επιτυγχάνεται με απλή αντικατάσταση του επιθυμητού δίσκου και φακέλου στο πλαίσιο κειμένου “*Destination Directory*”. (Συνιστάται να γίνει αποδεκτό το προεπιλεγμένο μονοπάτι, αλλά ο χρήστης μπορεί να ονομάσει το νέο φάκελο προορισμού όπως επιθυμεί). Επιλογή “**OK**” για συνέχεια.
- 12) Το παράθυρο διαλόγου “*Make Backups?*” δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει αντίγραφα ασφαλείας για οποιοδήποτε αρχείο ενδέχεται να εκτοπιστεί κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης (*αυτό γίνεται μόνο για εξασφάλιση των αρχείων, γι’ αυτό και είναι προαιρετικό*). Επιλογή “**No**” για άρνηση και “**Yes**” για αποδοχή δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας. Κατά την επιλογή “**Yes**” θα ζητηθεί από το χρήστη να προσδιορίσει ένα φάκελο προορισμού για τα αντίγραφα ασφαλείας.
- 13) Επιλογή της ομάδας προγραμμάτων στην οποία θα δημιουργηθούν οι συντομεύσεις του λογισμικού για τα Windows. Συνιστάται η προεπιλεγμένη ομάδα, αλλά επιτρέπεται στο χρήστη να προσδιορίσει οποιαδήποτε ομάδα επιθυμεί ή και να δημιουργήσει μία καινούρια. Επιλογή “**OK**” για συνέχεια.
- 14) Για τη συνέχιση της εγκατάστασης, θα χρειαστεί είτε η διεύθυνση MAC είτε η διεύθυνση IP της συσκευής. Η διεύθυνση MAC αναγράφεται στο αυτοκόλλητο που βρίσκεται στη βάση της συσκευής και για τη συγκεκριμένη συσκευή είναι **0090C2E7BAD4**. Οι διευθύνσεις IP προκύπτουν από το διαχειριστή του συστήματος. Στο παράθυρο διαλόγου “*MAC or IP address for the device*” εισαγωγή είτε της διεύθυνσης MAC είτε της διεύθυνσης IP στο αντίστοιχο πλαίσιο κειμένου και στη συνέχεια “**OK**”. Σε περίπτωση εγκατάστασης συσκευής μη συνδεδεμένης στο Τοπικό Δίκτυο, συνιστάται η εισαγωγή της διεύθυνσης IP. Θα πρέπει να εισαχθεί κάποια IP της μορφής **169.254.0.x** και διαφορετική της **169.254.0.1** (περισσότερες πληροφορίες στο κεφάλαιο: 3. Ενεργοποίηση συσκευής). Το ίδιο το λογισμικό θα απευθυνθεί σε αυτήν την IP για να ανακτήσει τη διεύθυνση MAC, κάτι που θα γλιτώσει το χρήστη από περαιτέρω ρυθμίσεις κατά το άνοιγμα του *TCP/IP Manager*. Προσοχή: σε περίπτωση που εισαχθεί λανθασμένη διεύθυνση MAC θα πρέπει να επαναληφθεί από την αρχή η διαδικασία εγκατάστασης του λογισμικού με χρήση της σωστής διεύθυνσης MAC για να επιτραπεί η πρόσβαση στη συσκευή.
- 15) Στο παράθυρο διαλόγου “*More Ethernet devices to install*”, επιλογή “**Yes**” σε περίπτωση εγκατάστασης περισσότερων από μία συσκευών.
- 16) Επανάληψη των βημάτων 14 και 15 έως ότου εισαχθούν οι διευθύνσεις MAC όλων των συσκευών Ethernet. Επιλογή “**No**” για συνέχεια.
- 17) Το παράθυρο διαλόγου “*Installation Option*” δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιτρέψει ή να απαγορεύσει την πρόσβαση στο λογισμικό WinDaq σε όλους τους υπόλοιπους λογαριασμούς χρηστών του ίδιου υπολογιστή. Επιλογή “**Yes**” εάν υπάρχει μόνο ένας χρήστης ή για να επιτραπεί η πρόσβαση σε όλους τους χρήστες του υπολογιστή. Επιλογή “**No**” εάν ο υπολογιστής διαθέτει πολλαπλούς λογαριασμούς και ο χρήστης επιθυμεί να έχει αποκλειστική πρόσβαση στο λογισμικό.

Επιλογή **“Cancel”** για ακύρωση της εγκατάστασης.

18) Επιλογή των επιθυμητών ρυθμίσεων για εγκατάσταση των Windaq/XL Advanced CODAS (προαιρετικό).

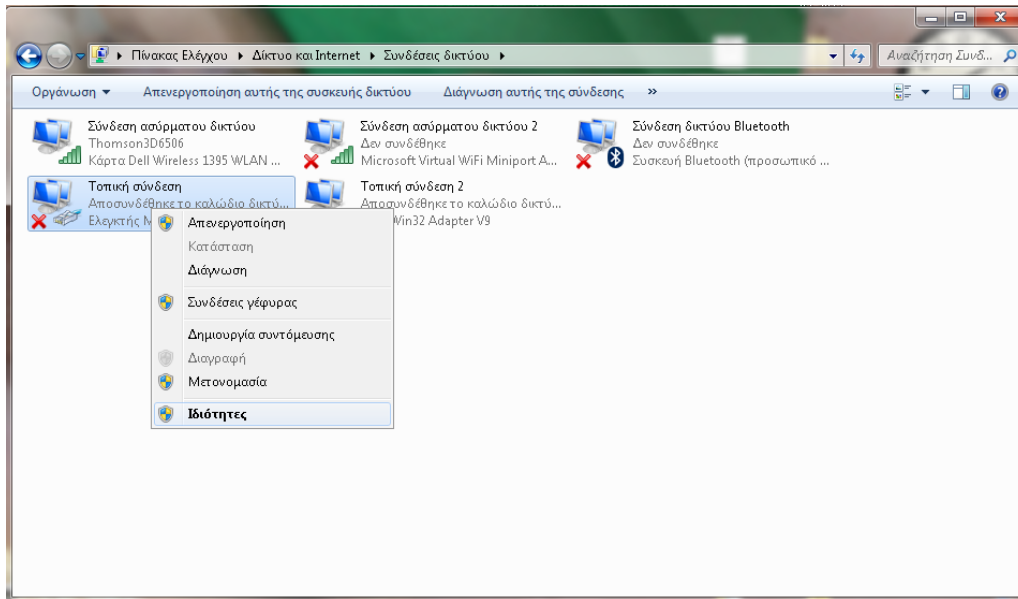
19) Η εγκατάσταση έχει ολοκληρωθεί.

Αναλυτικές πληροφορίες για τη διαδικασία εγκατάστασης και των τριών τρόπων περιλαμβάνονται στο [1].

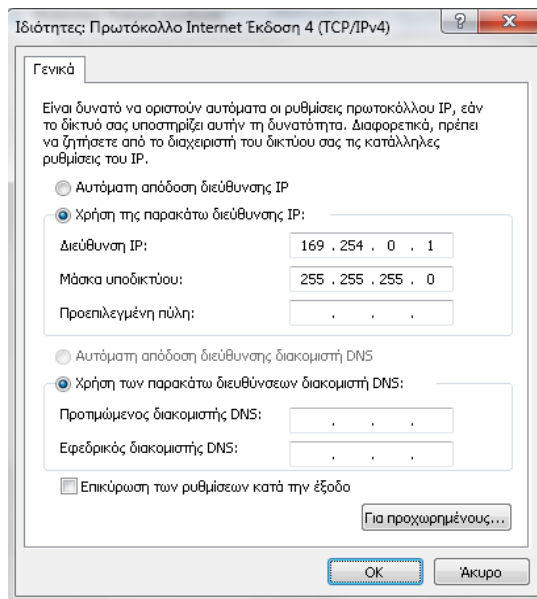
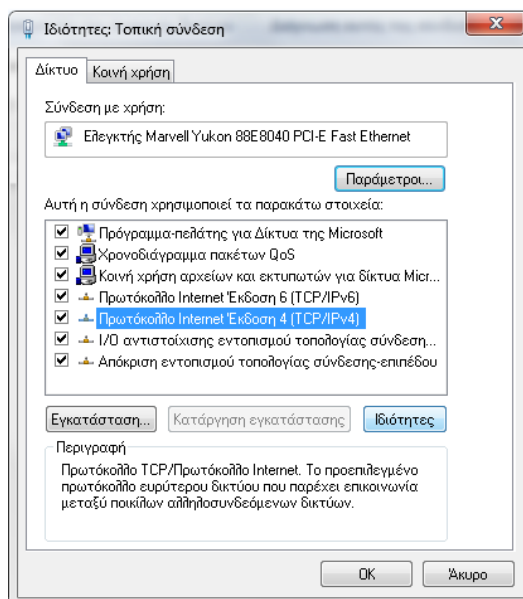
3. Ενεργοποίηση συσκευής

Για την ασφαλή και σωστή ενεργοποίηση της συσκευής πρέπει να ακολουθούνται κάθε φορά τα παρακάτω βήματα:

1) Η Διεύθυνση IP και η Μάσκα υποδικτύου θα πρέπει να είναι **169.254.0.1** και **255.255.255.0** αντίστοιχα. Η ρύθμιση τους γίνεται από τις **“Συνδέσεις Δικτύου”** στον Πίνακα Ελέγχου του υπολογιστή, κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο **“Τοπική Σύνδεση”** και επιλέγοντας **“Ιδιότητες”**.



Επιλογή **“Πρωτόκολλο Internet Έκδοση 4 (TCP/IPv4)”** από τη λίστα των στοιχείων της σύνδεσης (**“Πρωτόκολλο Internet (TCP/IP)”** για Windows XP) και στη συνέχεια **“Ιδιότητες”**. Επιλογή **“Χρήση της παρακάτω διεύθυνσης IP”** και εισαγωγή των επιθυμητών αριθμών. Επιλογή **“OK”** για να αποθηκευτούν οι αλλαγές.

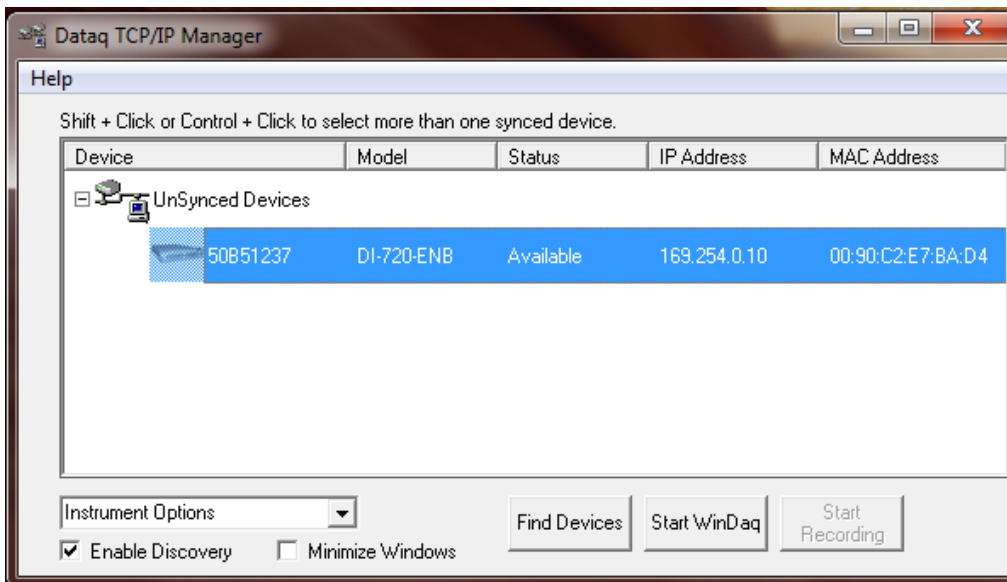


2) Άνοιγμα του προγράμματος **“TCP/IP Manager”** (βρίσκεται στην τοποθεσία Έναρξη → Προγράμματα → WINDAQ → IP Manager) και επιλογή **“OK”** στο παράθυρο που θα εμφανιστεί (**“Select Network Adapter”**). Το λογισμικό θα αρχίσει να ψάχνει τη συσκευή (ανοίγει το παράθυρο **“Searching for IP address...”**).

3) Σύνδεση της συσκευής με τον υπολογιστή. Αρχικά, πρέπει να τροφοδοτηθεί η συσκευή με ρεύμα και να τοποθετηθεί ο διακόπτης τροφοδοσίας που βρίσκεται στο οπίσθιο μέρος της συσκευής από τη θέση “0” στη θέση “1”. Στη συνέχεια, πρέπει να συνδεθεί η θύρα “**Toward PC**”, που βρίσκεται στο οπίσθιο μέρος της συσκευής, με την αντίστοιχη θύρα του υπολογιστή μέσω καλωδίου CAT-5 Ethernet.

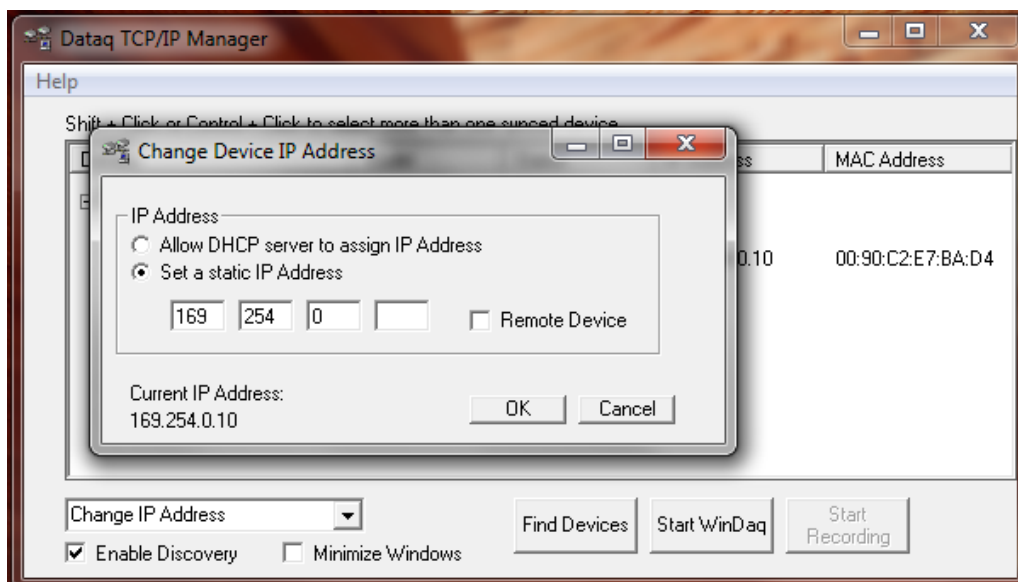
Προσοχή: η σωστή θύρα Ethernet της συσκευής για σύνδεση με τον υπολογιστή είναι **ΜΟΝΟ** αυτή που αναγράφει “**Toward PC**”. Η θύρα “**Expansion**” χρησιμοποιείται για σύνδεση μεταξύ συσκευών της Dataq. Σύνδεση αυτής, από λάθος, με τον υπολογιστή μπορεί να προκαλέσει σφάλμα στο λειτουργικό σύστημα.

4) Επιλογή “**OK**” στο παράθυρο “IP address found!”. Στο παράθυρο “**Dataq TCP/IP Manager**”, επιλογή του συμβόλου “**+**” μπροστά από το “**UnSynced Devices**” για να εμφανιστεί η συσκευή.



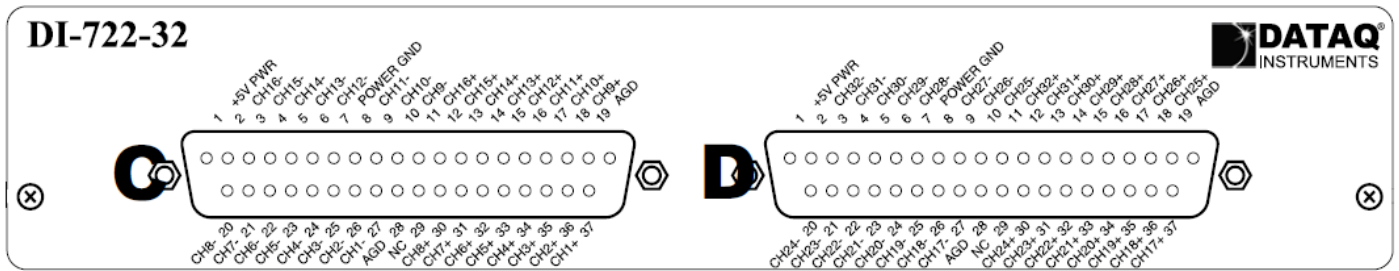
Επιλογή της συσκευής και στη συνέχεια του κουμπιού “**Start WinDaq**” για να ξεκινήσει το λογισμικό καταγραφής.

Σημείωση: σε περίπτωση που κατά την εγκατάσταση του λογισμικού, στο βήμα 14, χρησιμοποιήθηκε η διεύθυνση MAC (βλ. κεφάλαιο 2), κατά την πρώτη ενεργοποίηση της συσκευής θα παρουσιαστεί η ένδειξη “Wrong IP address” στο παράθυρο “**Dataq TCP/IP Manager**”. Αυτό συμβαίνει διότι ο χρήστης δεν έχει καθορίσει την IP που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη διεύθυνση MAC, και έτσι το λογισμικό ανακτά αυτόματα την IP του υπολογιστή **169.254.0.1**, όπως αυτή έχει οριστεί από τις “**Συνδέσεις Δικτύου**”. Θα πρέπει στο drop-down μενού “Instrument Options” να επιλεγεί “Change IP Address”, και στη συνέχεια επιλέγοντας “Set a static IP Address” να εισαχθεί μία διεύθυνση IP της μορφής **169.254.0.x** (αλλά διαφορετική της **169.254.0.1**). Επιλέγοντας “**OK**” η ρύθμιση αυτή θα αποθηκευτεί μόνιμα για την εν λόγω συσκευή (στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει αποδοθεί στη συσκευή η διεύθυνση IP: **169.254.0.10**).



4. Εισαγωγή σήματος στη συσκευή

Το εμπρόσθιο μέρος της συσκευής DI-722-32 έχει την εξής μορφή:

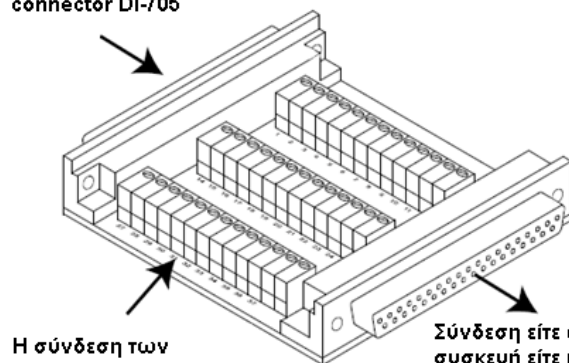


Διαθέτει δύο 37-pin male ακροδέκτες (με τα διακριτικά **C** και **D** στην παραπάνω εικόνα) οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν τα αναλογικά σήματα εισόδου με τα 32 διαφορεικά κανάλια της συσκευής. Η εισαγωγή σήματος στα διαφορεικά κανάλια επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το θετικό και τον αρνητικό ακροδέκτη του κάθε καναλιού. Για παράδειγμα, για το κανάλι 1 θα πρέπει να συνδεθεί ο θετικός ακροδέκτης του σήματος εισόδου με τον ακροδέκτη **37 → CH1+** του **C**, και ο αρνητικός ακροδέκτης με τον ακροδέκτη **27 → CH1-** του **C**. Η αρίθμηση που αντιστοιχεί σε κάθε κανάλι φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ακροδέκτης C (κανάλια 1 έως 16):		Ακροδέκτης D (κανάλια 17 έως 32):	
<u>Λειτουργίες των 37 ακροδεκτών</u>	<u>Αντιστοιχία με κανάλια</u>	<u>Λειτουργίες των 37 ακροδεκτών</u>	<u>Αντιστοιχία με κανάλια</u>
1 → +5V PWR	20 → CH8-	1 → +5V PWR	20 → CH24-
2 → CH16-	21 → CH7-	2 → CH32-	21 → CH23-
3 → CH15-	22 → CH6-	3 → CH31-	22 → CH22-
4 → CH14-	23 → CH5-	4 → CH30-	23 → CH21-
5 → CH13-	24 → CH4-	5 → CH29-	24 → CH20-
6 → CH12-	25 → CH3-	6 → CH28-	25 → CH19-
7 → POWER GND	26 → CH2-	7 → POWER GND	26 → CH18-
8 → CH11-	27 → CH1-	8 → CH27-	27 → CH17-
9 → CH10-	28 → AGD	9 → CH26-	28 → AGD
10 → CH9-	29 → NC	10 → CH25-	29 → NC
11 → CH16+	30 → CH8+	11 → CH32+	30 → CH24+
12 → CH15+	31 → CH7+	12 → CH31+	31 → CH23+
13 → CH14+	32 → CH6+	13 → CH30+	32 → CH22+
14 → CH13+	33 → CH5+	14 → CH29+	33 → CH21+
15 → CH12+	34 → CH4+	15 → CH28+	34 → CH20+
16 → CH11+	35 → CH3+	16 → CH27+	35 → CH19+
17 → CH10+	36 → CH2+	17 → CH26+	36 → CH18+
18 → CH9+	37 → CH1+	18 → CH25+	37 → CH17+
19 → AGD		19 → AGD	
	CH1 → 37 (+) & 27 (-)		CH17 → 37 (+) & 27 (-)
	CH2 → 36 (+) & 26 (-)		CH18 → 36 (+) & 26 (-)
	CH3 → 35 (+) & 25 (-)		CH19 → 35 (+) & 25 (-)
	CH4 → 34 (+) & 24 (-)		CH20 → 34 (+) & 24 (-)
	CH5 → 33 (+) & 23 (-)		CH21 → 33 (+) & 23 (-)
	CH6 → 32 (+) & 22 (-)		CH22 → 32 (+) & 22 (-)
	CH7 → 31 (+) & 21 (-)		CH23 → 31 (+) & 21 (-)
	CH8 → 30 (+) & 20 (-)		CH24 → 30 (+) & 20 (-)
	CH9 → 18 (+) & 10 (-)		CH25 → 18 (+) & 10 (-)
	CH10 → 17 (+) & 9 (-)		CH26 → 17 (+) & 9 (-)
	CH11 → 16 (+) & 8 (-)		CH27 → 16 (+) & 8 (-)
	CH12 → 15 (+) & 6 (-)		CH28 → 15 (+) & 6 (-)
	CH13 → 14 (+) & 5 (-)		CH29 → 14 (+) & 5 (-)
	CH14 → 13 (+) & 4 (-)		CH30 → 13 (+) & 4 (-)
	CH15 → 12 (+) & 3 (-)		CH31 → 12 (+) & 3 (-)
	CH16 → 11 (+) & 2 (-)		CH32 → 11 (+) & 2 (-)

Η σύνδεση των σημάτων γίνεται μέσω του “pass-through” connector **DI-705**, ο οποίος συνδέεται είτε απευθείας στη συσκευή είτε μέσω ειδικού καλωδίου.

Ο “pass-through” connector DI-705



Η σύνδεση των σημάτων γίνεται εδώ

Σύνδεση είτε απευθείας στη συσκευή είτε μέσω καλωδίου

ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ (να διαβαστούν πριν από την εισαγωγή σήματος στη συσκευή)

- Τα κανάλια της συσκευής συλλογής δεδομένων ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΑ. Αυτό σημαίνει ότι η συσκευή είναι ευάλωτη σε τάσεις κοινής λειτουργίας που ενδεχομένως να προκαλέσουν βλάβη, η οποία ΔΕΝ καλύπτεται από την εγγύηση του προϊόντος. Το συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να ανεχθεί μέγιστη τάση πλάτους $\pm 20V$ χωρίς να προκληθεί βλάβη. Παρότι ο χρήστης μπορεί να είναι βέβαιος ότι πρόκειται να συνδέσει σήμα εντός αυτού του ορίου, είναι πιθανό κάποια τάση κοινής λειτουργίας (TKL) να υπερτίθεται σε αυτό, ξεπερνώντας έτσι το όριο των $\pm 20V$ και καταστρέφοντας τη συσκευή. Πριν από οποιαδήποτε σύνδεση σήματος εισόδου λοιπόν, θα πρέπει να ελέγχεται η ύπαρξη TKL ως εξής:

- 1) Αποσύνδεση της πηγής σήματος από τη συσκευή συλλογής δεδομένων.
- 2) Σύνδεση της συσκευής με τον υπολογιστή.
- 3) Τροφοδότηση της πηγής σήματος και της συσκευής με ρεύμα.
- 4) Πραγματοποίηση των ακόλουθων μετρήσεων με τη χρήση ψηφιακού βολτομέτρου:
 - a) Μέτρηση της συνεχούς και της εναλλασσόμενης τάσης μεταξύ του ακροδέκτη γης (AGD) της συσκευής και του θετικού ακροδέκτη σήματος της πηγής. Αυτή η μέτρηση δεν θα πρέπει να ξεπερνά το πλήρες εύρος εισόδου της συσκευής συλλογής δεδομένων ($\pm 20V$).
 - b) Μέτρηση της συνεχούς και της εναλλασσόμενης τάσης μεταξύ του ακροδέκτη γης (AGD) της συσκευής και του αρνητικού ακροδέκτη σήματος της πηγής. Αυτή η μέτρηση θα πρέπει να είναι 0V ή πολύ κοντά σε αυτό.
 - c) Μέτρηση της συνεχούς και της εναλλασσόμενης τάσης μεταξύ του ακροδέκτη γης (AGD) της συσκευής και του ουδέτερου της πηγής. Αυτή η μέτρηση θα πρέπει να είναι 0V ή πολύ κοντά σε αυτό.
- 5) Σε περίπτωση που οποιαδήποτε από αυτές τις μετρήσεις ξεπερνά τις συστάσεις που της αναλογούν, δεν θα πρέπει να συνδεθεί σήμα εισόδου στη συσκευή, εάν πρώτα δεν εξαλειφθεί το αίτιο που υπερθέτει την TKL.

Οι πληροφορίες αυτές αναγράφονται αναλυτικά και στο ροζ φύλλο "**CAUTION**" που έχει αποσταλεί από την εταιρεία μαζί με τη συσκευή (εναλλακτικά υπάρχουν στο [1] στη σελίδα ν).

- Να μη συνδέονται σήματα σε κανάλια που δεν έχουν ενεργοποιηθεί μέσω του λογισμικού (βλ. επόμενο κεφάλαιο).

5. Το λογισμικό WinDag

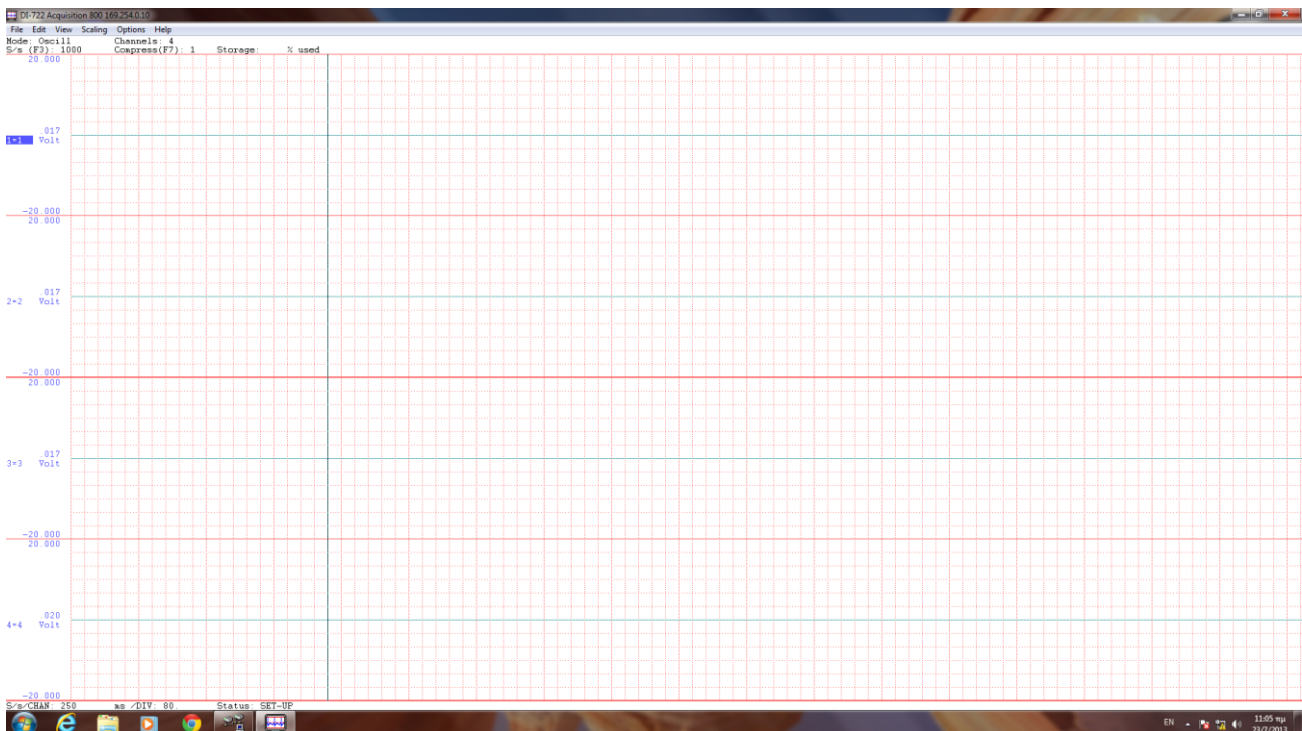
Το λογισμικό που συνοδεύει τη συσκευή περιέχει δύο βασικά προγράμματα:

- Το **WinDag Acquisition (Waveform Recording Software)**: πρόκειται για το πρόγραμμα που δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να ελέγξει όλες τις παραμέτρους που αφορούν στη συλλογή των δεδομένων (*αριθμός ενεργών καναλιών, ρυθμός δειγματοληψίας, εγγραφή κυματομορφών σε αρχείο κλπ*), καθώς και να αλλάξει κάποιες γραφικές ρυθμίσεις για την προσωπική του διευκόλυνση κατά την επόπτευση της συλλογής δεδομένων από τη συσκευή.
- Το **WinDag Waveform Browser (Playback and Analysis Software)**: πρόκειται για το πρόγραμμα με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί κατά τη συλλογή, να πάρει στατιστικά στοιχεία και μετρήσεις, να εποπτεύσει την εγγραφή στο σύνολό της αλλά και να εξαγάγει τα δεδομένα σε άλλους τύπους αρχείων (*Excel, csv, txt κλπ*).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες κάθε προγράμματος. Μία σύντομη περιγραφή αυτών υπάρχει και στο [2] (*εγκαθίσταται μαζί με το λογισμικό και μπορεί να βρεθεί στην τοποθεσία “Εναρξη” → “Προγράμματα” → “WINDAQ” → “Documentation” → “Windaq Software Fast Start Guide”*). Εκτενέστερα είναι τα context-sensitive Help files του λογισμικού, στα οποία ο χρήστης έχει πρόσβαση είτε από την καρτέλα **“Help”** → **“Contents”** στο μενού του κάθε προγράμματος, είτε επιλέγοντας την ιδιότητα που τον ενδιαφέρει και πατώντας **“F1”**.

5.1. Το πρόγραμμα WinDag Acquisition (Waveform Recording Software)

Το βασικό παράθυρο του προγράμματος συλλογής και καταγραφής δεδομένων ανοίγει κατά την ενεργοποίηση της συσκευής από το κουμπί **“Start WinDag”** στο παράθυρο **“Dataq TCP/IP Manager”**.



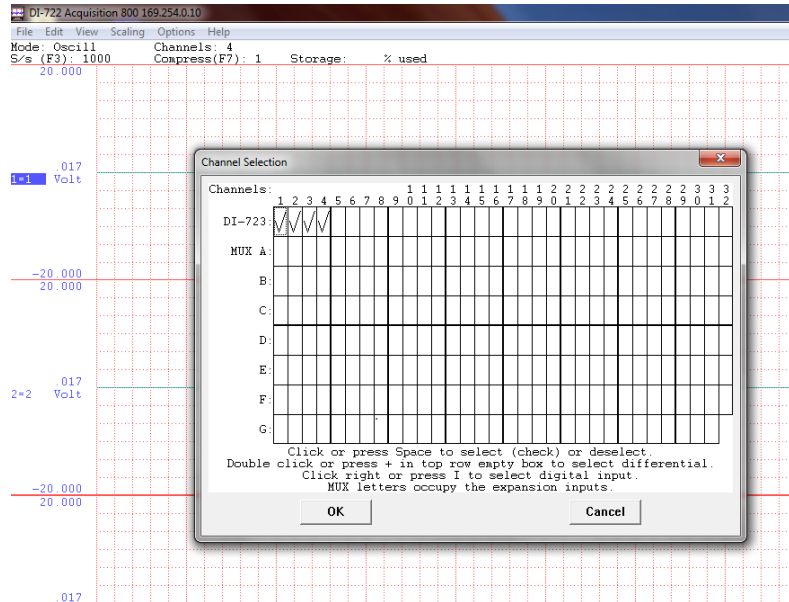
Παρατηρήσεις:

- Πάνω αριστερά υπάρχει το μενού (*File, Edit, View, Scaling, Options, Help*). Ακριβώς από κάτω φαίνονται ο τύπος απεικόνισης (*εδώ: Oscill, δηλαδή παλμογράφος*), ο αριθμός των καναλιών που είναι ενεργοποιημένα (*από προεπιλογή όταν ενεργοποιείται η συσκευή αυτά είναι 4*), ο συνολικός ρυθμός δειγματοληψίας για τα ενεργά κανάλια (*S/s: δείγματα ανά δευτερόλεπτο, από προεπιλογή 1000*), καθώς και η ένδειξη Storage: % used που αφορά στην εγγραφή των δεδομένων σε αρχείο.
- Ακολουθεί η λίστα των ενεργών καναλιών. Από προεπιλογή έχουν όλα το μέγιστο εύρος ± 20 V (με ενίσχυση 1).

- Κάτω αριστερά αναγράφεται ο ρυθμός δειγματοληψίας ανά κανάλι (S/s/CHAN: δείγματα ανά δευτερόλεπτο ανά κανάλι), ο οποίος προκύπτει αν διαιρεθεί ο συνολικός ρυθμός δειγματοληψίας με τον αριθμό των ενεργών καναλιών. Επίσης υπάρχει η ένδειξη ms/DIV για να γνωρίζει ο χρήστης την απεικόνιση του χρόνου στον παλμογράφο, καθώς και η ένδειξη Status που αφορά στην εγγραφή δεδομένων (εδώ SET-UP: η συσκευή δεν πραγματοποιεί εγγραφή).
- Ο κέρσορας κινείται με ταχύτητα ανάλογη του ρυθμού δειγματοληψίας.

5.1.1. Ενεργοποίηση καναλιών για συλλογή δεδομένων

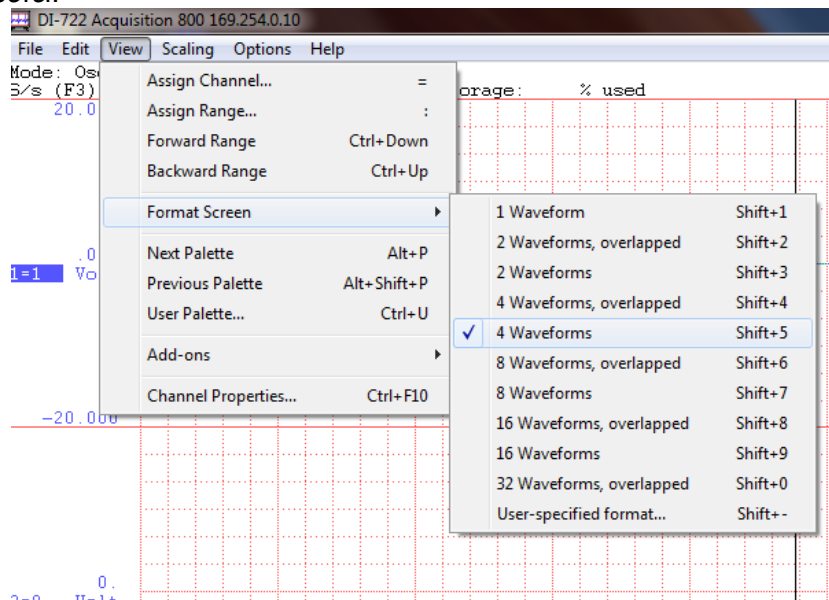
Από το μενού, επιλέγοντας “Edit” → “Channels...” ανοίγει το παράθυρο “Channel Selection”.



Με αριστερό κλικ στα αντίστοιχα κουτάκια της πρώτης σειράς ο χρήστης ενεργοποιεί/απενεργοποιεί τα κανάλια που επιθυμεί. Οι υπόλοιπες σειρές σχετίζονται με πιθανή επέκταση της συσκευής μέσω άλλων συσκευών DATAQ και δεν έχουν νόημα σε περίπτωση αυτόνομης λειτουργίας. Περισσότερες πληροφορίες για την επεκταμένη λειτουργία της συσκευής μπορούν να βρεθούν στα [1] και [2].

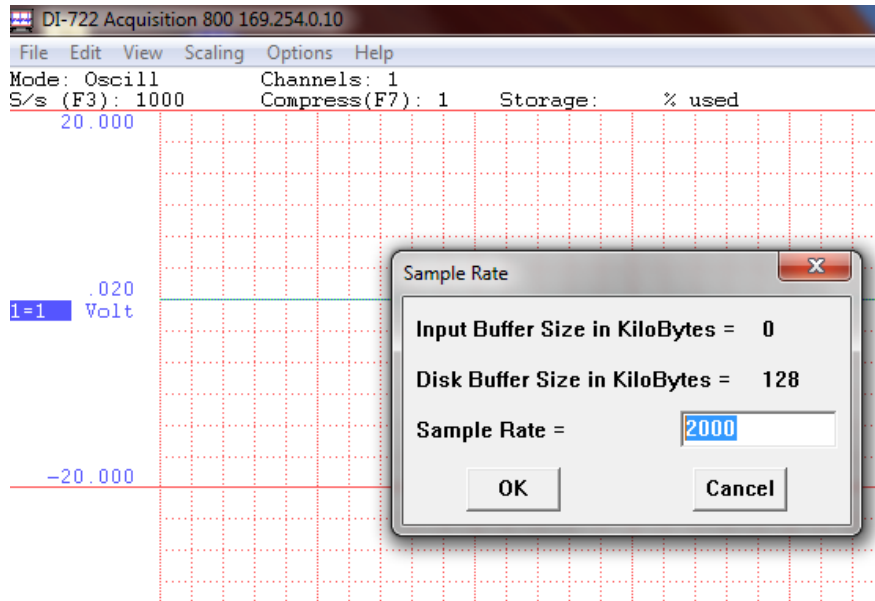
5.1.2. Προβολή ενεργοποιημένων καναλιών

Στη συγκεκριμένη συσκευή κατά την ενεργοποίηση προβάλλονται από προεπιλογή 4 κανάλια. Ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη, η οθόνη μπορεί να ρυθμιστεί σε διάφορους τύπους προβολών ώστε να παρακολουθούνται όλα τα ενεργά κανάλια. Επιλέγοντας “View” → “Format Screen” ο χρήστης ορίζει τον τύπο που τον εξυπηρετεί.



5.1.3. Καθορισμός ρυθμού δειγματοληψίας

Η επιλογή “Edit” → “Sample Rate...” ανοίγει το παράθυρο διαλόγου “Sample Rate”:



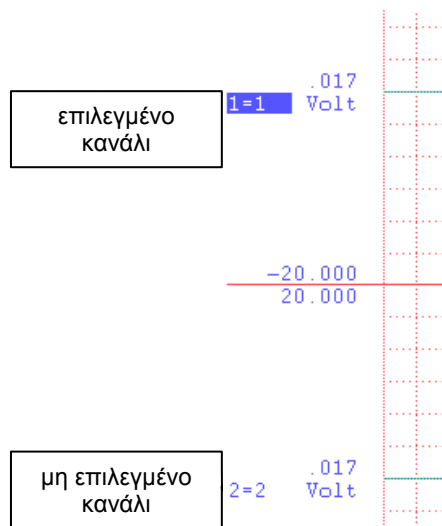
Ο συγκεκριμένος όρος αναφέρεται στο συνολικό ρυθμό δειγματοληψίας όλων των ενεργών καναλιών (*throughput*). Ο χρήστης εισάγει τον αριθμό που επιθυμεί, έχοντας υπόψιν τα παρακάτω:

- Το WinDaq/Lite περιορίζει το μέγιστο επιτρεπτό *throughput* στα 240 Hz, σε αντίθεση με τα WinDaq/Pro και WinDaq/Pro+ που μπορούν να φτάσουν το μέγιστο *throughput* που επιτρέπει ο εξοπλισμός (για την εν λόγω συσκευή τα 50.000 δείγματα/δευτερόλεπτο). Επίσης μόνο το WinDaq/Pro+ επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί διαφορετικός ρυθμός δειγματοληψίας για κάθε κανάλι (περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στα αντίστοιχα *Help files* του προγράμματος). Στα υπόλοιπα, ο ρυθμός δειγματοληψίας ανά κανάλι προκύπτει αν διαιρεθεί το *throughput* με τον αριθμό των ενεργοποιημένων καναλιών.
- Το πρόγραμμα WinDaq Acquisition καθορίζει αυτόματα το σωστό μέγεθος *buffer* που αναλογεί στο ρυθμό δειγματοληψίας που εισάγει ο χρήστης. Οι αριθμοί που προβάλλονται στο παράθυρο είναι καθαρά για λόγους απεικόνισης.

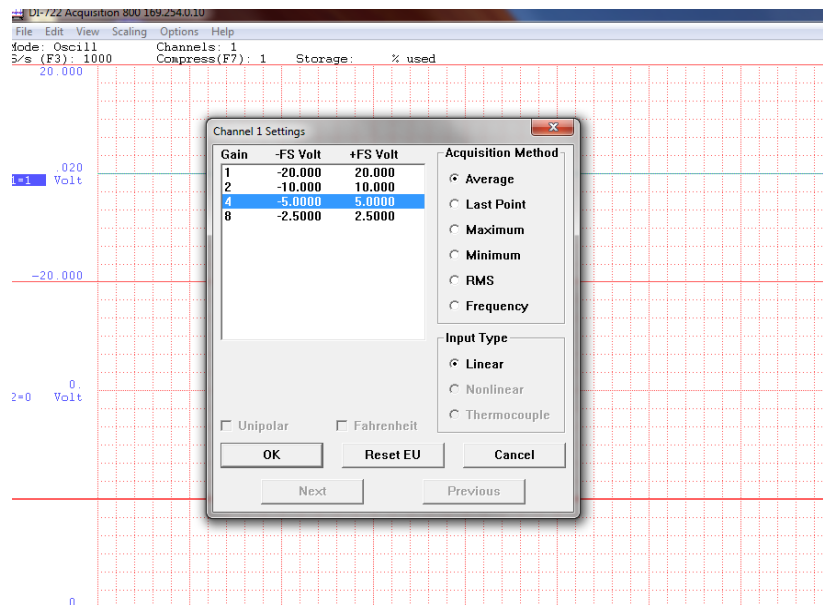
5.1.4. Αλλαγές στις ρυθμίσεις των καναλιών

5.1.4.i. Προσδιορισμός ενίσχυσης

Επιλέγοντας ένα κανάλι είναι δυνατή η προσαρμογή της ενίσχυσης με σκοπό την αλλαγή του εύρους μέτρησης, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ανάλυση του σήματος εισόδου.



Ο χρήστης θα πρέπει να μαρκάρει με το δείκτη του ποντικιού το κανάλι που επιθυμεί να προσαρμόσει. Στη συνέχεια, επιλογή από το μενού “Edit” → “Channel Settings...” για να ανοίξει το ακόλουθο παράθυρο:



Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει επιλεγθεί το κανάλι 1, συνεπώς ανοίγει το παράθυρο “Channel 1 Settings”. Επιλέγοντας μεγαλύτερη ενίσχυση μειώνεται το εύρος μέτρησης και αυξάνεται η ανάλυση. Επιλογή “OK” για εφαρμογή των αλλαγών. **Προσοχή:** Η επιλογή ενίσχυσης διαφορετικής της μονάδας επιφέρει περιορισμούς στο σήμα εισόδου του εν λόγω καναλιού αντίστοιχους με το καινούριο εύρος μέτρησης. Επομένως, για ενίσχυση ίση με 2 το σήμα εισόδου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα ± 10 V, για ενίσχυση ίση με 4 τα ± 5 V και για ενίσχυση ίση με 8 τα $\pm 2,5$ V.

5.1.4.ii. Διαφορές Burst rate και Sample rate

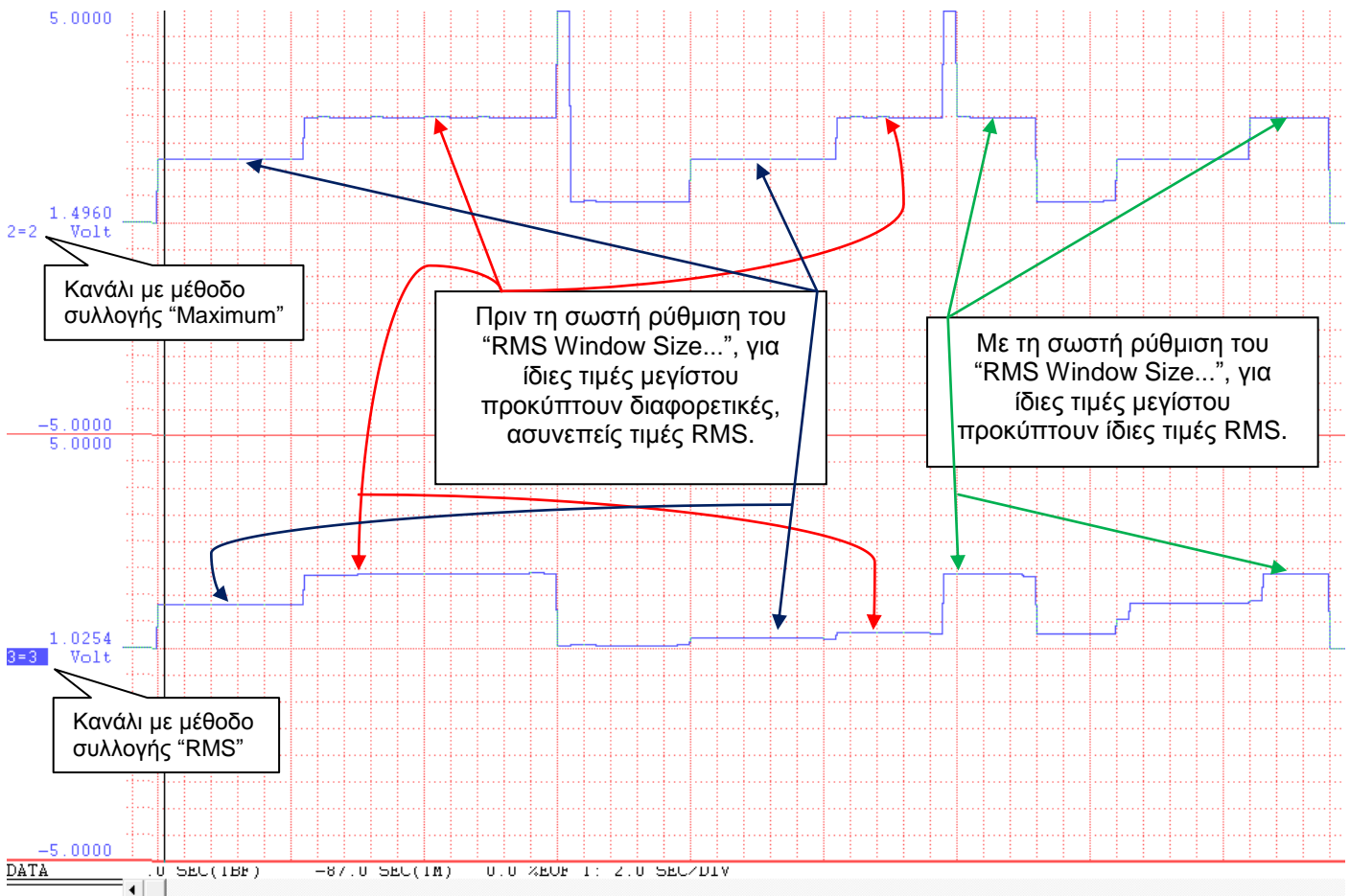
Γενικά, όλες οι συσκευές της DATAQ Instruments χρησιμοποιούν την εξής τεχνική: η συσκευή συλλέγει δεδομένα με ένα ρυθμό (ο οποίος ονομάζεται μέγιστος ρυθμός δειγματοληψίας ή *burst rate*) ενώ ο υπολογιστής προβάλλει και αποθηκεύει αυτά τα δεδομένα με έναν διαφορετικό ρυθμό (ο οποίος είναι ο συνολικός ρυθμός δειγματοληψίας των ενεργών καναλιών ή *sample rate*). Με άλλα λόγια, το *burst rate* καθορίζει πόσο γρήγορα συλλέγονται τα δεδομένα από το hardware, ενώ το *sample rate* το πόσο γρήγορα τα δεδομένα εκτίθενται στο χρήστη μέσω του υπολογιστή. Η συσκευή μπορεί να συλλέξει δεδομένα πολύ πιο γρήγορα από όσο μπορεί να τα εκθέσει. Στην §5.1.3 έχει περιγραφεί ο τρόπος ρύθμισης του *sample rate*, ενώ ο ρύθμιση του *burst rate* μπορεί να γίνει επιλέγοντας “Edit” → “Preferences” → “Maximum Sample Rate” (από προεπιλογή είναι 50.000 δείγματα/ δευτερόλεπτο, όσο δηλαδή και το ανώτατο όριο της συσκευής). Υπενθυμίζεται ότι το *sample rate* αποτελεί το συνολικό ρυθμό δειγματοληψίας όλων των ενεργών καναλιών (*throughput*), και ο ρυθμός δειγματοληψίας ανά κανάλι προκύπτει αν διαιρεθεί το *throughput* με τον αριθμό των ενεργοποιημένων καναλιών. Οι ρυθμίσεις αυτές επηρεάζουν άμεσα τις μεθόδους συλλογής δεδομένων των καναλιών, όπως εξηγείται στη συνέχεια.

5.1.4.iii. Επιλογή μεθόδου συλλογής δεδομένων

Εκτός από την ενίσχυση, στο παράθυρο “Channel Settings...” ο χρήστης μπορεί να επιλέξει και τη μέθοδο συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιεί το επιλεγμένο κανάλι. Εάν, για παράδειγμα, ένα ενεργό κανάλι έχει ρυθμό δειγματοληψίας 100 Hz και το *burst rate* έχει ορισθεί στα 10 kHz, τότε ανά 100 δείγματα που συλλέγονται μόνο ένα προβάλλεται και αποθηκεύεται, και η μέθοδος συλλογής δεδομένων καθορίζει “ποιο από τα 100” είναι το δείγμα που θα αποθηκευτεί. Έτσι:

- Με τη μέθοδο “Average”, που αποτελεί και την προεπιλεγμένη μέθοδο για όλα τα κανάλια, ανά x δείγματα που συλλέγονται, προβάλλεται και αποθηκεύεται ο μέσος όρος αυτών.
- Με τη μέθοδο “Last Point”, ανά x δείγματα που συλλέγονται, προβάλλεται και αποθηκεύεται το πιο πρόσφατο χρονικά, ενώ όλα τα υπόλοιπα αγνοούνται.

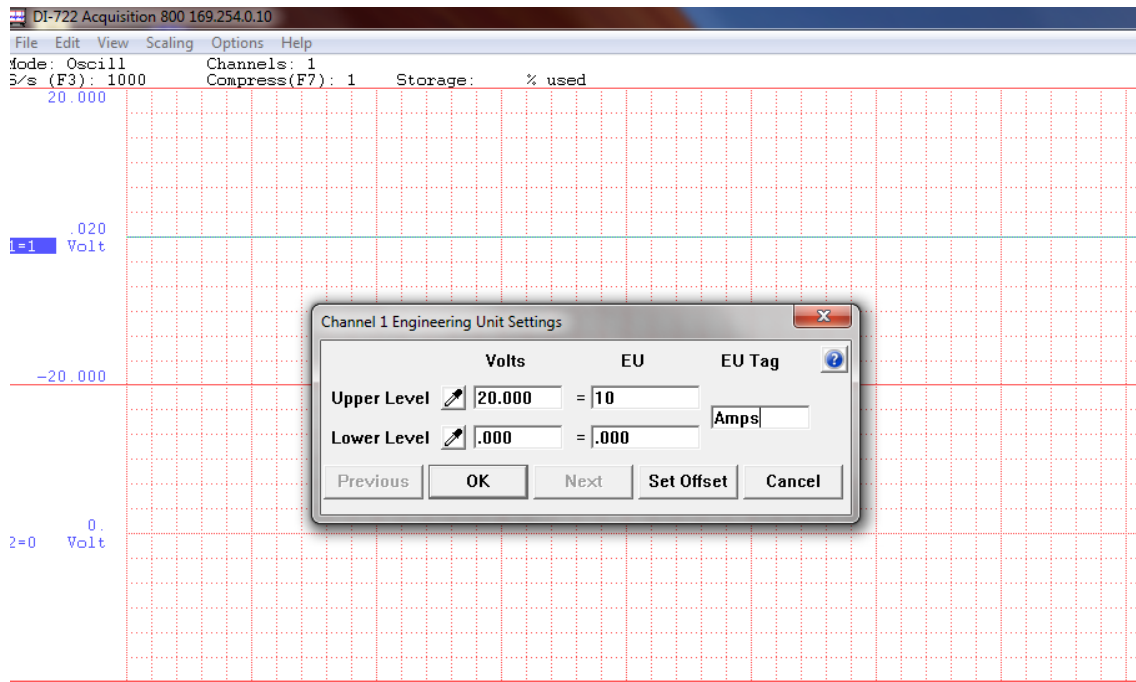
- Με τη μέθοδο **“Maximum”**, ανά x δείγματα που συλλέγονται, προβάλλεται και αποθηκεύεται αυτό που αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη μέτρηση (peak τιμή).
- Με τη μέθοδο **“Minimum”**, ανά x δείγματα που συλλέγονται, προβάλλεται και αποθηκεύεται αυτό που αντιπροσωπεύει τη μικρότερη μέτρηση (valley τιμή).
- Με τη μέθοδο **“RMS”**, ανά x δείγματα που συλλέγονται, προβάλλεται και αποθηκεύεται η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου των τετραγώνων αυτών (ουσιαστικά η μέθοδος αυτή μετατρέπει ένα εναλλασσόμενο σήμα σε συνεχές). Πριν την επιλογή αυτής της μεθόδου, θα πρέπει να έχει προσδιοριστεί από το χρήστη το πλήθος των x δειγμάτων από τα οποία θα γίνεται ο υπολογισμός. Η ρύθμιση αυτή γίνεται επιλέγοντας **“Edit”** → **“Preferences”** → **“RMS Window Size...”** και στο πλαίσιο κειμένου που εμφανίζεται ο χρήστης εισάγει τον ακριβή αριθμό των δειγμάτων. Πατώντας **“TAB”** από το πληκτρολόγιο εμφανίζεται ακριβώς δίπλα το χρονικό παράθυρο που αντιστοιχεί στον επιλεγμένο αριθμό δειγμάτων. Για να επιτευχθούν σωστές και σταθερές μετρήσεις, θα πρέπει να επιλεγεί τέτοιος αριθμός δειγμάτων ώστε το χρονικό παράθυρο που προκύπτει να καλύπτει μία ή περισσότερες ολοκληρωμένες περιόδους του εναλλασσόμενου σήματος. Τα αποτελέσματα από παράλειψη ρύθμισης του **“RMS Window Size...”** ή λανθασμένη επιλογή αριθμού δειγμάτων φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



- Με τη μέθοδο **“Frequency”** γίνονται μετρήσεις της συχνότητας και προβάλλεται μία τιμή που είναι ανάλογη της συχνότητας του σήματος εισόδου. Πριν την επιλογή αυτής της μεθόδου, ο χρήστης θα πρέπει να κάνει τις κατάλληλες ρυθμίσεις επιλέγοντας **“Edit”** → **“Preferences”** → **“Frequency”** (περισσότερες πληροφορίες στα *Help files* του προγράμματος).

5.1.5. Βαθμονόμηση σημάτων εισόδου

Το πρόγραμμα προσφέρει τη δυνατότητα μετατροπής των μονάδων μέτρησης τάσης στις μονάδες μέτρησης που ενδιαφέρουν την εκάστοτε εφαρμογή, για μια πιο φιλική απεικόνιση. Συνεπώς, εάν ο χρήστης γνωρίζει την αντιστοιχία μεγεθών, αφού μαρκάρει το αντίστοιχο κανάλι επιλέγει από το μενού **“Edit”** → **“Engineering Unit Settings...”**:

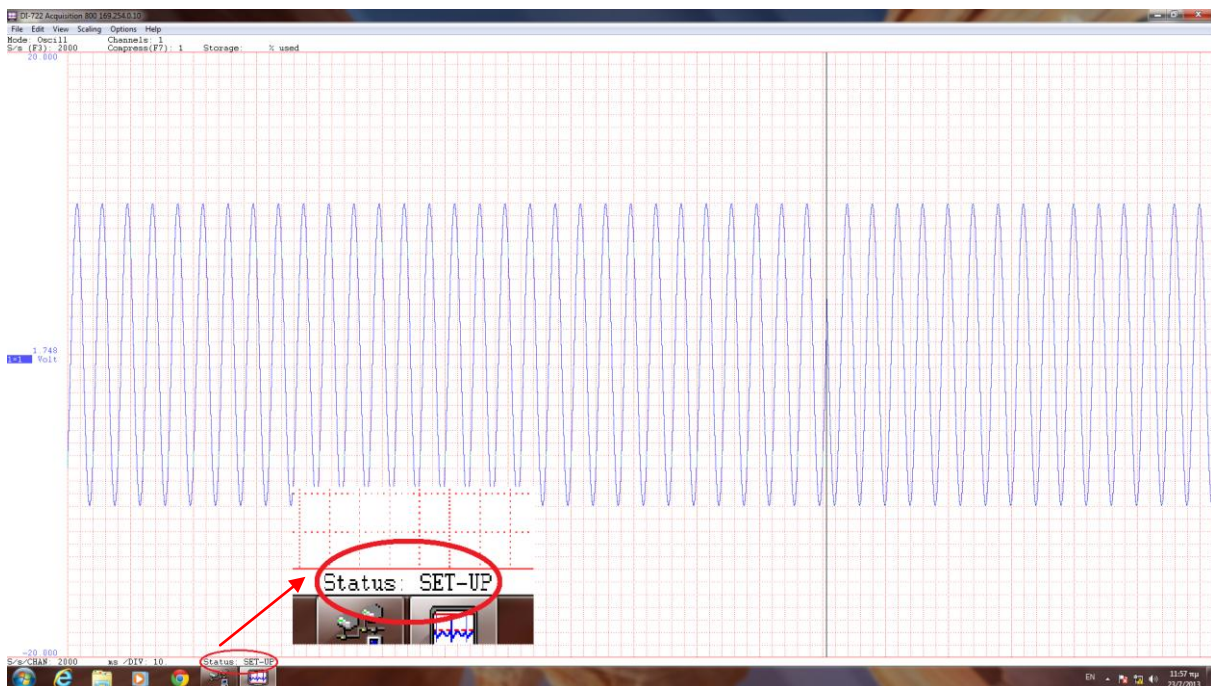


Στο παράθυρο που εμφανίζεται, ζητείται να εισαχθεί η επιθυμητή μετατροπή καθώς και το όνομα της νέας μονάδας μέτρησης. Επιλέγοντας “OK” αποθηκεύεται η μετατροπή. Από το “Set Offset” είναι δυνατή η υπέρθεση μίας σταθερής στάθμης σε όλες τις μετρήσεις. Η αναίρεση όλων των μετατροπών γίνεται επιλέγοντας από το μενού “Edit” → “Reset EU”.

Για τους αισθητήρες Hall, η σχέση μετατροπής μεταξύ Volt και mA (όπως προέκυψε από τα πειράματα βαθμονόμησης) είναι περίπου: $y \text{ (Volts)} = 0,0283 * x \text{ (mA)}$, συνεπώς το ανώτατο όριο των 20 V αντιστοιχεί σε 706,7 mA κατά προσέγγιση.

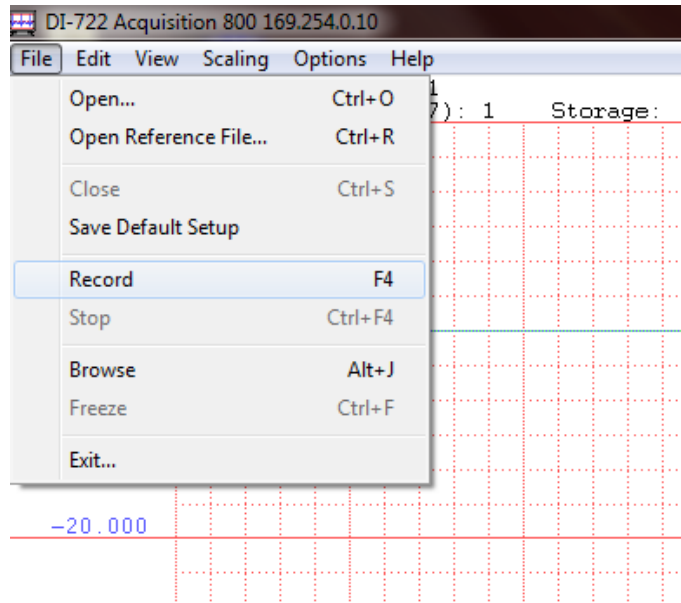
5.1.6. Εγγραφή κυματομορφών στο δίσκο

Όταν σε ένα ενεργό κανάλι δοθεί σήμα εισόδου, τότε αυτό απεικονίζεται απευθείας στο κεντρικό παράθυρο του προγράμματος:

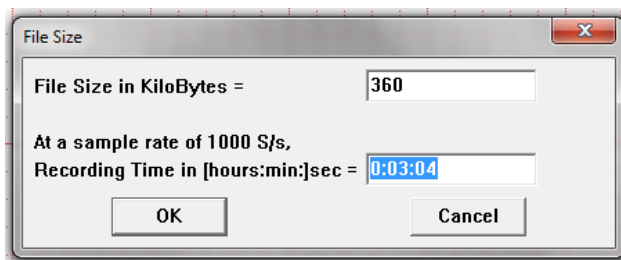
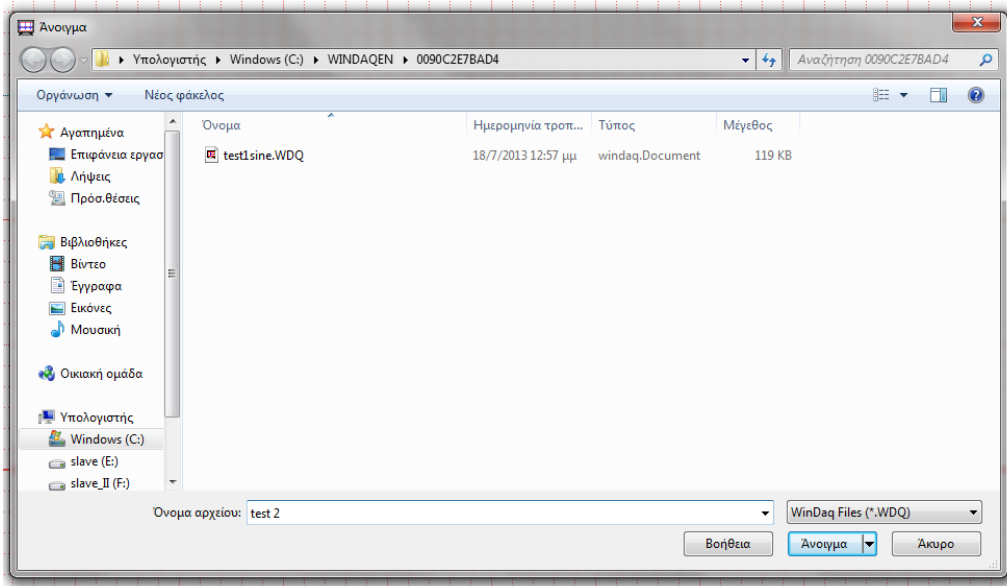


Ωστόσο αυτά τα δεδομένα δεν αποθηκεύονται πουθενά, όπως φαίνεται και στην ένδειξη **Status: SET-UP** (δεν γίνεται εγγραφή). Το πρόγραμμα δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να εγγράψει τις κυματομορφές που επιθυμεί σε αρχεία του λογισμικού Windaq (με επέκταση .WDQ), τα οποία μπορεί να επεξεργαστεί στη

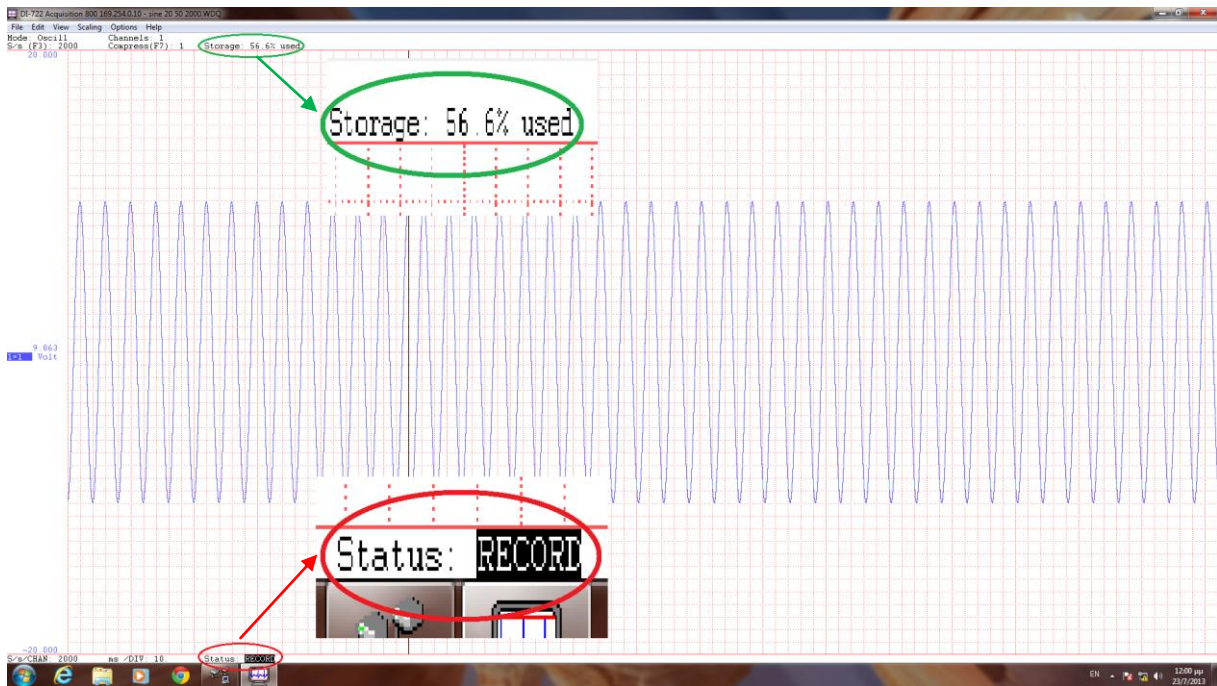
συνέχεια μέσω του δεύτερου προγράμματος WinDag Waveform Browser (Playback and Analysis Software). Για έναρξη εγγραφής, επιλογή από το μενού “File” → “Record”:



Στο παράθυρο διαλόγου “**Άνοιγμα**” που εμφανίζεται, ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει ένα όνομα αρχείου για να δημιουργήσει ένα καινούριο αρχείο ή να επιλέξει ένα ήδη υπάρχον για να επισυνάψει τα νέα δεδομένα σε αυτό. Πατώντας το κουμπί “**Άνοιγμα**” εμφανίζεται το επόμενο παράθυρο διαλόγου “**File Size**”. Εάν πρόκειται να δημιουργηθεί καινούριο αρχείο θα πρέπει να οριστεί το μέγιστο μέγεθος αρχείου, ενώ εάν γίνεται επισύναψη σε υπάρχον αρχείο θα πρέπει να προσδιοριστεί το μέγεθος των δεδομένων που θα προστεθούν σε αυτό. Σε κάθε περίπτωση, αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: είτε ορίζοντας το μέγεθος αρχείου σε kB (οπότε ο χρόνος εγγραφής προσδιορίζεται αυτόματα με βάση το ρυθμό δειγματοληψίας που έχει επιλεγεί και εμφανίζεται πατώντας το κουμπί “**TAB**” στο πληκτρολόγιο) είτε εισάγοντας τον επιθυμητό χρόνο εγγραφής (οπότε το μέγεθος αρχείου προσδιορίζεται αυτόματα με βάση το ρυθμό δειγματοληψίας που έχει επιλεγεί και εμφανίζεται πατώντας το κουμπί “**TAB**”). Σημειώνεται ότι ένα αρχείο WDQ δεν μπορεί να υπερβαίνει σε μέγεθος τα **4.194.302 kB (4GB)**.



Πατώντας “OK” στο παράθυρο “File Size” ξεκινάει αυτόματα η εγγραφή και η αποθήκευση των δεδομένων στο δίσκο, ενώ παράλληλα το σήμα εισόδου απεικονίζεται όπως και πριν στο κεντρικό παράθυρο.



Η ένδειξη “Storage: % used” ενημερώνει το χρήστη για το ποσοστό μεγέθους του αρχείου που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί και παράλληλα η ένδειξη “Status:” έχει αλλάξει σε “RECORD” (δηλαδή πραγματοποιείται εγγραφή). Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα προσωρινής διακοπής της εγγραφής δεδομένων στο δίσκο επιλέγοντας “File” → “Stop”. Στην περίπτωση αυτή η ένδειξη “Status:” αλλάζει σε “STBY” αλλά το σήμα εισόδου συνεχίζει να απεικονίζεται κανονικά στο κεντρικό παράθυρο. Η επανεκκίνηση της εγγραφής γίνεται επιλέγοντας “File” → “Record”. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί όσες φορές επιθυμεί ο χρήστης, έως ότου γεμίσει το αρχείο. Όταν συμβεί αυτό, η εγγραφή δεδομένων στο δίσκο σταματά αυτόματα, και εμφανίζονται οι ενδείξεις “Storage: 100% used” και “Status: FILE FULL”. Το πλήρως εγγεγραμμένο αρχείο κλείνει επιλέγοντας “File” → “Close” και ο χρήστης επανέρχεται στο αρχικό παράθυρο καταγραφής (“Status: SET-UP”).

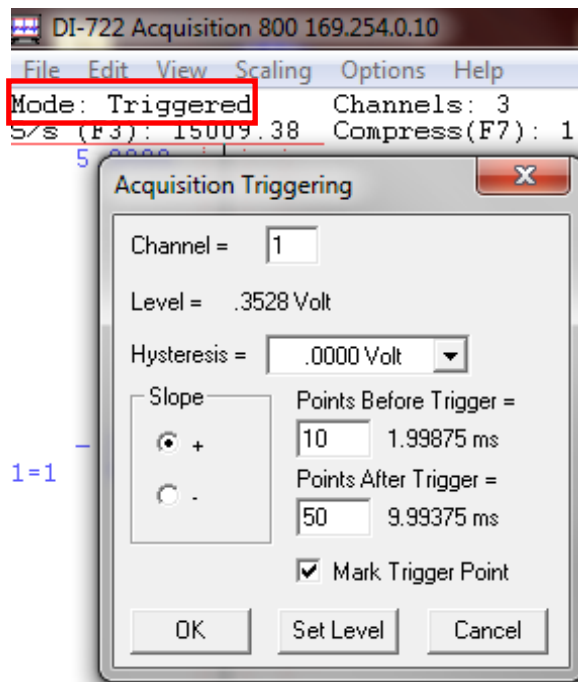
5.1.7. Πρόσθετες λειτουργίες

Το πρόγραμμα διαθέτει πληθώρα πρόσθετων και πιο εξελιγμένων λειτουργιών για προχωρημένους χρήστες. Αναλυτική περιγραφή όλων των λειτουργιών και των συσκευών που τις υποστηρίζουν υπάρχει στα Help files του προγράμματος. Για στοχευμένη πρόσβαση, συνιστάται η επιλογή από το μενού της επιθυμητής ιδιότητας και πάτημα “F1”. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται εδώ κάποιες αντιπροσωπευτικές λειτουργίες:

- **Event Markers:** η λειτουργία αυτή επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει δείκτες συμβάντων, με ή χωρίς σχόλια, σε οποιοδήποτε σημείο επιθυμεί. Οι δείκτες αυτοί αποθηκεύονται μαζί με τα δεδομένα στο αρχείο WDQ και είναι διαθέσιμοι κατά την επεξεργασία του. Για εισαγωγή δείκτη, θα πρέπει κατά τη διάρκεια της εγγραφής ενός αρχείου ο χρήστης να επιλέξει “Edit” → “Insert Mark” ή “Edit” → “Insert Commented Mark”. Το πρόγραμμα καταχωρεί αυτόματα δείκτες συμβάντων κατά την έναρξη, παύση, επανέναρξη ή επισύναψη εγγραφής σε οποιοδήποτε αρχείο.
- **Triggered Sweep Display:** η λειτουργία αυτή επιτρέπει την είσοδο συνθηκών σκανδαλισμού για την απεικόνιση των κυματομορφών στην οθόνη (οι επόμενες δύο ιδιότητες, **Triggered Mode** και **Triggered Storage**, αφορούν συνθήκες σκανδαλισμού σχετικά με την αποθήκευση των δεδομένων στο δίσκο). Επιλέγοντας “Options” → “Oscilloscope Mode” ανοίγει το παράθυρο διαλόγου “Oscilloscope Triggering”. Αφήνοντας το κουτάκι “Free Run” αμαρκάριστο, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταβεί σε σκανδαλισμένη λειτουργία παλμογράφου. Επιλέγοντας κανάλι, κλίση σήματος κατά τη διέλευση από το επίπεδο σκανδαλισμού (“+” για θετική κλίση και “-” για αρνητική κλίση) και επίπεδο σκανδαλισμού (από το “Set Level”), η προβολή των κυματομορφών όλων των ενεργών καναλιών στην οθόνη θα γίνεται μόνο όταν ικανοποιηθούν όλες οι συνθήκες σκανδαλισμού για το επιλεγμένο κανάλι.



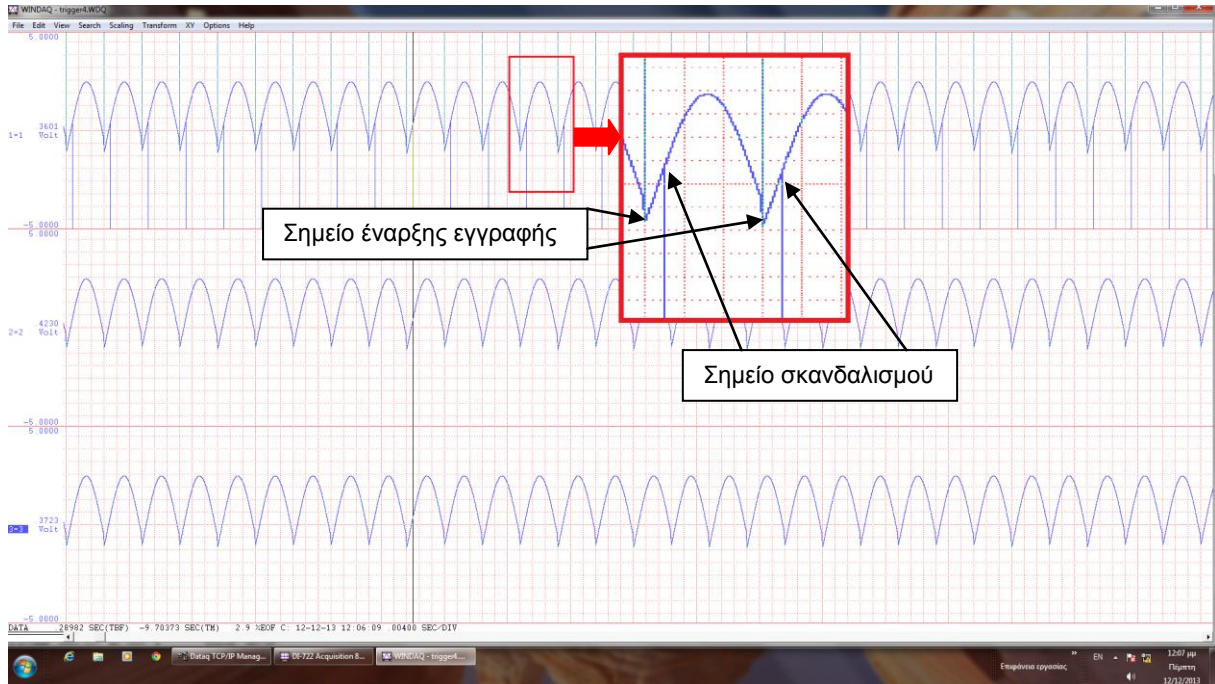
- **Triggered Mode:** η λειτουργία αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό συνθηκών σκανδαλισμού για την αποθήκευση των δεδομένων στο δίσκο και δεν είναι συμβατή με όλες τις συσκευές DATAQ, ούτε με τις μεθόδους απόκτησης δεδομένων “RMS” και “Frequency”. Επιλέγοντας “Options” → “Triggered Mode...” ανοίγει το παράθυρο διαλόγου “Acquisition Triggering”:



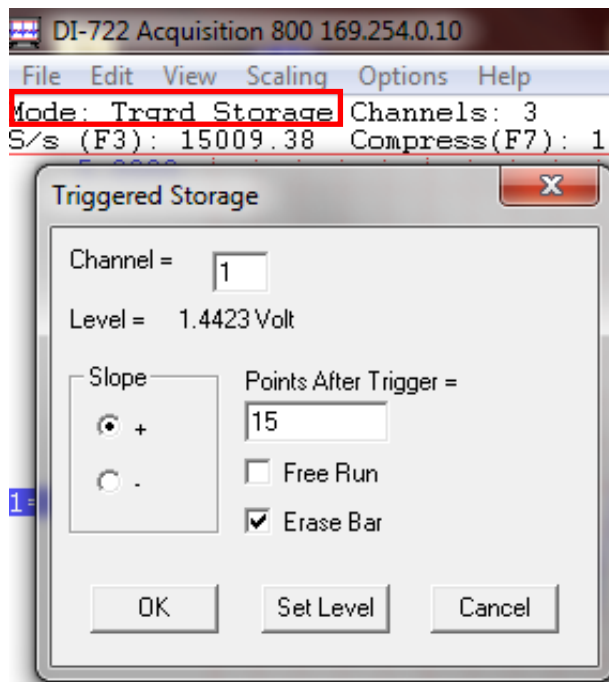
Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τον αριθμό δειγμάτων πριν και μετά το σκανδαλισμό (υπάρχει ο περιορισμός: (Σημεία πριν + Σημεία μετά)*τον αριθμό των ενεργοποιημένων καναλιών → πρέπει να είναι ≤ 64.000), την κλίση του σήματος τη στιγμή που θα διέρχεται από το επίπεδο σκανδαλισμού (“+” για θετική κλίση και “-” για αρνητική κλίση), το επίπεδο υστέρησης (για αξιόπιστο σκανδαλισμό όταν παρεμβάλλονται σήματα θορύβου) και το επίπεδο σκανδαλισμού (από το “Set Level”). Ως κανάλι σκανδαλισμού επιτρέπεται να οριστεί μόνο ένα και μόνο εκείνο το ενεργοποιημένο κανάλι που έχει τη χαμηλότερη αριθμηση. Σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να ορίσει σκανδαλισμό για κάποια άλλη κυματομορφή, θα πρέπει να μετακινήσει αυτήν την κυματομορφή στο κανάλι με τη χαμηλότερη αριθμηση (αυτό είναι εφικτό μέσω της ιδιότητας “Variable Waveform Assignments”). Μαρκάροντας το κουτάκι “Mark Trigger Point”, το πρόγραμμα θα εισάγει ένα δείκτη συμβάντων στα σημεία που ικανοποιούν τις συνθήκες σκανδαλισμού και προκαλούν την έναρξη αποθήκευσης δεδομένων στο δίσκο.

Στη συνέχεια, εκτελώντας κανονικά τα βήματα για την εγγραφή αρχείου (βλ. §5.1.6.) το πρόγραμμα περιμένει την ικανοποίηση των συνθηκών σκανδαλισμού για το επιλεγμένο κανάλι για να καταγράψει τον ορισμένο αριθμό δειγμάτων πριν και μετά το σκανδαλισμό για όλα τα ενεργά κανάλια. Στο αρχείο WDAQ εισάγεται πάντα ένας δείκτης συμβάντων για κάθε αρχικό σημείο εγγραφής και ένας δείκτης συμβάντων στα σημεία που ικανοποιούν τις συνθήκες σκανδαλισμού, εάν είχε μαρκαριστεί το κουτάκι “Mark Trigger Point”. Όταν σταματήσει η εγγραφή και κλείσει το

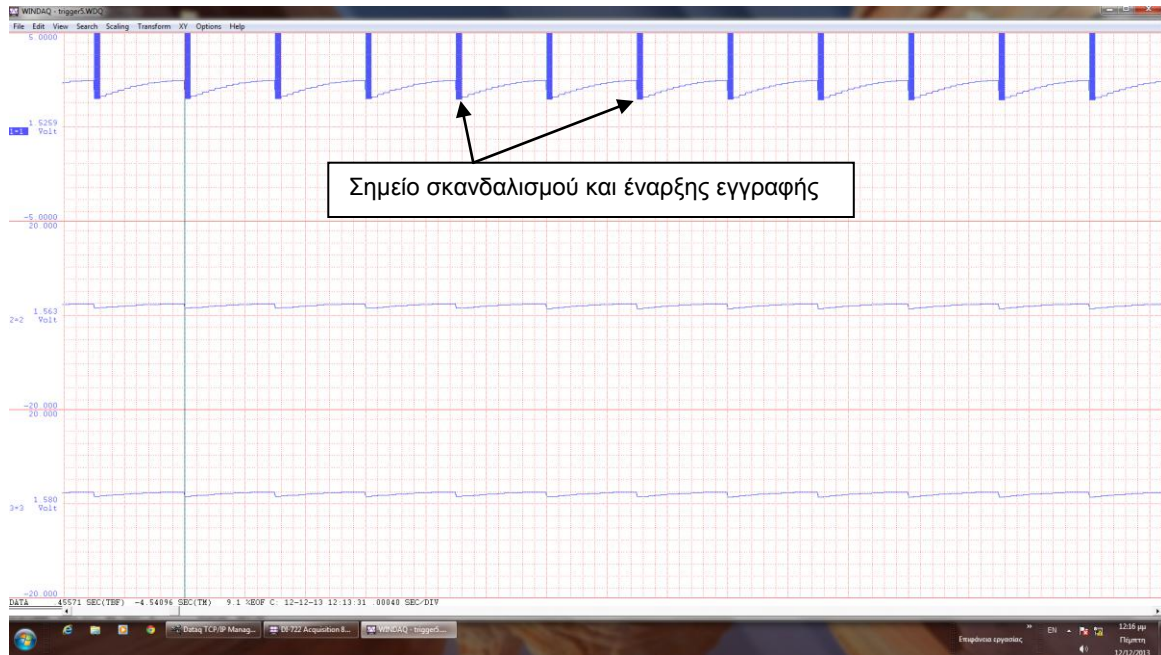
αρχείο WDQ, ακυρώνονται αυτόματα όλες οι ρυθμίσεις σκανδαλισμού. Ακολουθεί ένα παράδειγμα εγγραφής με σκανδαλισμό, όπου στα 3 ενεργά κανάλια δινόταν το ίδιο ημιτονοειδές σήμα πλάτους 5 V_{p-p} και συχνότητας 50 Hz:



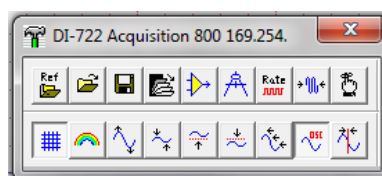
- **Triggered Storage:** η λειτουργία αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό συνθηκών σκανδαλισμού για την αποθήκευση των δεδομένων στο δίσκο και αποτελεί μία πιο απλοποιημένη εκδοχή της προηγούμενης (είναι συμβατή με όλες τις συσκευές DATAQ). Επιλέγοντας “Options” → “Triggered Storage” ανοίγει το παράθυρο διαλόγου “Triggered Storage”:



Οι ρυθμίσεις γίνονται με την ίδια λογική όπως και στην προηγούμενη λειτουργία, με τη διαφορά ότι η εγγραφή εδώ ξεκινά με το σημείο σκανδαλισμού (δεν επιτρέπεται στο χρήστη να ορίσει αριθμό δειγμάτων πριν το σκανδαλισμό). Επιπλέον, η επιλογή ή όχι του κουτιού “Free Run” επηρεάζει μόνο την προβολή των δεδομένων στην οθόνη και όχι την αποθήκευσή τους στο δίσκο. Αλλαγές του επιπέδου σκανδαλισμού εδώ επιφέρουν αλλαγές στο “Oscilloscope Triggering” και αντίστροφα. Για την εγγραφή, το πρόγραμμα περιμένει την ικανοποίηση των συνθηκών σκανδαλισμού για το επιλεγμένο κανάλι, ώστε να καταγράψει τον ορισμένο αριθμό δειγμάτων μετά το σκανδαλισμό για όλα τα ενεργά κανάλια. Ακολουθεί ένα παράδειγμα εγγραφής με σκανδαλισμό, όπου στα 3 ενεργά κανάλια δινόταν ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 50 Hz:



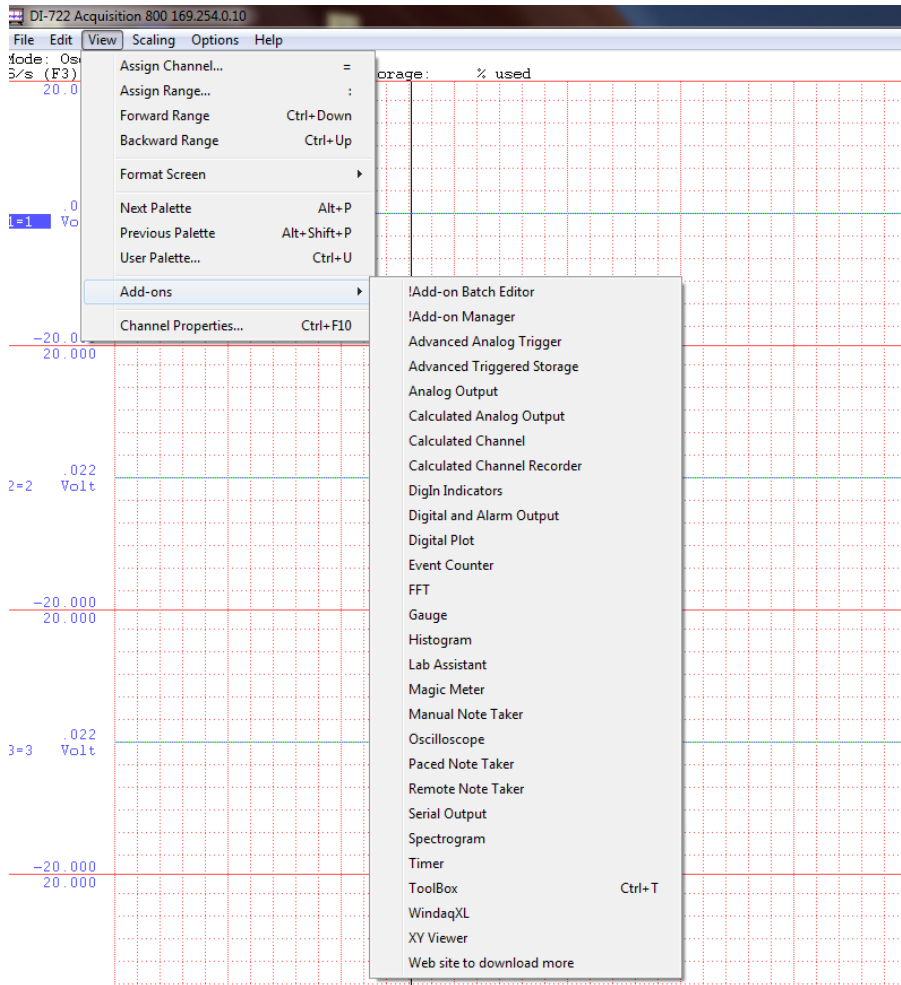
- **Open/Record new file on full:** οι δύο αυτές λειτουργίες επιτρέπουν στο χρήστη να δώσει την εντολή να ανοιχθεί απλά ή/και να αρχίσει η εγγραφή σε νέο αρχείο WDQ όμοιο με το προηγούμενο, όταν η εγγραφή στο τρέχον αρχείο ολοκληρωθεί. Στο όνομα του αρχικού αρχείου προσαυξάνεται αυτόματα το τελευταίο σύμβολο (το οποίο θα πρέπει να είναι γράμμα ή αριθμός), για να οριστεί το όνομα του καινούριου αρχείου. Οι ιδιότητες αυτές ενεργοποιούνται επιλέγοντας “Edit” → “Preferences” → “Open New File on Full” ή “Edit” → “Preferences” → “Record Next File on Full”. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση της αυτόματης εγγραφής, εάν γεμίσει και το δεύτερο αρχείο, το σύστημα επιστρέφει ξανά στο αρχικό αρχείο και καταγράφει “πάνω” στα προηγούμενα δεδομένα, σβήνοντας ουσιαστικά την προηγούμενη αποθήκευση. Η αυτόματη εγγραφή, κατά συνέπεια, παλινδρομεί μεταξύ αυτών των δύο αρχείων, έως ότου ο χρήστης τη διακόψει χειροκίνητα.
- **Reference Files:** η λειτουργία αυτή επιτρέπει στο χρήστη να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε ήδη εγγεγραμμένο αρχείο ως αναφορά για την έναρξη μιας καινούριας εγγραφής. Όλες οι παράμετροι του εγγεγραμμένου αρχείου (αριθμός ενεργοποιημένων καναλιών, τύπος καναλιών, μονάδες μετατροπής, τύπος προβολής, ενίσχυση, ρυθμός δειγματοληψίας κλπ) μεταφέρονται ως προεπιλογές στο νέο αρχείο, επιλέγοντας “File” → “Open Reference File...”.
- **User Annotation:** η λειτουργία αυτή επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει σχόλιο (υπό μορφή λεζάντας) μεγέθους 30 χαρακτήρων σε κάθε κανάλι που προβάλλεται στην οθόνη. Ενεργοποιείται επιλέγοντας “Edit” → “User Annotation...”.
- **Toolbox:** η λειτουργία αυτή είναι από προεπιλογή απενεργοποιημένη κατά την πρώτη έναρξη του προγράμματος. Όταν ενεργοποιηθεί, προβάλλει στην οθόνη μία εργαλειοθήκη η οποία επιτρέπει γρήγορη πρόσβαση στις συχνότερα χρησιμοποιούμενες εντολές. Ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει “View” → “Add-ons” → “Toolbox”:



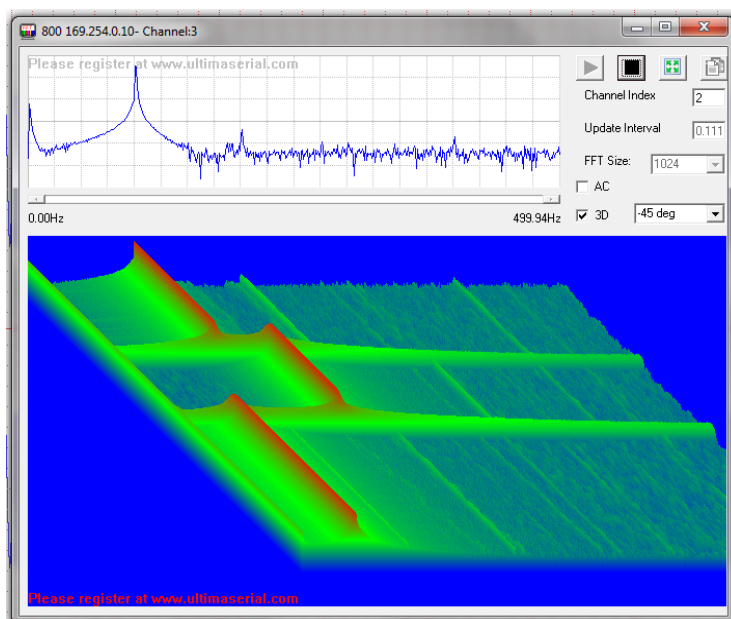
5.1.8. Πρόσθετα προγράμματα

Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει πολλά περισσότερα εργαλεία στη λίστα των πρόσθετων προγραμμάτων (“Add-ons”), είτε κατεβάζοντας το βασικό πακέτο της DATAQ από την ιστοσελίδα της εταιρείας (http://www.dataq.com/support/add_ons/index.htm), είτε κατεβάζοντας τα πιο εξελιγμένα πρόσθετα της συνεργαζόμενης εταιρείας Ultimaserial (<http://www.ultimaserial.com/wdspectrum.html>). Μερικά από τα προγράμματα αυτά είναι ελεύθερα, ενώ άλλα προσφέρονται για 45ήμερη δοκιμή πριν την αγορά τους. Μετά

την εγκατάστασή τους, είναι διαθέσιμα από το μενού στο βασικό παράθυρο του προγράμματος καταγραφής επιλέγοντας “View” → “Add-ons”. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια από τα πρόσθετα προγράμματα:

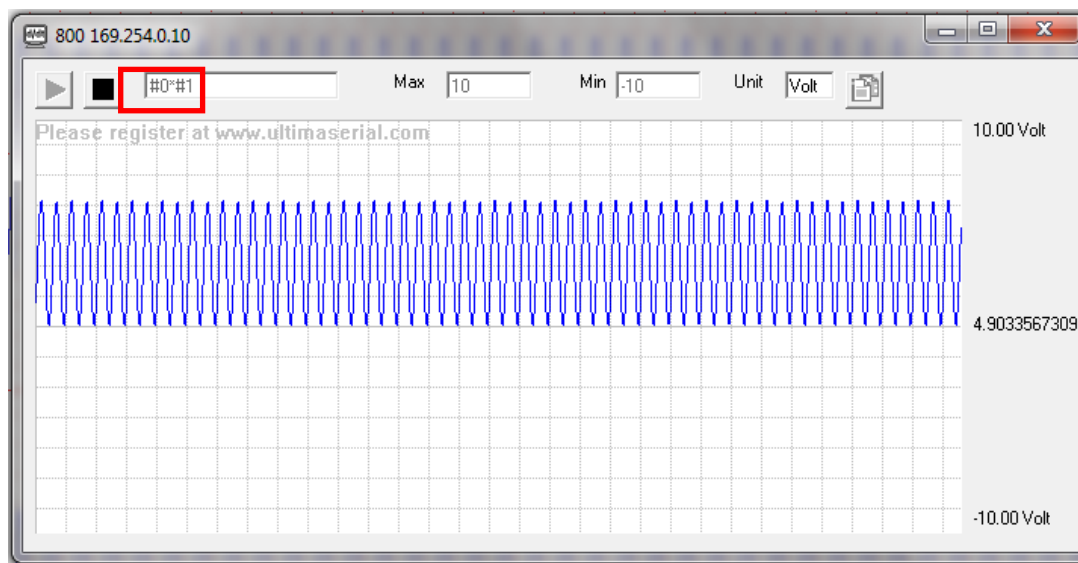


- **Spectrogram (Ultimaserial):** το πρόσθετο αυτό, όταν ενεργοποιηθεί, προβάλλει σε ξεχωριστό παράθυρο μία τρισδιάστατη απεικόνιση της μεταβολής του πεδίου συχνότητας της επιλεγμένης κυματομορφής καθώς συλλέγονται νέα δεδομένα, μέσω του μετασχηματισμού FFT. Ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει “View” → “Add-ons” → “Spectrogram”. Ακολουθεί παράδειγμα, όπου η συχνότητα του ημιτόνου που δόθηκε ως σήμα στο κανάλι 3 μεταβλήθηκε από 50 Hz σε 150 Hz και έπειτα σε 100 Hz:

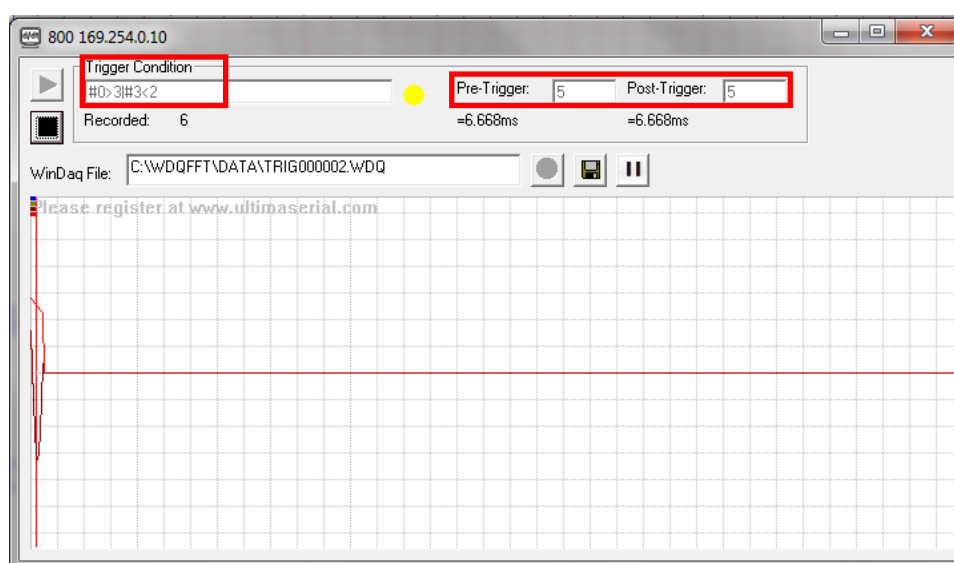


- **Calculated Channel (Ultimaserial):** το πρόσθετο αυτό, όταν ενεργοποιηθεί, προβάλλει σε ξεχωριστό παράθυρο ένα εικονικό κανάλι, το οποίο προκύπτει κάνοντας μαθηματικές πράξεις μεταξύ των ενεργών καναλιών. Ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει “View” → “Add-ons” → “Calculated Channel” και στη

συνέχεια να ορίσει τη μαθηματική πράξη που επιθυμεί. Ακολουθεί παράδειγμα, όπου στο εικονικό κανάλι υπολογίζεται το σήμα που προκύπτει αν πολλαπλασιαστεί το σήμα του καναλιού 1 → #0 με το σήμα του καναλιού 2 → #1 (λογική αρίθμησης $n-1$). Μάλιστα, επειδή τα κανάλια 1 & 2 λάμβαναν ως σήμα το ίδιο ημίτονο, ουσιαστικά υπολογίζεται το τετράγωνο του ημιτόνου αυτού:

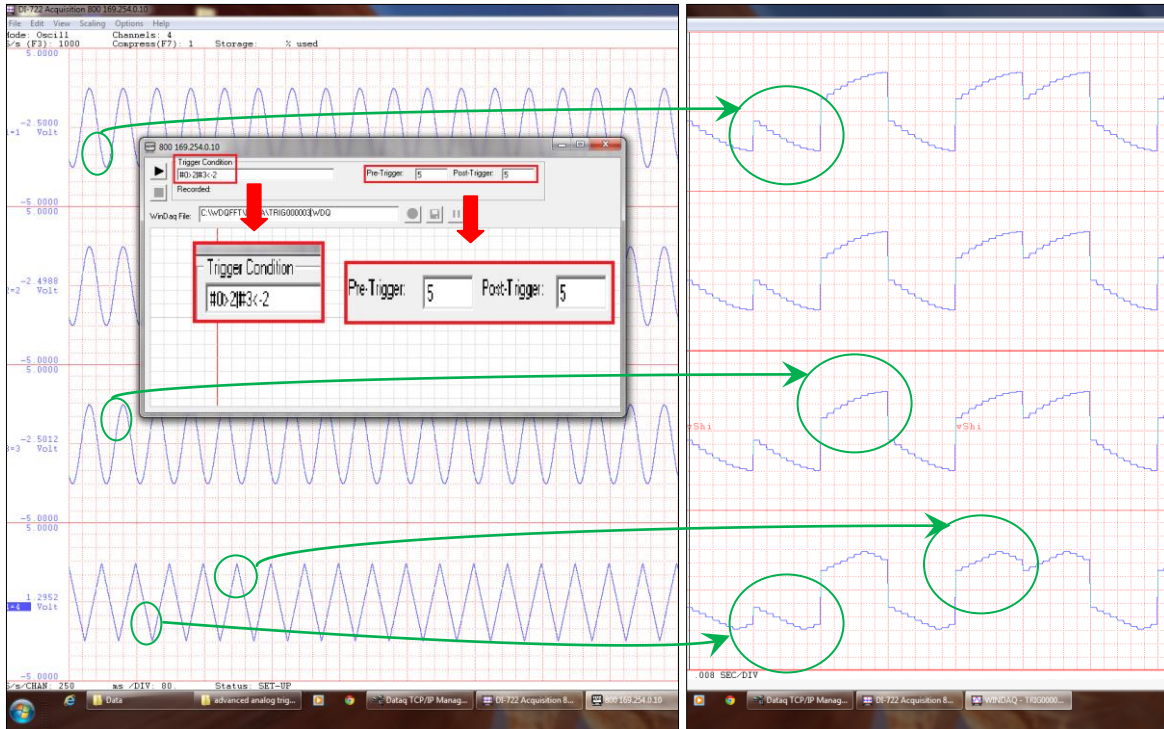


- **Calculated Channel Recorder (Ultimaserial):** το πρόσθετο αυτό ουσιαστικά αποτελεί την πιο εξελιγμένη εκδοχή του Calculated Channel και επιτρέπει τον υπολογισμό και την εγγραφή σε αρχείο WDQ έως 16 εικονικών καναλιών, τα οποία προκύπτουν από μαθηματικές πράξεις μεταξύ των ενεργών καναλιών. Για την ενεργοποίηση του θα πρέπει ο χρήστης να επιλέξει “View” → “Add-ons” → “Calculated Channel Recorder”. Σημειώνεται ότι το αρχείο WDQ στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η εγγραφή των εικονικών κυματομορφών δεν μπορεί να υπερβεί σε μέγεθος τα **4.194.302 kB (4GB)**.
- **Advanced Analog Triggered Recorder (Ultimaserial):** το πρόσθετο αυτό, όταν ενεργοποιηθεί, προβάλλει σε ξεχωριστό παράθυρο μια σύνθετη συνθήκη σκανδαλισμού, η οποία μπορεί να προκύψει κάνοντας μαθηματικές (+, -, /, *, ^ κλπ) ή λογικές πράξεις (&: AND, |: OR, <, >, ≤ κλπ) μεταξύ των ενεργών καναλιών. Στη συνέχεια, κάθε φορά που ικανοποιείται η συνθήκη αυτή, γίνεται εγγραφή όλων των ενεργών καναλιών σε αρχείο WDQ. Για την ενεργοποίηση του θα πρέπει ο χρήστης να επιλέξει “View” → “Add-ons” → “Advanced Analog Trigger” και στη συνέχεια να ορίσει τη συνθήκη σκανδαλισμού, τον αριθμό δειγμάτων πριν και μετά το σκανδαλισμό και να πατήσει το σύμβολο “>” για έναρξη.

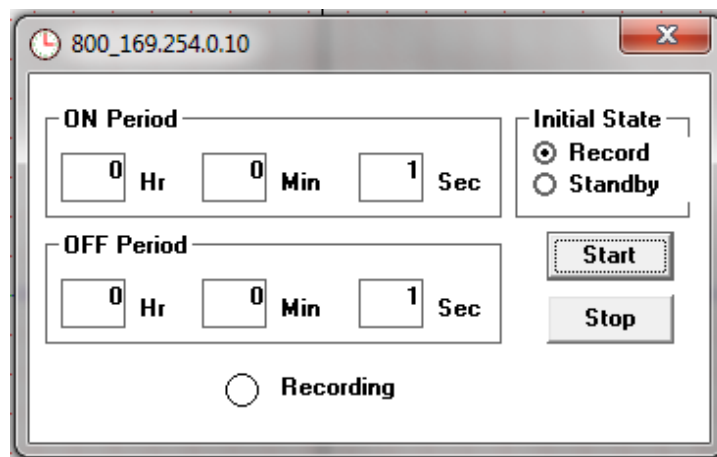


Έπειτα, επιλέγοντας το σύμβολο “•” ενεργοποιείται η εγγραφή των δεδομένων στο αρχείο που έχει ορισθεί στο πλαίσιο κειμένου “WinDaq File:”. Η ένδειξη “Recorded:” ενημερώνει το χρήστη για το πλήθος των φορών που έχει συμβεί εγγραφή, έπειτα από ικανοποίηση της συνθήκης σκανδαλισμού. Σημειώνεται ότι το αρχείο WDQ στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η εγγραφή δεν μπορεί να υπερβεί σε μέγεθος τα **4.194.302 kB (4GB)**. Ακολουθεί παράδειγμα όπου στα πρώτα τρία ενεργοποιημένα κανάλια δίνεται ως είσοδος ημίτονο συχνότητας 5 Hz και πλάτους 5 V_{p-p} , στο

τέταρτο κανάλι δίνεται ως είσοδος ράμπα συχνότητας 5 Hz και πλάτους 5 V_{p-p}, και η συνθήκη σκανδαλισμού που ορίστηκε είναι **#0>2|#3<-2**, με αριθμό δειγμάτων πριν και μετά το σκανδαλισμό ίσο με **5** (δηλαδή να καταγράφονται 5 δείγματα, πριν και μετά, από όλα τα ενεργά κανάλια, κάθε φορά που είτε το κανάλι 1 → #0 υπερβαίνει τα 2 V είτε το κανάλι 4 → #3 πέφτει κάτω από -2 V).



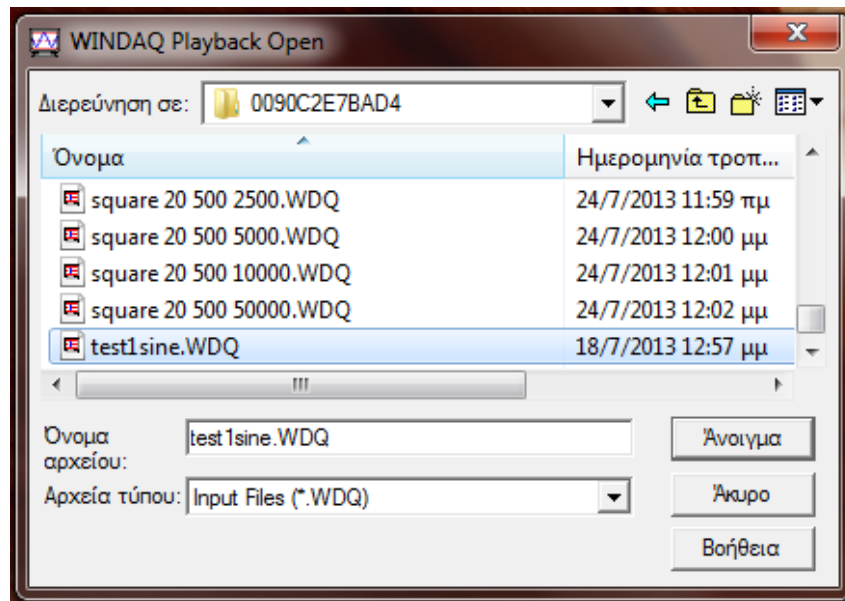
- Timer (DAQ):** το πρόσθετο αυτό, όταν ενεργοποιηθεί, προβάλλει σε ξεχωριστό παράθυρο ένα χρονόμετρο που καταγράφει για πόσο χρόνο η συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση εγγραφής και σε κατάσταση αναμονής αντίστοιχα ("**ON Period**" αντιστοιχεί σε "**Status: RECORD**" και "**OFF Period**" αντιστοιχεί σε "**Status: STBY**"). Ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει "**View**" → "**Add-ons**" → "**Timer**", στη συνέχεια να μαρκάρει την αρχική κατάσταση από την οποία θα ξεκινήσει η χρονομέτρηση ("**Record**" ή "**Standby**") και να πατήσει "**Start**":



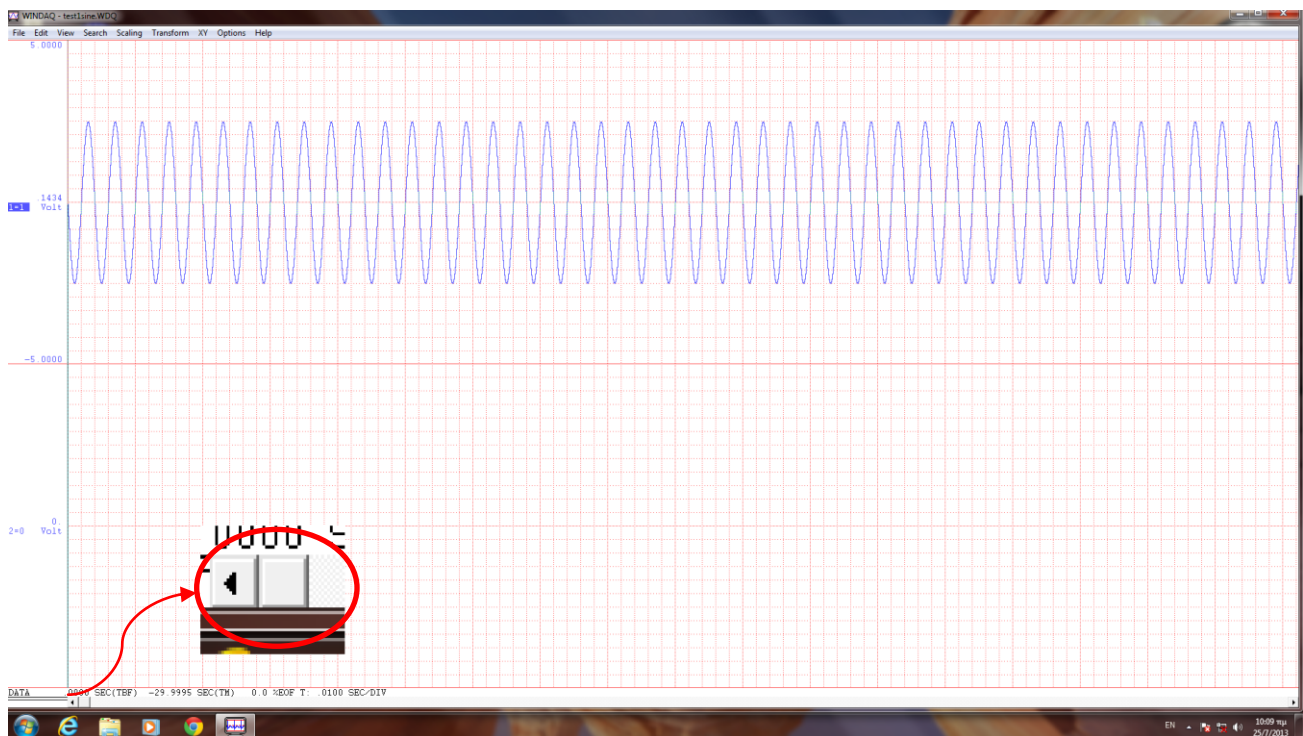
5.2. Το πρόγραμμα WinDag Waveform Browser (Playback and Analysis Software)

Με το δεύτερο πρόγραμμα του λογισμικού ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αναλύσει και να ερμηνεύσει τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί στο δίσκο από το πρόγραμμα συλλογής και καταγραφής, έχοντας στη διάθεση του διάφορα εργαλεία επεξεργασίας σήματος. Επιπλέον, το πρόγραμμα επεξεργασίας μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα (ενώ δηλαδή η συσκευή και το πρόγραμμα καταγραφής είναι κλειστά), αλλά και

παράλληλα με την απόκτηση δεδομένων, κάτι που επιτρέπει την ταυτόχρονη εγγραφή και ανάλυση των κυματομορφών. Το άνοιγμα του προγράμματος Waveform Browser γίνεται με δύο τρόπους: είτε από την τοποθεσία “Εναρξη” → “Προγράμματα” → “WINDAQ” → “Windaq Waveform Browser”, είτε μέσα από το βασικό παράθυρο του Windaq Acquisition επιλέγοντας “File” → “Browse”. Και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου “WINDAQ Playback Open”:



Αφού ο χρήστης βρει και επιλέξει το αρχείο που επιθυμεί να επεξεργαστεί, πατώντας “Άνοιγμα” μεταφέρεται στο βασικό παράθυρο επεξεργασίας δεδομένων, στο οποίο θα προβάλλονται οι κυματομορφές που έχουν εγγραφεί στο επιλεγθέν αρχείο.



Παρατηρήσεις:

- Πάνω αριστερά βρίσκεται το μενού (*File, Edit, View, Search, Scaling, Transform, XY, Options, Help*) και ακολουθεί η λίστα των καναλιών και οι αποθηκευμένες κυματομορφές.
- Κάτω αριστερά υπάρχουν διάφορες ενδείξεις που σχετίζονται με το χρόνο καταγραφής και με τον τύπο των δεδομένων.
- Κάτω από τις ενδείξεις υπάρχει μία μπάρα περιήγησης που καλύπτει όλο το πλάτος του παραθύρου και βοηθά το χρήστη να κινηθεί προς τα εμπρός ή προς τα πίσω στο χρόνο ώστε να έχει πρόσβαση σε όλες τις μετρήσεις που έχουν αποθηκευτεί.

5.2.1. Περιήγηση στο αρχείο δεδομένων

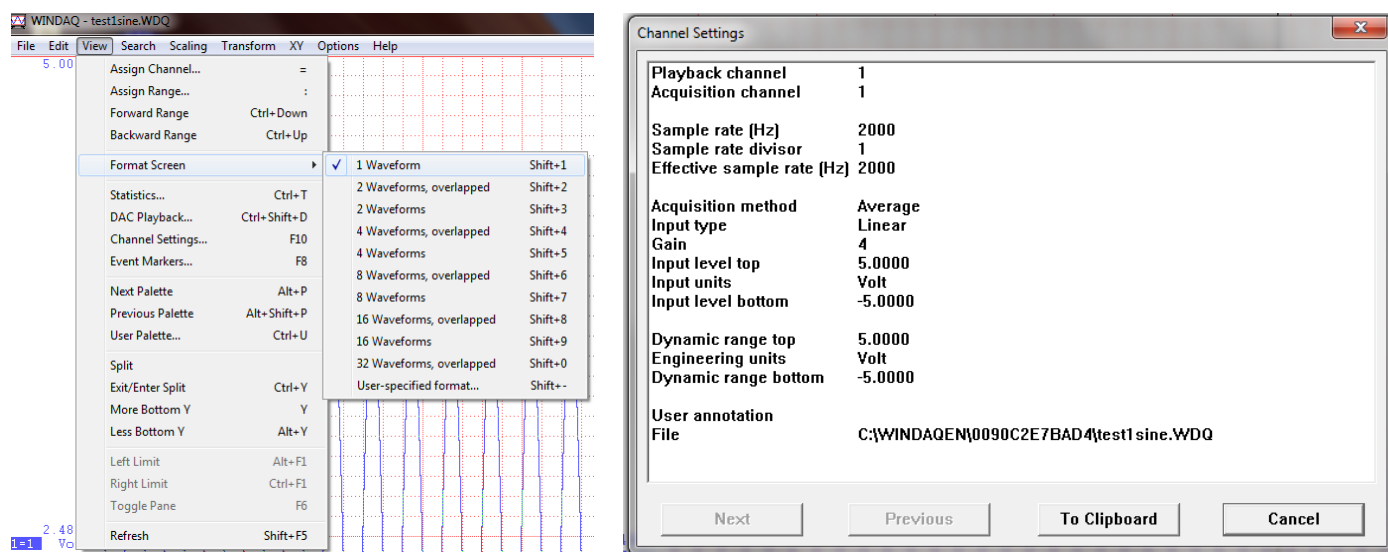
Χρησιμοποιώντας την οριζόντια μπάρα περιήγησης και πατώντας σταθερά πάνω με το δείκτη του ποντικιού, είναι δυνατή η μετακίνηση σε οποιοδήποτε σημείο μέσα στο αρχείο είτε προς τα δεξιά είτε προς τα αριστερά. Πατώντας πάνω στα βέλη κύλισης γίνεται αυτόματη μετακίνηση κατά 16 pixels προς την αντίστοιχη κατεύθυνση. Πατώντας στον κενό χώρο δεξιά ή αριστερά από τη μπάρα, εκείνη θα μετακινηθεί αυτόματα κατά πλάτος μίας οθόνης προς την κατεύθυνση που υπέδειξε ο χρήστης. Επιπλέον, πατώντας στον κενό χώρο και κρατώντας το δείκτη πατημένο, η μπάρα κυλίζει με ταχύ ρυθμό μέχρι να φτάσει στο σημείο που βρίσκεται ο δείκτης του ποντικιού.

Για την τοποθέτηση του κέρσορα απευθείας σε συγκεκριμένο σημείο του αρχείου, ο χρήστης θα πρέπει να πατήσει μία φορά με το δείκτη τη γραμμή επάνω από την μπάρα περιήγησης, στο σημείο που επιθυμεί. Η τιμή της μέτρησης που βρίσκεται στην τομή του κέρσορα με την κυματομορφή απεικονίζεται στη λίστα των καναλιών, ακριβώς δίπλα από τον αύξοντα αριθμό του καναλιού.

5.2.2. Προβολή και ρυθμίσεις καναλιών

Όπως και στο πρόγραμμα συλλογής και καταγραφής δεδομένων, έτσι και εδώ η οθόνη μπορεί να ρυθμιστεί σε διάφορους τύπους προβολών, ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη, από την επιλογή “View” → “Format Screen”.

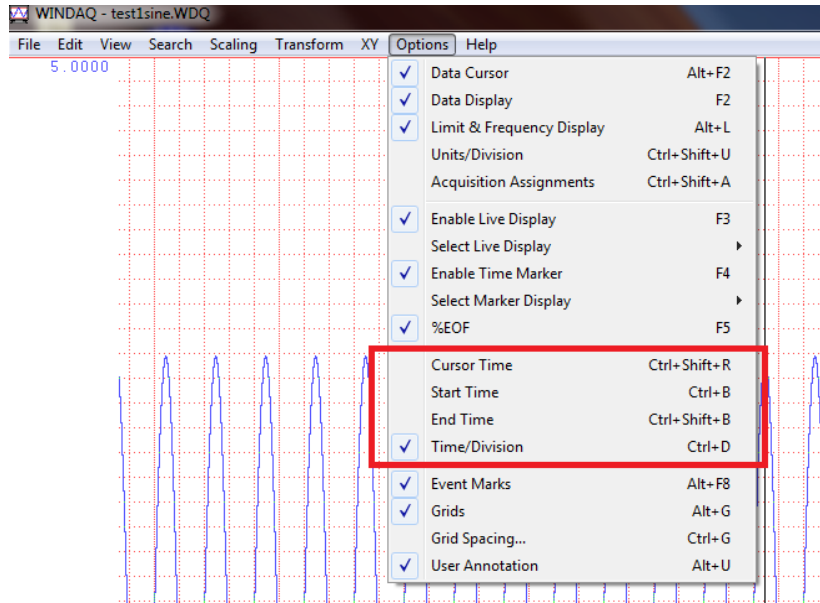
Επιπλέον, μαρκάροντας το κανάλι που επιθυμεί (βλ. §5.1.4) και επιλέγοντας “View” → “Channel Settings”, ο χρήστης μπορεί να εμποτεύσει τις ρυθμίσεις που ίσχυαν κατά τη διάρκεια της εγγραφής (αριθμός καναλιού, ρυθμός δειγματοληψίας, μέθοδος απόκτησης δεδομένων, βαθμός ενίσχυσης, εύρος μέτρησης, μονάδες μέτρησης, όνομα αρχείου). Πατώντας το κουμπί “To Clipboard” είναι δυνατή η αντιγραφή αυτών των στοιχείων στο clipboard των Windows, για τη μετέπειτα εισαγωγή τους με επικόλληση σε οποιοδήποτε αρχείο κειμένου.



5.2.3. Προβολή ώρας και ημερομηνίας

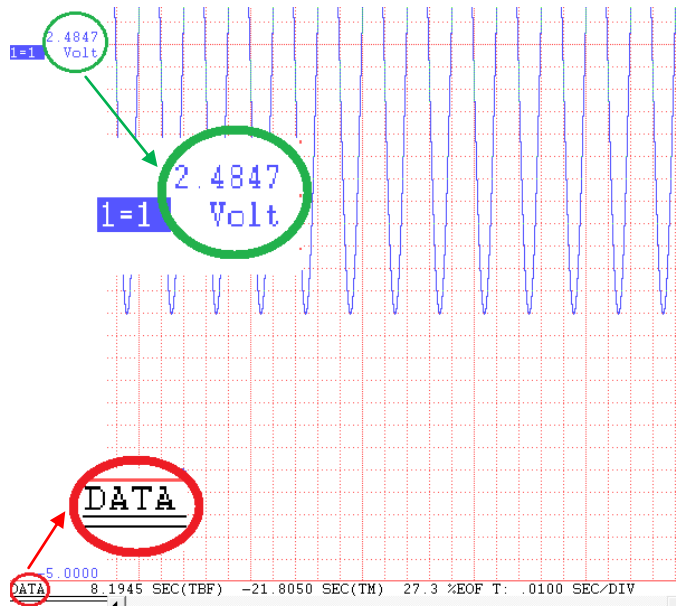
Επιλέγοντας από το μενού την καρτέλα “Options” προκύπτουν διάφορες επιλογές σχετικά με τις ενδείξεις ώρας και ημερομηνίας που προβάλλονται στο κάτω αριστερά τμήμα του βασικού παράθυρου:

- Τσεκάροντας την επιλογή “Start time” το πρόγραμμα θα προβάλλει την ώρα και την ημερομηνία κατά τις οποίες το αρχείο ανοίχθηκε για εγγραφή, οι οποίες θα συνοδεύονται από το γράμμα “S”.
- Τσεκάροντας την επιλογή “End time” το πρόγραμμα θα προβάλλει την ώρα και την ημερομηνία κατά τις οποίες ολοκληρώθηκε η εγγραφή στο αρχείο, οι οποίες θα συνοδεύονται από το γράμμα “E”.
- Τσεκάροντας την επιλογή “Cursor time” το πρόγραμμα θα προβάλλει την ώρα και την ημερομηνία της τρέχουσας θέσης του κέρσορα και θα προηγείται το γράμμα “C”.
- Τσεκάροντας την επιλογή “Time/Division” το πρόγραμμα θα προβάλλει το χρόνο ανά κουτάκι πλέγματος οθόνης και θα προηγείται το γράμμα “T”.



5.2.4. Πραγματοποιώντας μετρήσεις με τον κέρσορα

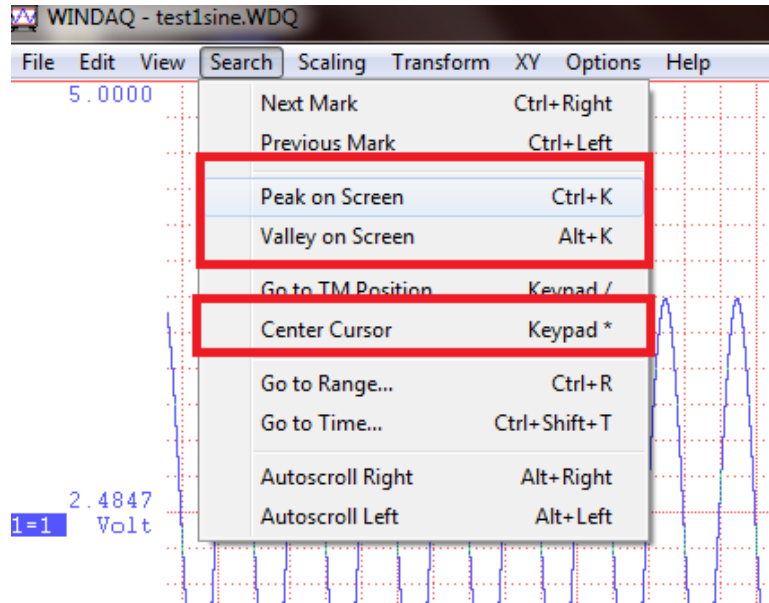
Ο χρήστης μαρκάρει το κανάλι στο οποίο θέλει να κάνει μετρήσεις και μετακινεί τον κέρσορα στο σημείο που επιθυμεί να λάβει μέτρηση. Η επιλογή **“Options”** → **“Data Cursor”** θα πρέπει να είναι τσεκαρισμένη (η ένδειξη στο κάτω αριστερά μέρος της οθόνης θα πρέπει να είναι **“DATA”**). Η τιμή του σημείου που βρίσκεται στην τομή του κέρσορα με την κυματομορφή απεικονίζεται ακριβώς δίπλα από τον αύξοντα αριθμό του καναλιού.



Εναλλακτικά, εάν η επιλογή **“Options”** → **“Data Cursor”** δεν είναι τσεκαρισμένη (η ένδειξη στο κάτω αριστερά μέρος της οθόνης, επομένως, θα είναι **“BASE”**) ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει μέτρηση μετακινώντας τη γραμμή βάσης του καναλιού προς τα πάνω ή προς τα κάτω στο ύψος που επιθυμεί, χρησιμοποιώντας από το πληκτρολόγιο τα κουμπιά **“Page Up”** και **“Page Down”**.

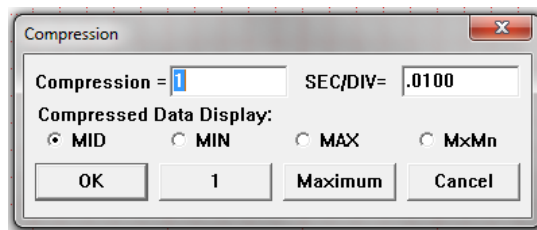
Επιλέγοντας από το μενού την καρτέλα **“Search”** είναι δυνατή:

- η μετακίνηση του κέρσορα στην υψηλότερη μέτρηση από όσες προβάλλονται επί της οθόνης με την επιλογή **“Peak on Screen”**.
- η μετακίνηση του κέρσορα στη χαμηλότερη μέτρηση από όσες προβάλλονται επί της οθόνης με την επιλογή **“Valley on Screen”**.
- η μετακίνηση του κέρσορα στο κέντρο της οθόνης με την επιλογή **“Center Cursor”**.

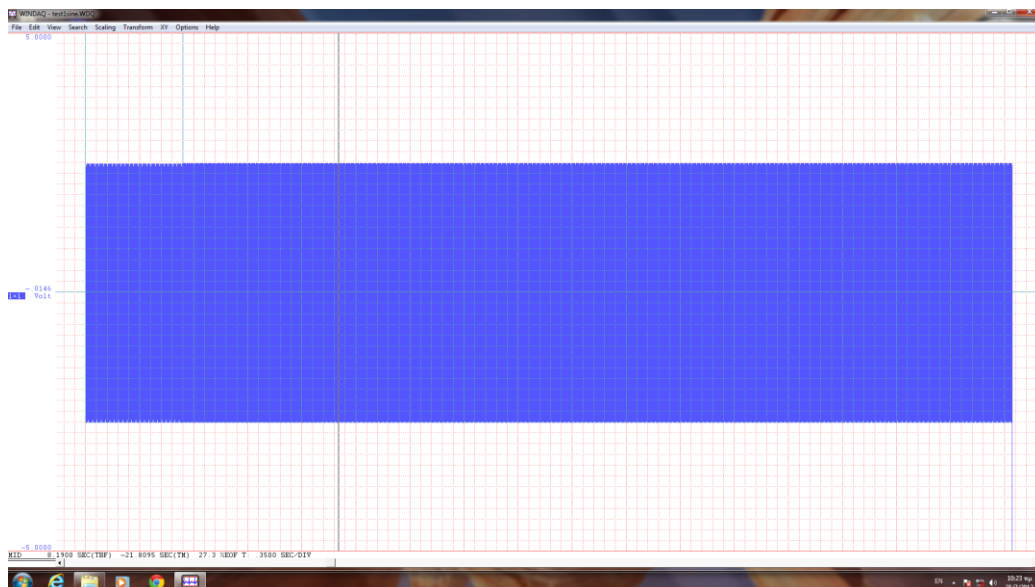


5.2.5. Παρακολούθηση ενός τμήματος ή του συνόλου των δεδομένων στο αρχείο

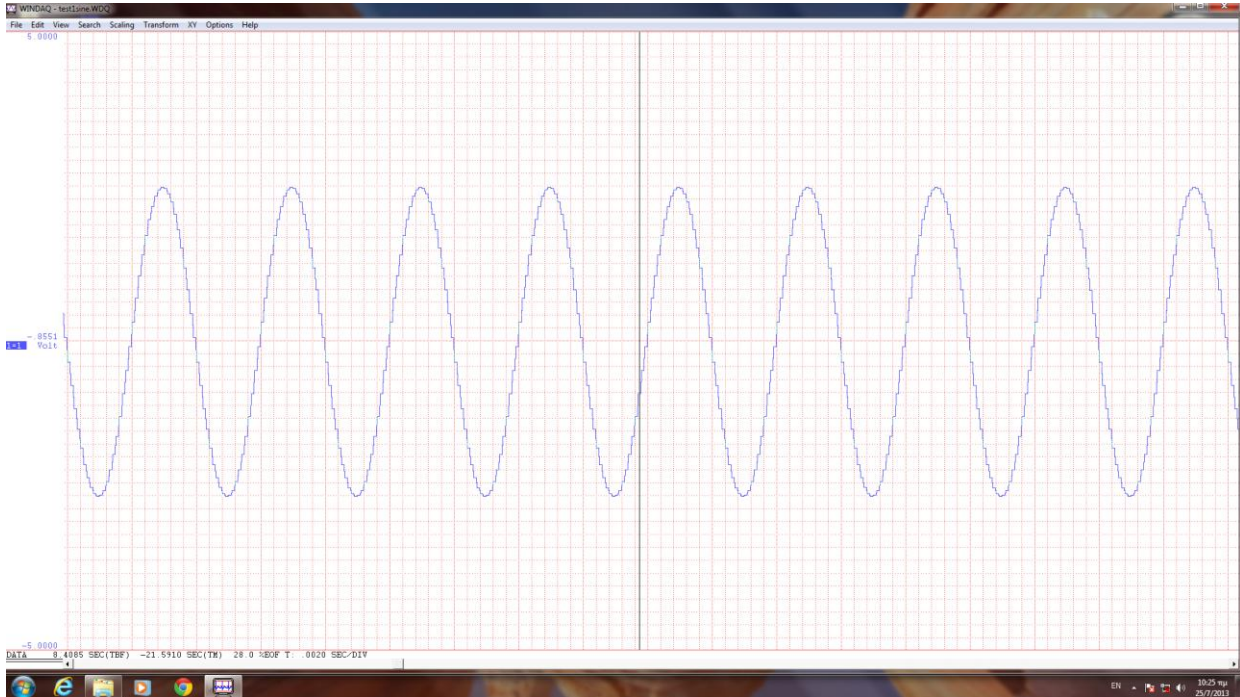
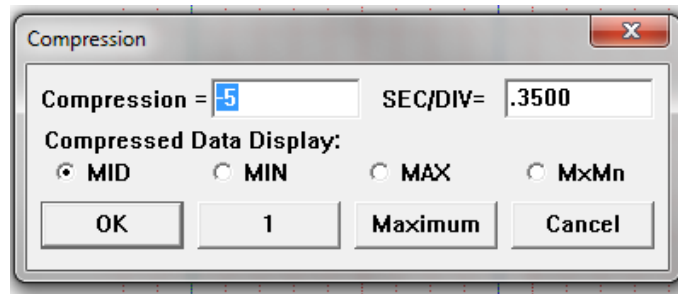
Το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη να συμπιέσει ή να επεκτείνει τον άξονα του χρόνου, έτσι ώστε να προβάλει όλο το αρχείο ή μέρος αυτού σε πλάτος μίας οθόνης. Επιλέγοντας "Edit" → "Compression..." ανοίγει το παράθυρο διαλόγου "Compression":



Για να συμπιεστεί ολόκληρο το αρχείο σε πλάτος μίας οθόνης θα πρέπει να επιλεγθεί το κουμπί "Maximum". Η αναίρεση αυτής της λειτουργίας, για επιστροφή του αρχείου στην αρχική του κατάσταση, γίνεται πατώντας το κουμπί "1" ή πληκτρολογώντας "1" στο πλαίσιο κειμένου "Compression =".



Γενικά, για να επιτευχθεί συμπίεση του αρχείου θα πρέπει να εισαχθεί στο πλαίσιο κειμένου "Compression =" ένας αριθμός μεγαλύτερος του "1" και μικρότερος του αριθμού που προκύπτει εάν εφαρμοστεί η μέγιστη συμπίεση. Για να επιτευχθεί επέκταση του αρχείου, θα πρέπει να εισαχθεί ένας αρνητικός αριθμός μεταξύ "-10" και "-1".



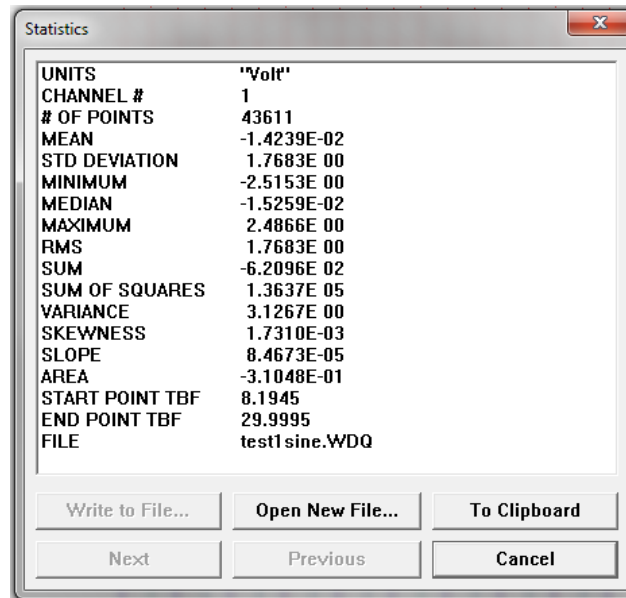
Οι επιλογές **“MID”**, **“MIN”**, **“MAX”** και **“MxMn”** σχετίζονται με τη μέθοδο που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για να συλλέξει x δείγματα του κανονικού αρχείου και να προβάλλει μία αντιπροσωπευτική τιμή αυτών στην συμπιεσμένη/επεκταμένη μορφή (από προεπιλογή **“MID”**). Στα Help files του προγράμματος υπάρχει αναλυτική περιγραφή για κάθε μέθοδο, ώστε να επιλεγθεί η καταλληλότερη για την εκάστοτε εφαρμογή.

5.2.6. Πραγματοποιώντας στατιστικές μετρήσεις

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εξαγάγει και να αποθηκεύσει στατιστικά στοιχεία σε μορφή κειμένου από ένα καθορισμένο τμήμα οποιασδήποτε κυματομορφής ενός καναλιού ή για όλες τις κυματομορφές ενός αρχείου. Για να επιτευχθεί η εξαγωγή στατιστικών στοιχείων για μία συγκεκριμένη κυματομορφή, θα πρέπει να μαρκαριστεί το αντίστοιχο κανάλι. Εάν δεν επιλεγθεί κάποιο κανάλι, δίνεται αργότερα η δυνατότητα να αποθηκευθούν οι στατιστικές μετρήσεις για όλα τα κανάλια σε ένα αρχείο κειμένου ή υπολογιστικό φύλλο.

Ο κέρσορας θα πρέπει να τοποθετηθεί στην αρχή της επιθυμητής περιοχής. Πατώντας **“F4”** ή επιλέγοντας **“Options”** → **“Enable Time Marker”** ενεργοποιείται ο δείκτης χρόνου. Η επιλογή αυτή θα μαρκαριστεί στο μενού και στο κάτω αριστερά τμήμα του κεντρικού παράθυρου επεξεργασίας η ένδειξη **“off SEC (TM)”** θα αλλάξει σε **“.00 SEC (TM)”**.

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει τοποθέτηση του κέρσορα στο τέλος της επιθυμητής περιοχής και επιλογή **“View”** → **“Statistics”**. Εάν δεν έχει επιλεγθεί κάποιο κανάλι, θα ανοίξει το παράθυρο διαλόγου **“Open Statistics File”**, δίνοντας στο χρήστη τη δυνατότητα να αποθηκεύσει τις στατιστικές μετρήσεις για όλα τα κανάλια σε ένα αρχείο κειμένου ή υπολογιστικό φύλλο. Εάν έχει μαρκαριστεί κάποιο κανάλι, θα ανοίξει το παράθυρο **“Statistics”**, το οποίο πληροφορεί το χρήστη για τις μονάδες μέτρησης του επιλεγμένου καναλιού, τον αριθμό των σημείων εντός της επιθυμητής περιοχής από τα οποία προκύπτουν οι υπολογισμοί, το αρχικό και το τελικό σημείο, το όνομα του αρχείου και υπολογίζει περισσότερα από 10 στατιστικά μεγέθη:

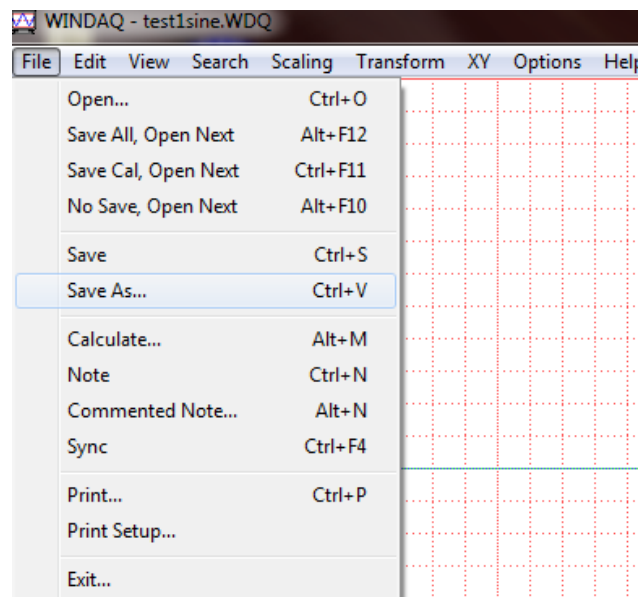


Χρησιμοποιώντας τα κουμπιά “**Next**” και “**Previous**” είναι δυνατή η προβολή των αντίστοιχων στατιστικών μεγεθών για τα υπόλοιπα κανάλια του αρχείου. Η στατιστική δουλεύει σε οποιοδήποτε επίπεδο συμπύεσης του αρχείου. Πατώντας το κουμπί “**To Clipboard**” ο χρήστης υπαγορεύει την αντιγραφή αυτών των στοιχείων στο clipboard των Windows, για τη μετέπειτα εισαγωγή τους με επικόλληση σε οποιοδήποτε αρχείο κειμένου επιθυμεί. Η επιλογή “**Open New File...**” αποθηκεύει τα στοιχεία σε ένα νέο αρχείο, ενώ με την επιλογή “**Write to File...**” τα στοιχεία επισυνάπτονται σε ήδη υπάρχον αρχείο. Εάν έχει μαρκαριστεί ένα συγκεκριμένο κανάλι, η αποθήκευση αφορά μόνο τις στατιστικές μετρήσεις του συγκεκριμένου καναλιού, ενώ σε αντίθετη περίπτωση αποθηκεύονται οι μετρήσεις όλων των καναλιών του αρχείου.

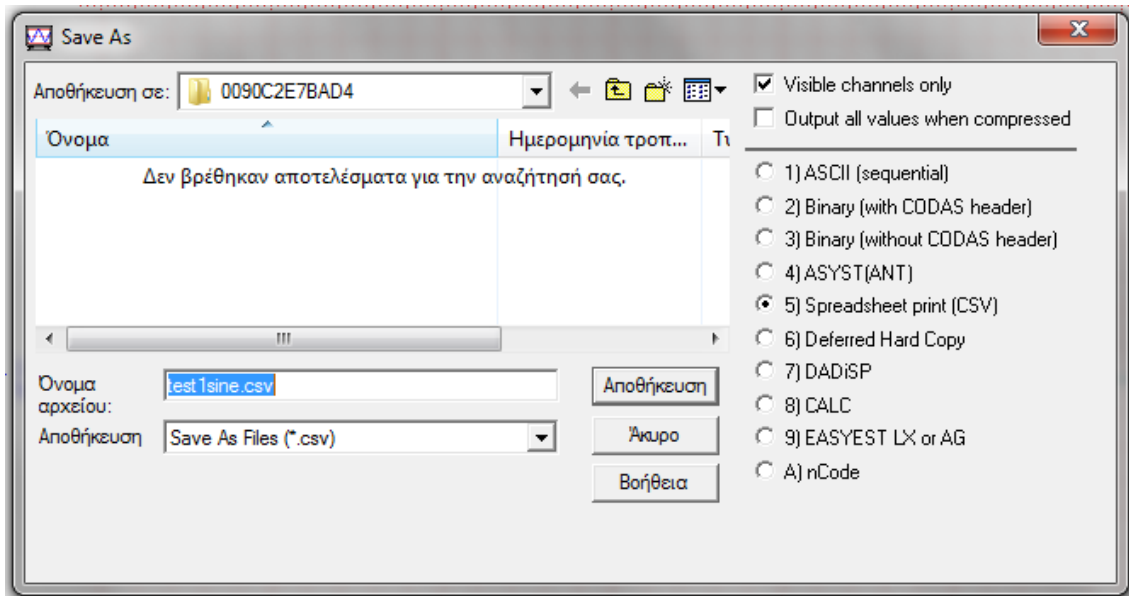
Προσοχή: εάν η αποθήκευση γίνεται σε υπολογιστικό φύλλο, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το κόμμα ως διαχωριστικό των δεδομένων (comma delimiters).

5.2.7. Εξαγωγή δεδομένων στο Excel

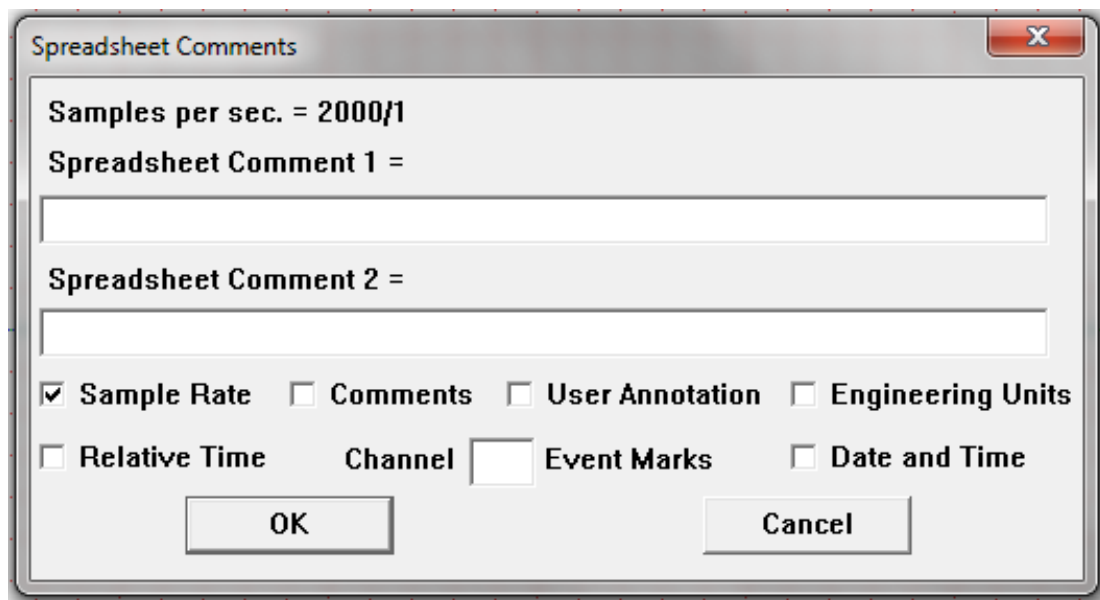
Το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη να εξάγει τα δεδομένα που προέκυψαν από τη συλλογή και αποθήκευση σε αρχεία τύπου Excel, για να έχει πρόσβαση σε περισσότερες γραφικές ιδιότητες και δυνατότητες επεξεργασίας. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει αρχικά να επιλεγθεί η επιθυμητή περιοχή με την ίδια διαδικασία όπως στην §5.2.6, έχοντας υπόψιν ότι θα εξαχθούν τα δεδομένα εντός της περιοχής από όλα τα κανάλια του αρχείου. Στη συνέχεια, επιλογή από το μενού “**File**” → “**Save As...**”:



Στο παράθυρο διαλόγου “**Save As**” που εμφανίζεται, ο χρήστης πρέπει να ακολουθήσει τα παρακάτω βήματα:

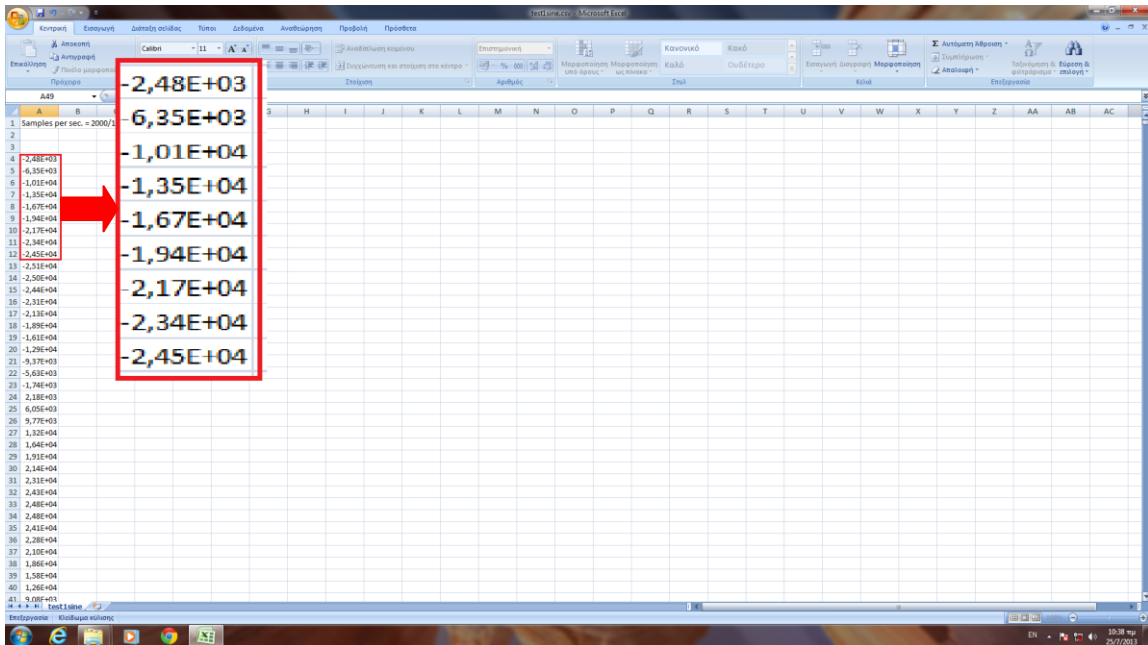


- Επιλογή από τη λίστα στα δεξιά της κουκκίδας “**5) Spreadsheet print (CSV)**” ως επιθυμητό τύπο του αρχείου αποθήκευσης. Εκτενής περιγραφή των υπόλοιπων τύπων αρχείων υπάρχει στα Help files του προγράμματος.
- Εισαγωγή ενός ονόματος αρχείου στο πλαίσιο κειμένου “**Όνομα αρχείου:**”. Να συμπεριληφθεί η επέκταση .csv στο όνομα.
- Επιλογή πάνω δεξιά “**Visible channels only**” για να εξαχθούν μόνο τα δεδομένα από τα κανάλια που προβάλλονται επί της οθόνης. Σε αντίθετη περίπτωση, θα εξαχθούν τα δεδομένα εντός της επιλεγμένης περιοχής από όλα τα κανάλια του αρχείου. Για να εξαχθούν δεδομένα από συγκεκριμένα κανάλια μόνο, πρέπει να γίνει χρήση της ιδιότητας “**Extract Channels**”, όπως αυτή περιγράφεται στα αντίστοιχα Help files του προγράμματος.
- Επιλογή του κουμπιού “**Αποθήκευση**”. Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου “**Spreadsheet Comments**”:



Τσεκάροντας τα κατάλληλα κουτάκια, θα μεταφερθούν στο αρχείο csv ο ρυθμός δειγματοληψίας, τα σχόλια, ο σχολιασμός χρήστη, οι μονάδες μετατροπής, ο σχετικός χρόνος, η ώρα, η ημερομηνία ή/και οι δείκτες γεγονότων, όπως αυτά έχουν αποθηκευτεί κατά την εγγραφή στο αρχείο του Waveform Browser. Επιπλέον, μπορούν να προστεθούν νέα σχόλια στα πλαίσια κειμένου “**Spreadsheet Comment 1&2**”. Πατώντας “**OK**” δημιουργείται το αρχείο csv.

Αφού βρεθεί στην τοποθεσία που είχε επιλεγεί για να πραγματοποιηθεί η αποθήκευση του, το αρχείο ανοίγει μέσω του Excel με διπλό κλικ. Μετατρέποντας το περιεχόμενο των κελιών από την “**Επιστημονική**” σε οποιαδήποτε κατηγορία τον εξυπηρετεί, ο χρήστης μπορεί να εργαστεί όπως σε ένα κανονικό αρχείο xls.



Να σημειωθεί ότι υπάρχουν και κάποια add-ons που επιτρέπουν την εξαγωγή δεδομένων στο Excel. Η DATAQ προσφέρει το WinDaq/XL (http://www.dataq.com/support/add_ons/index.htm), ενώ η Ultimaserial μια πληθώρα εργαλείων τα οποία ανήκουν στην κατηγορία “Spreadsheet Data Entry” και μπορούν να βρεθούν στην ιστοσελίδα της εταιρίας (<http://www.ultimaserial.com/wdspectrum.html>). Αναλυτικά, πρόκειται για τα: *Advanced Analog Trigger with Excel Link, Manual Note Taker with Excel Link, Event Controlled Note Taker with Excel Link, Paced Note Taker with Excel Link, Snap-shot Excel Link, OpenOfficeCalc Link*. Επιπλέον, η DATAQ προσφέρει δωρεάν λογισμικό σε Visual Basic για την απευθείας σύνδεση του WinDaq με τις βάσεις δεδομένων MySQL και MS SQL. Έτσι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει πάνω από 30.000 φορές περισσότερα δεδομένα σε σχέση με τα υπολογιστικά φύλλα του Excel (<http://www.dataq.com/products/software/mysql/windaqmysql.htm>).

5.2.8. Πρόσθετες λειτουργίες

Το πρόγραμμα διαθέτει πληθώρα πρόσθετων και πιο εξελιγμένων λειτουργιών για προχωρημένους χρήστες (**X-Y plotting, FFT and DFT utilities, Event Markers** κλπ). Αναλυτική περιγραφή όλων των λειτουργιών και των συσκευών που τις υποστηρίζουν υπάρχει στα Help files του προγράμματος. Για στοχευμένη πρόσβαση, συνιστάται η επιλογή από το μενού της επιθυμητής ιδιότητας και πάτημα “F1”. Ενδεικτικά παρατίθεται ένας μετασχηματισμός Fourier όπου είναι εμφανής η θεμελιώδης συχνότητα στα 50.07 Hz. Η προβολή του μετασχηματισμού Fourier μίας κυματομορφής γίνεται επιλέγοντας “Transform” → “DFT” (για συγκεκριμένο κομμάτι ενός σήματος) ή “Transform” → “Windowed FFT” (για περιοδικά σήματα). Περισσότερες πληροφορίες για τη συγκεκριμένη λειτουργία υπάρχουν στο κεφάλαιο “Fourier Transform Operations” στα Help files του προγράμματος.



6. Τα λογισμικά ActiveX Controls και XControls Software

• Η βιβλιοθήκη των ActiveX Controls εγκαθίσταται μαζί με το λογισμικό WinDag και είναι προσβάσιμη μέσα από οποιαδήποτε εφαρμογή την υποστηρίζει (ενδεικτικά: *Visual BASIC, Visual C++, National Instruments LabVIEW, CEC TestPoint, Borland C++ Builder, Matlab, Excel* και πολλά άλλα). Επιτρέπει στους προγραμματιστές τη χρήση κώδικα για τη σύνδεση του λογισμικού της συσκευής με άλλα προγραμματιστικά περιβάλλοντα και την κατασκευή περισσότερο εξελιγμένων εφαρμογών.

Περισσότερες πληροφορίες παρατίθενται στην ιστοσελίδα της εταιρίας:
<http://www.dataq.com/products/software/activex.htm>

• Το λογισμικό XControls προέκυψε από τη συνεργασία των DATAQ Instruments και Iocomp Software και πρόκειται για μία συλλογή εργαλείων που δίνει τη δυνατότητα σε προγραμματιστές και μη να κατασκευάσουν εντυπωσιακές γραφικές διεπαφές (*graphical user interfaces – GUIs*) για τις εφαρμογές τους στη συλλογή δεδομένων. Αγοράζεται και εγκαθίσταται ξεχωριστά από το λογισμικό WinDag.

Περισσότερες πληροφορίες παρατίθενται στην ιστοσελίδα της εταιρίας:
<http://www.dataq.com/products/software/xcontrols.htm>

7. Βιβλιογραφία

- 1) DI-720 Series, DI-722 Series, DI-730 Series, DI-725/E, DI-78B, DI-75B User's Manual, Manual Revision AN, DATAQ Instruments, Copyright © 2012
- 2) WinDag Acquisition Waveform Recording Software, WinDag Waveform Browser Playback and Analysis Software, ActiveX Controls and XControls Software Modules User's Manual, Manual Revision K, DATAQ Instruments, Copyright © 2012

Clamps Transit Resistance Testing

Power Supply Scheme:

- ✓ 630kVA 20kV/0.4kV Power Transformer
- ✓ 20kV, 400A 3ph power inductors
- ✓ 1060A maximum continuous supply capability

Testing facility



1000A Current Supply



Clamp Testing





Public Power Corporation S.A.



TALOS
High Voltage
Test Station

"ΤΑΛΩΝ" (TALON) silver didrachm - Phaistos, Crete

Talos or Talon is a highly recognizable figure in Greek mythology. Connected to Zeus in various ways and arguably created by Hephaestus, Talos was a man of bronze, guarding the island of Crete from intruders coming from the sea.

TALOS Test Station: a research and testing center, aiming to aid network protection - reliability and the battle against insulators' pollution.

Contact

Postal Address:
Public Power Corporation S.A.
Kastorias Str, Katsambas
GR-71110,
Heraklion, Crete, Greece
P.O. Box: 1168
tel: 0030-2810245860
fax: 0030-2810229762
email: TALOS_HVTS@yahoo.com



TALOS High Voltage Test Station



High Voltage Performance & Endurance Tests



Public Power Corporation S.A.
Islands Network Operations
Department

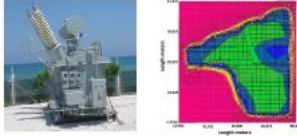
TALOS High Voltage Test Station

Scope:

- ✓ Testing of high voltage insulators in the field: *20kV and 150kV voltage levels*
- ✓ Simulation of the flashover stress on high voltage insulators under salt spray pollution conditions, *20kV and 150kV voltage levels*
- ✓ Clamps (connectors) testing: *1000A testing capability*

Power Supply Scheme:

- ✓ Dedicated 20kV Transmission line
- ✓ 12.5MVA 15-20kV/150kV Power Transformer
- ✓ 150kV and 20kV Circuit Breakers with auto reclosing feature
- ✓ 150kV Substation grounding system




Testing Bays:

- ✓ 20kV testing bay for post and suspension insulators
- ✓ 150kV testing bay for post insulators
- ✓ 150kV testing bay for suspension insulators
- ✓ 1000A contacts testing facility

Insulator Testing


20kV distribution insulators:

- ✓ Post and suspension insulators




150kV transmission insulators:

- ✓ Post insulators




150kV transmission insulators:

- ✓ Suspension insulators



Environmental measurements:

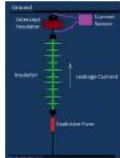
- ✓ Equivalent Salt Deposit Density
- ✓ Non Soluble Deposit Density
- ✓ UV radiation
- ✓ Humidity
- ✓ Temperature
- ✓ Wind speed & direction
- ✓ Precipitation



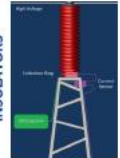
Leakage current (LC) measurements

- ✓ Long term LC monitoring of multiple specimens
- ✓ Synchronized meteorological and voltage measurements
- ✓ Monitoring statistical parameters (min, max values, RMS, surface charge, etc)
- ✓ Monitoring leakage current waveforms

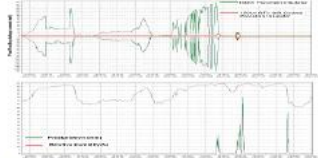
POST INSULATORS



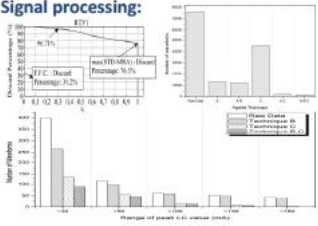
SUSPENSION INSULATORS



Correlation to meteorological parameters:

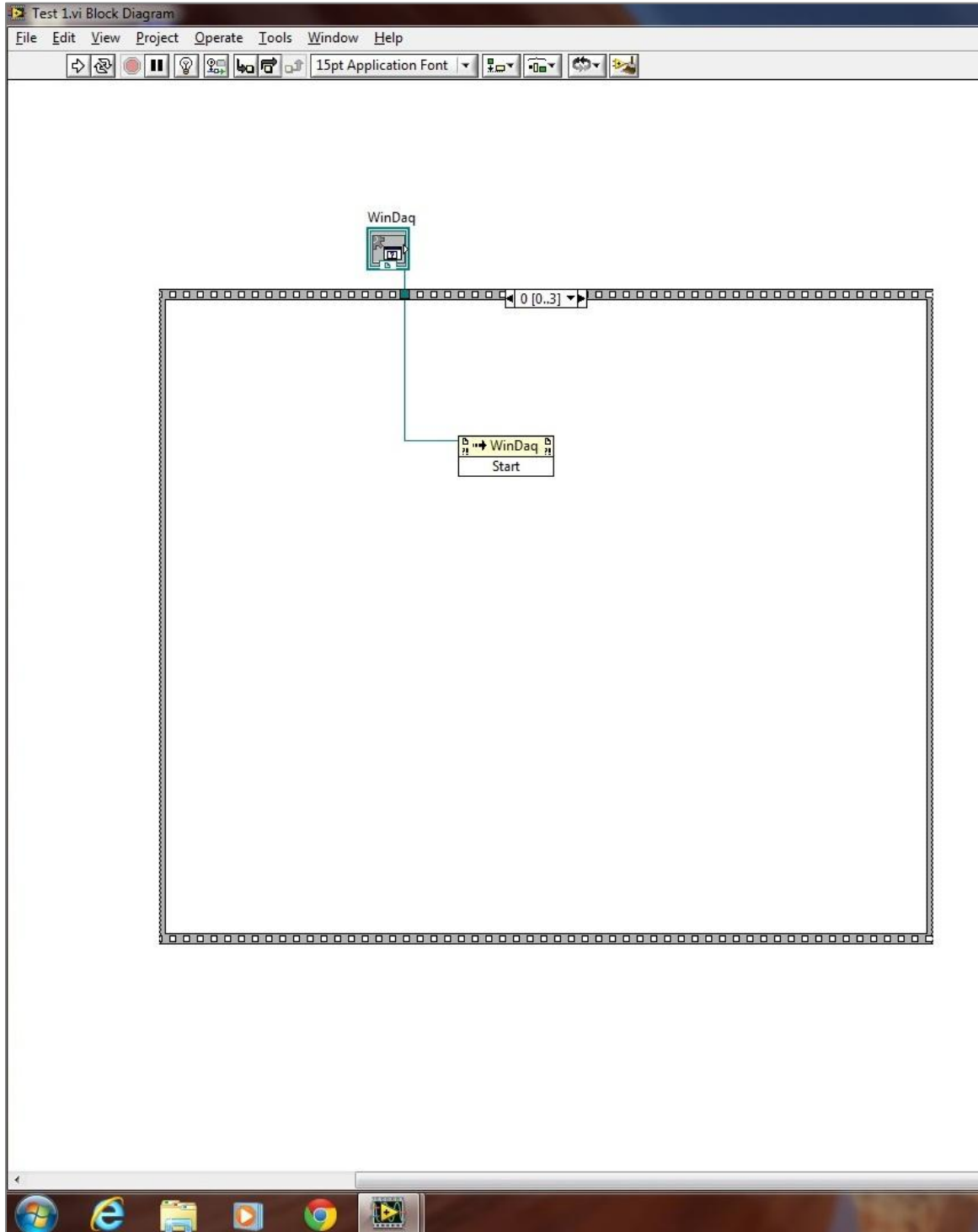


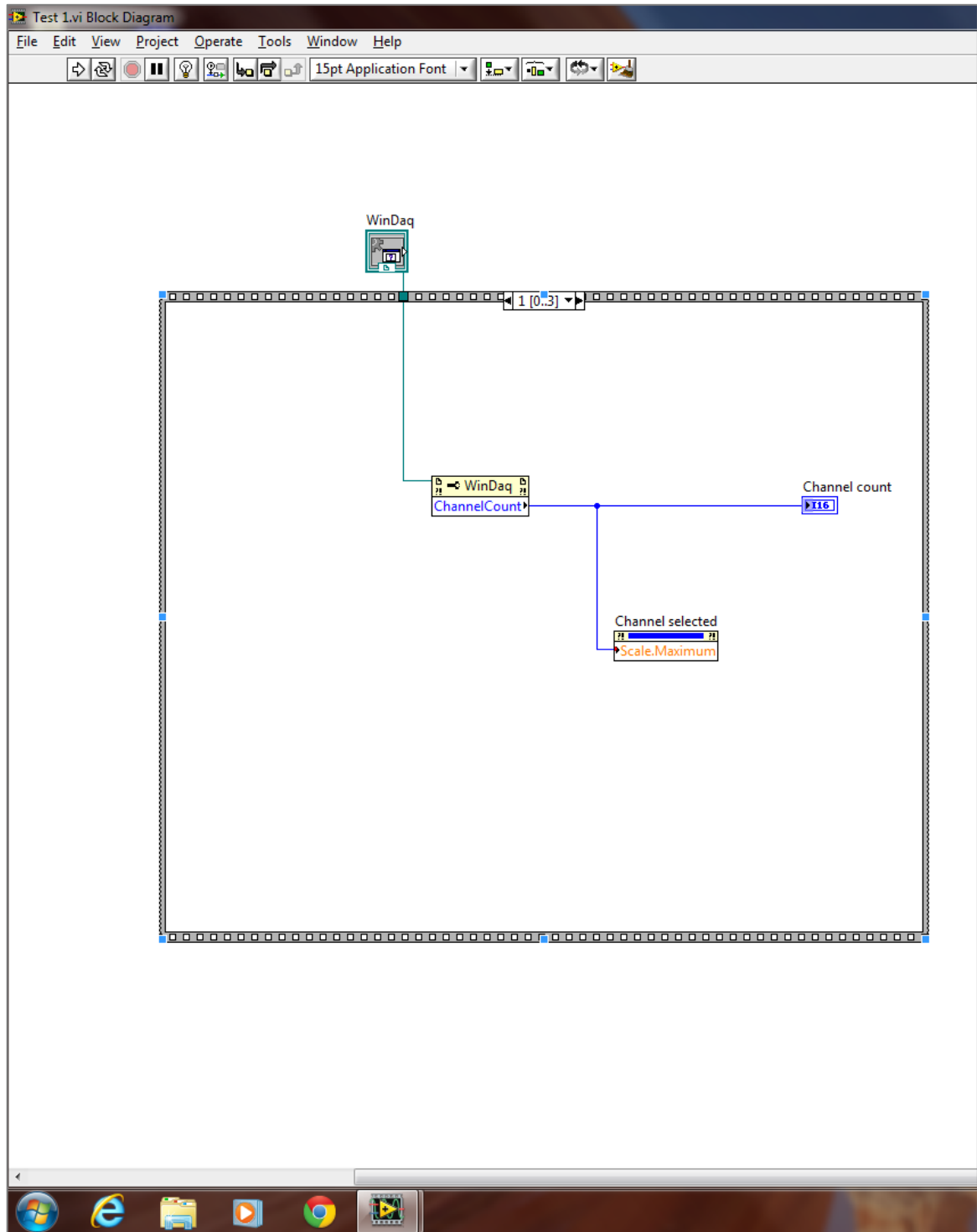
Signal processing:

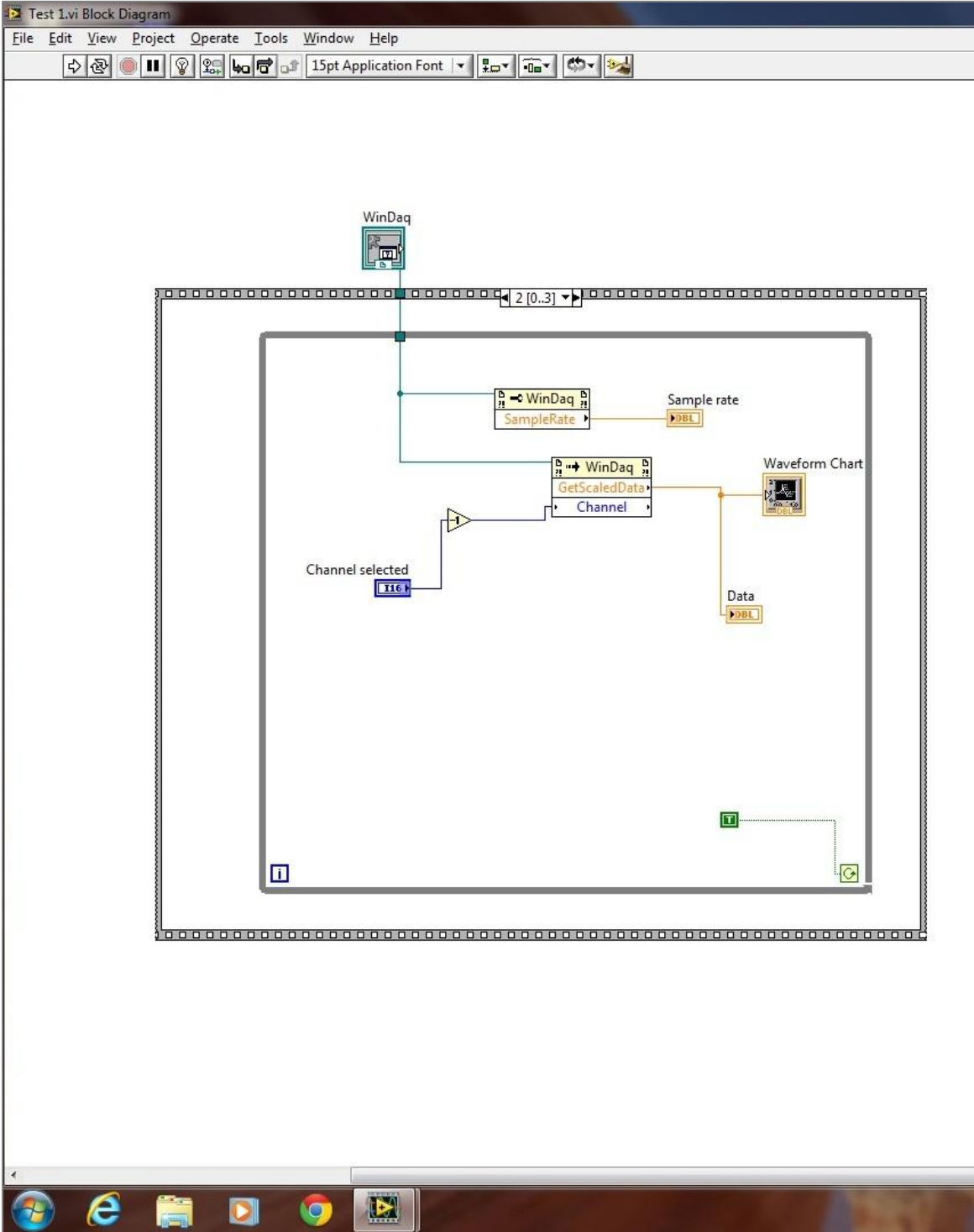


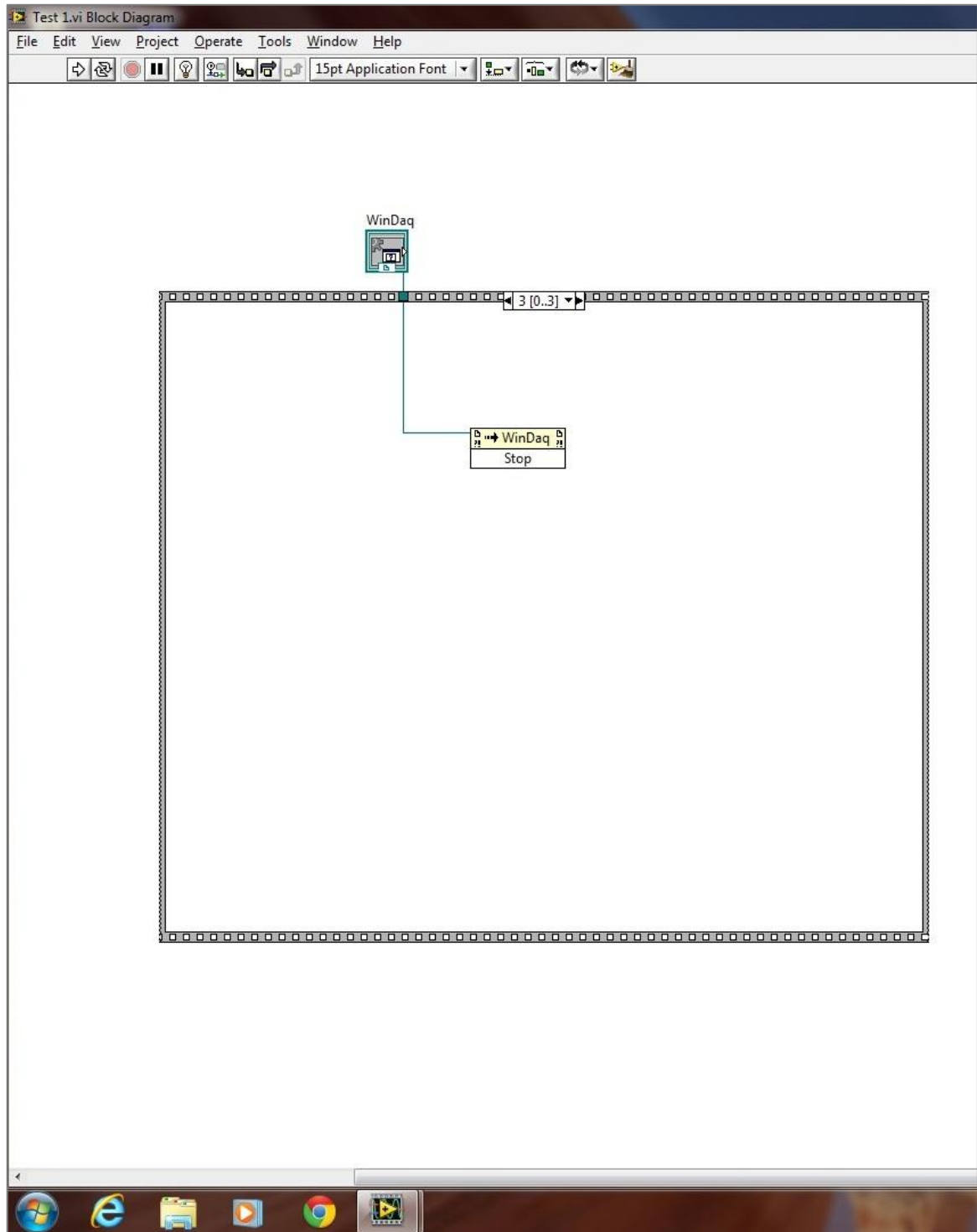
Δύο όψεις του φυλλαδίου, σχεδιασμένο από τους Δ. Πυλαρινό και Κ. Σιδεράκη, που μοιράστηκε στην αντιπροσωπεία των μελών του διεθνούς συνεδρίου ISAP κατά την επίσκεψή τους στον Σταθμό Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ» το 2011.

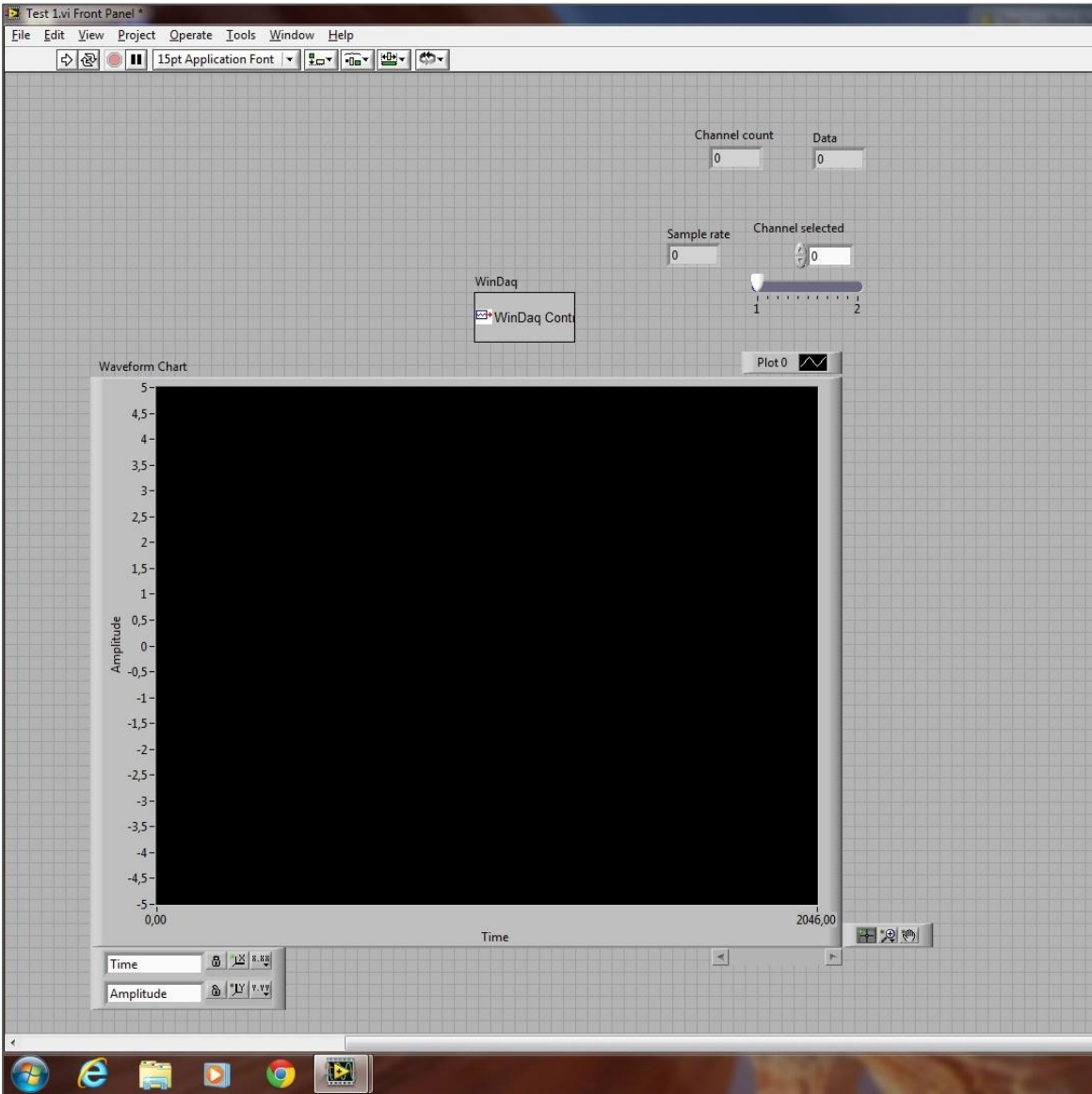
Μπλοκ διάγραμμα και Front Panel προγράμματος για τη διασύνδεση LabVIEW – DI-722-32











Επιστολή προς τεχνική υποστήριξη DATAQ Support

Dear Sir/Madam,

I am writing to you in behalf of the Public Power Corporation in Crete, the biggest island in Greece. We have recently purchased a DI-722-32 in order to use it in our research program regarding leakage current monitoring in high voltage insulators by using a current-to-voltage transducer and a general purpose Data Acquisition system.

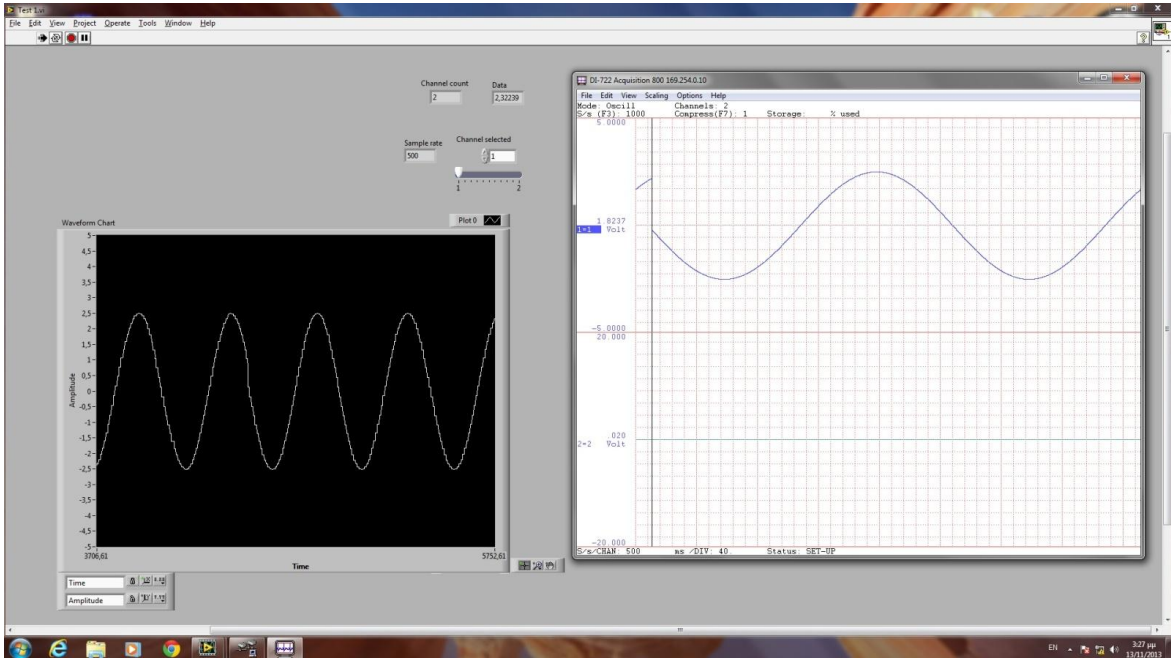
We are interested in working with LabVIEW, since we have already-made code from previous research. We downloaded the guide posted on your website (refer to "labview.pdf") and followed every step described there in order to link the device to LabVIEW by using Active X controls. (Refer to "front panel and block diagram.pdf" to check our code.)

However, when testing it we discovered that although the connection is successful (since LabVIEW identifies how many channels are active and the sample rate per channel), there seems to be a problem with the sample rate itself. Although the Dataq acquisition window follows the waveform satisfactorily, the LabVIEW waveform chart cannot follow waveforms of higher frequency than 10Hz (refer to "Sample rate problem.pdf"), which is a serious problem for us since we are working with a fundamental frequency of 50Hz and its 3rd-7th harmonics. We have searched many forums but cannot find an answer that solves our problem. We are using the 2010 LabVIEW edition.

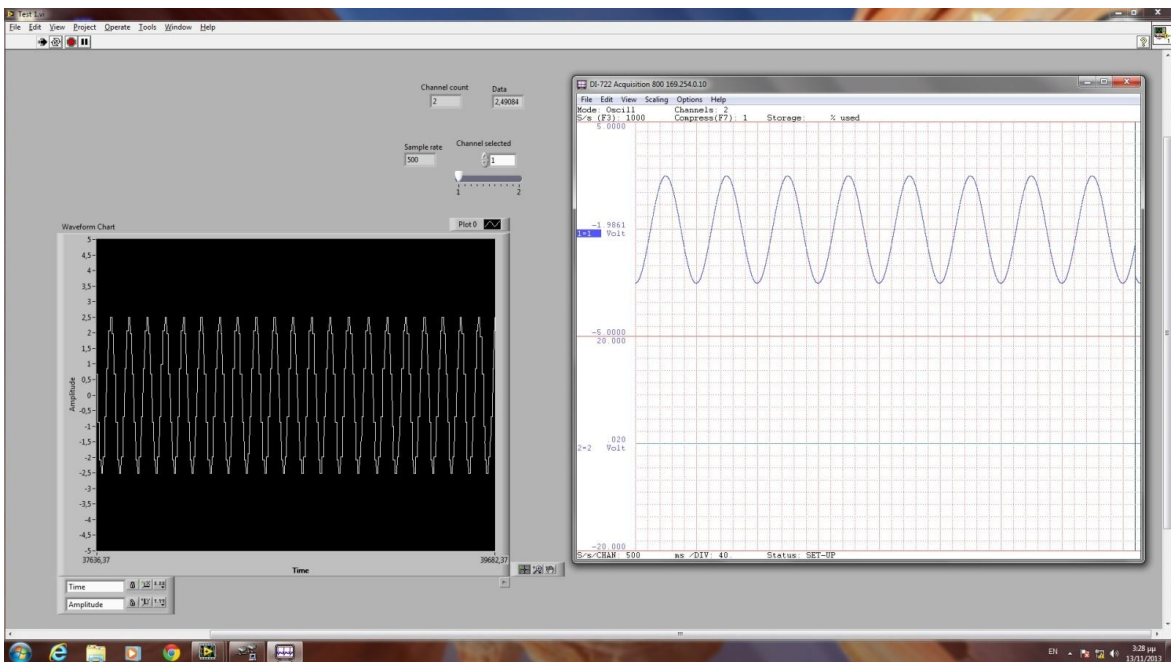
Looking forward for your response,

Maria-Anna Klironomou,
Undergraduate student

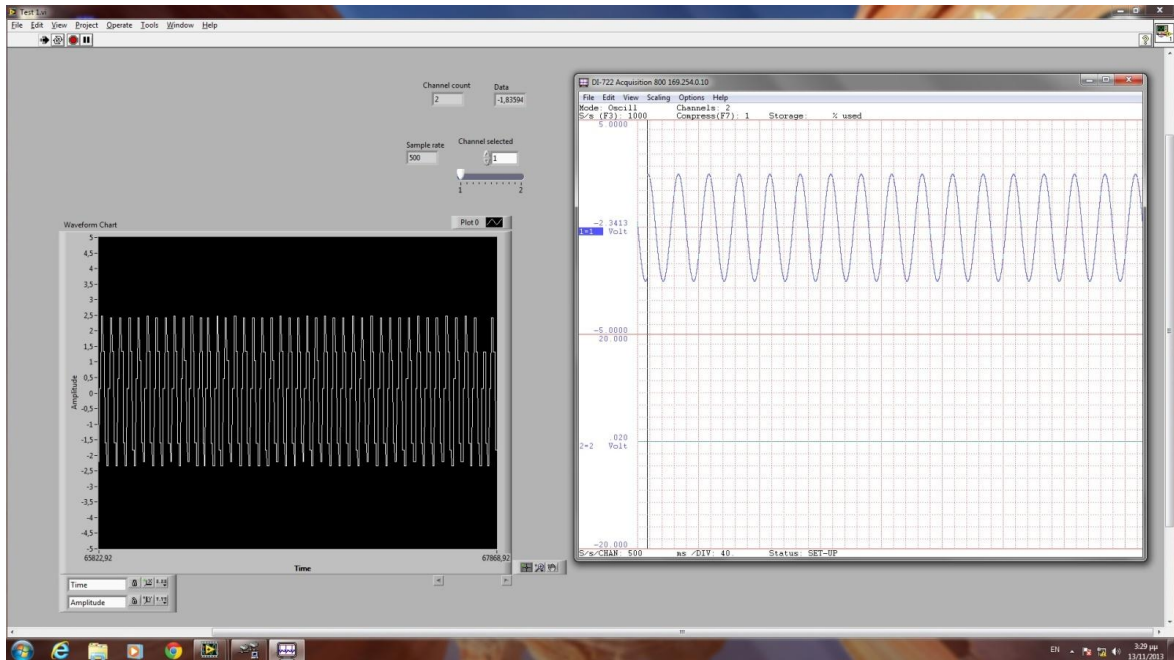
Sample rate problem (όπως ακριβώς εστάλη στο DATAQ Support)



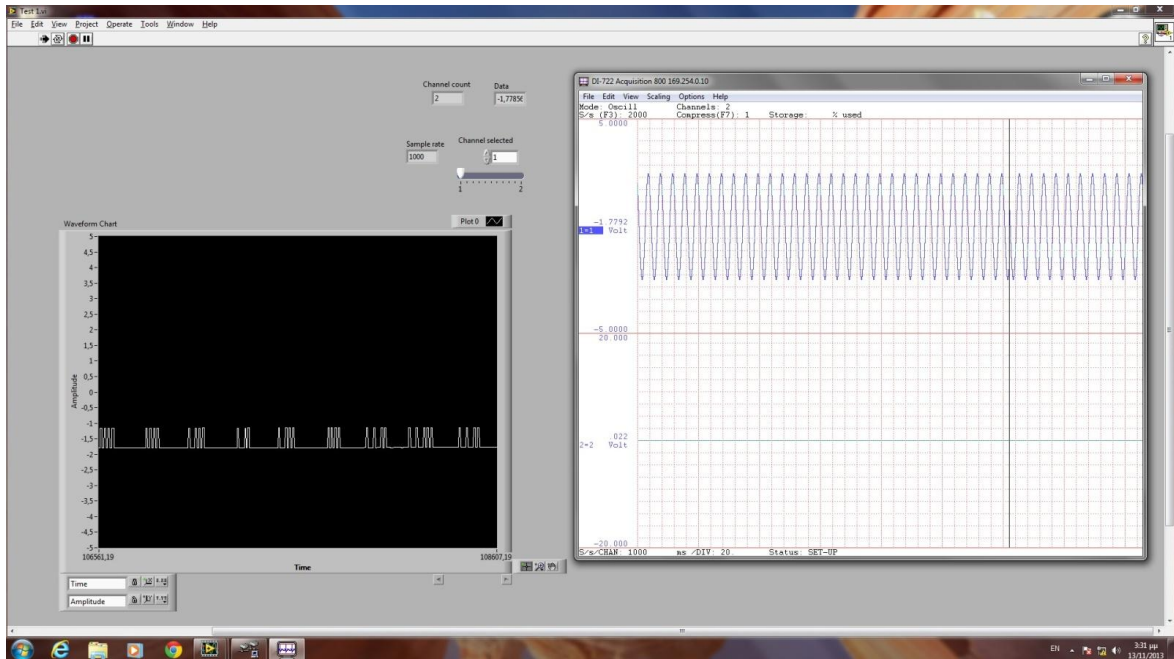
Sample rate: 500 samples/channel, Amplitude: 5V peak-to-peak, Frequency: **1Hz**



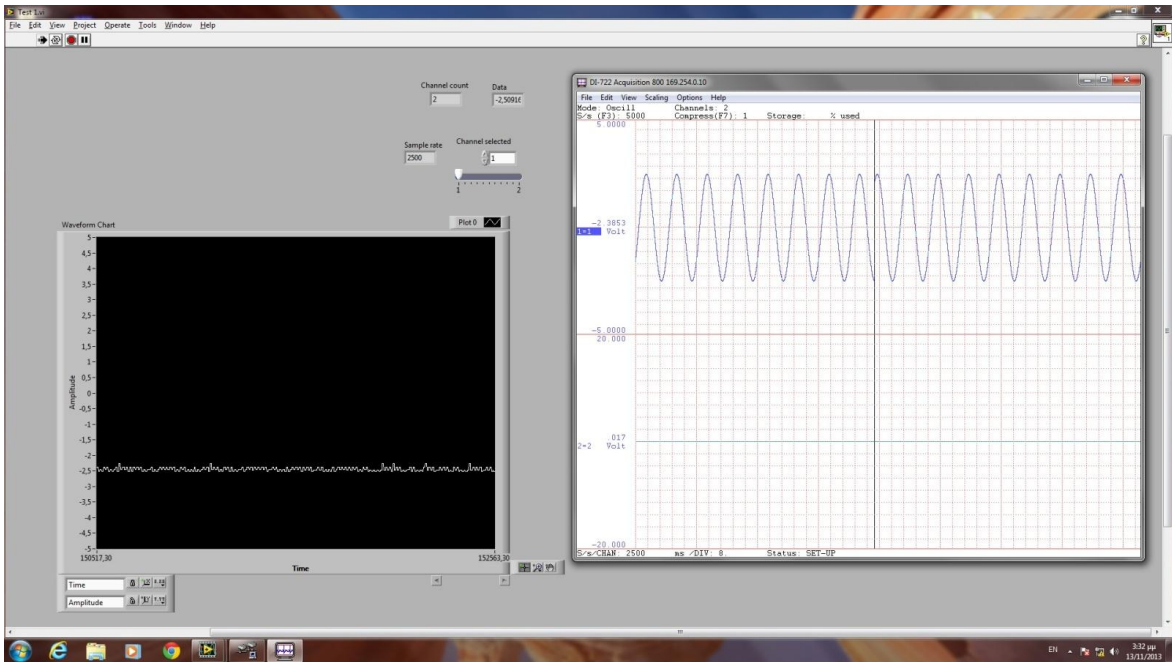
Sample rate: 500 samples/channel, Amplitude: 5V peak-to-peak, Frequency: **5Hz**



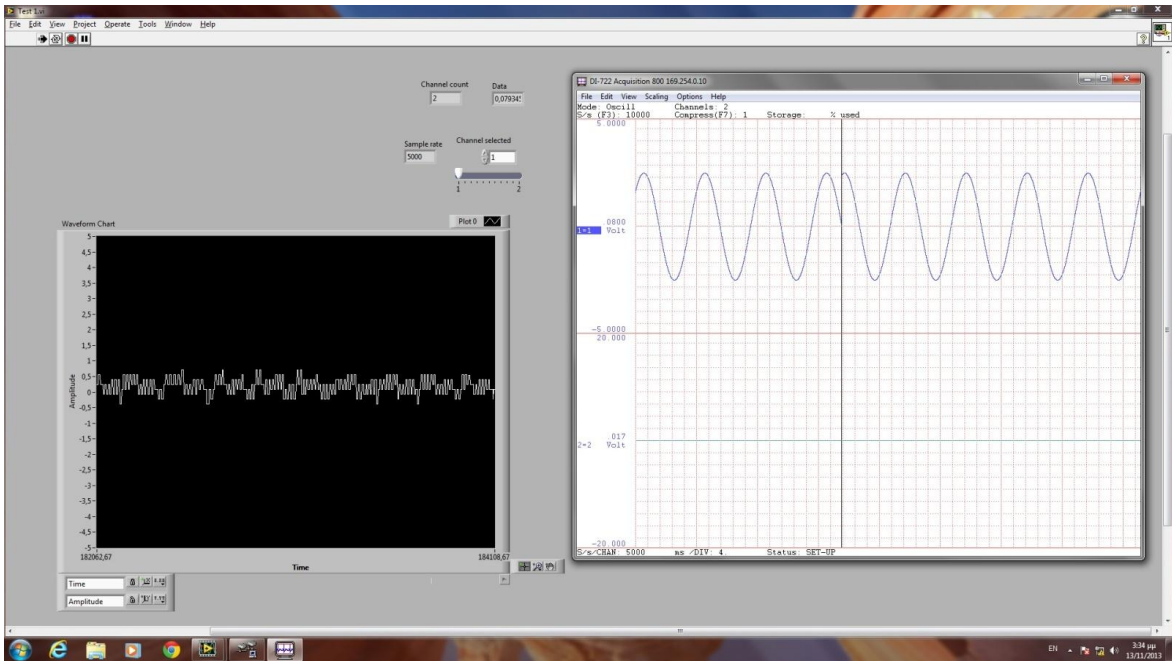
Sample rate: 500 samples/channel, Amplitude: 5V peak-to-peak, Frequency: 10Hz



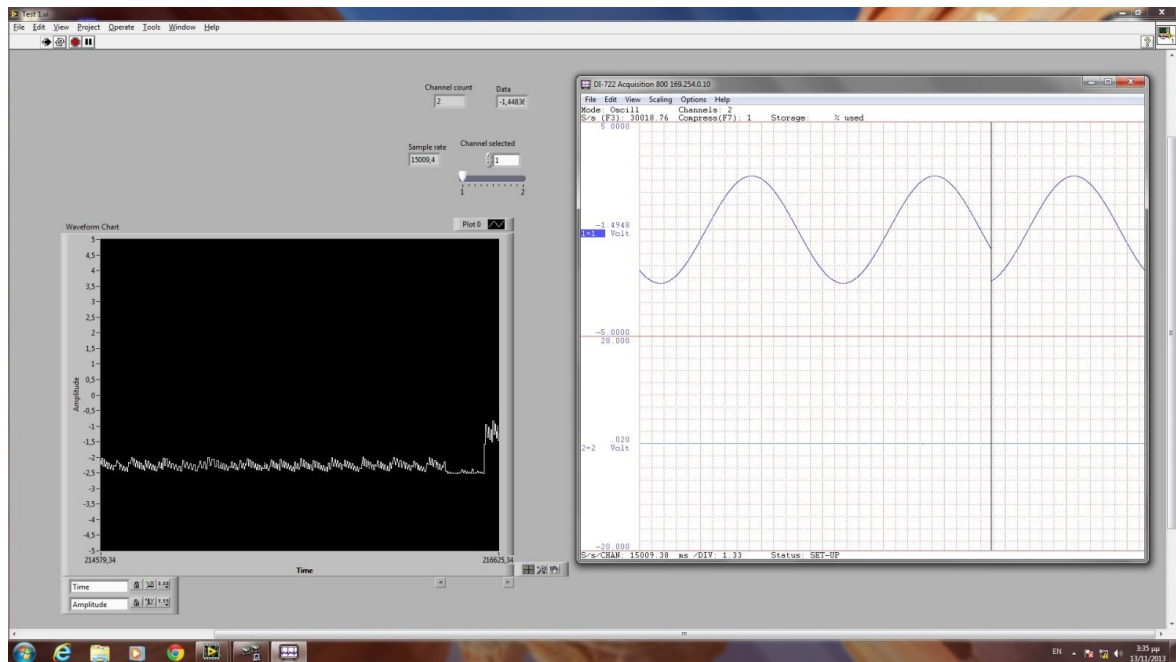
Sample rate: 1000 samples/channel, Amplitude: 5V peak-to-peak, Frequency: 50Hz



Sample rate: 2500 samples/channel, Amplitude: 5V peak-to-peak, Frequency: 50Hz



Sample rate: 5000 samples/channel, Amplitude: 5V peak-to-peak, Frequency: 50Hz



Sample rate: 15000 samples/channel, Amplitude: 5V peak-to-peak, Frequency: 50Hz

Προβλήματα προγράμματος για τη διασύνδεση MATLAB – DI-722-32

```

MATLAB R2012a
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Folder: C:\Program Files\MATLAB\R2012a\bin
Shortcuts How to Add What's New
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
Command History Workspace Current Folder
>> d=daqhwinfo

d =

    ToolboxName: 'Data Acquisition Toolbox'
    ToolboxVersion: '3.1 (R2012a)'
    MATLABVersion: '7.14 (R2012a)'
    InstalledAdaptors: {3x1 cell}

>> d.InstalledAdaptors

ans =

    'dataq'
    'parallel'
    'winsound'

>> d=daqhwinfo('dataq')

d =

    AdaptorDllName: 'C:\WINDAQ_MATLAB_ADDAPT\MATLAB\dataq.dll'
    AdaptorDllVersion: '0.3.0.0'
    AdaptorName: 'dataq'
    BoardNames: {'DI-720-EN'}
    InstalledBoardIds: {'0'}
    ObjectConstructorName: {'analoginput('dataq',0) ' ' ''}

>> ai=analoginput('dataq',0)

Display Summary of Analog Input (AI) Object Using 'DI-720-EN'.

Acquisition Parameters: 50000 samples per second on each channel.

```

```

MATLAB R2012a
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Folder: C:\Program Files\MATLAB\R2012a\bin
Shortcuts How to Add What's New
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

Acquisition Parameters: 50000 samples per second on each channel.
                        50000 samples per trigger on each channel.
                        1 sec. of data to be logged upon START.
                        Log data to 'Memory' on trigger.

Trigger Parameters: 1 'Immediate' trigger(s) on START.

Engine status: Waiting for START.
                0 samples acquired since starting.
                0 samples available for GETDATA.

AI object contains no channels.

>> addchannel(ai,0:3)

Index: ChannelName:  HwChannel:  InputRange:  SensorRange:  UnitsRange:  Units:
1      'Phys. Chan. 1'  0      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'
2      'Phys. Chan. 2'  1      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'
3      'Phys. Chan. 3'  2      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'
4      'Phys. Chan. 4'  3      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'

>> set(ai,'SampleRate',1000)
>> set(ai,'SamplesperTrigger',Inf)
>> inspect(ai)
>> ai

Display Summary of Analog Input (AI) Object Using 'DI-720-EN'.

Acquisition Parameters: 1000 samples per second on each channel.
                        Continuous sampling on each channel.
                        Inf sec. of data to be logged upon START.
                        Log data to 'Memory' on trigger.

```

```

MATLAB R2012a
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Folder: C:\Program Files\MATLAB\R2012a\bin
Shortcuts How to Add What's New
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

>> set(ai,'SampleRate',1000)
>> set(ai,'SamplesperTrigger',Inf)
>> inspect(ai)
>> ai

Display Summary of Analog Input (AI) Object Using 'DI-720-EN'.

Acquisition Parameters: 1000 samples per second on each channel.
                        Continuous sampling on each channel.
                        Inf sec. of data to be logged upon START.
                        Log data to 'Memory' on trigger.

Trigger Parameters: 1 'Immediate' trigger(s) on START.

Engine status: Waiting for START.
                0 samples acquired since starting.
                0 samples available for GETDATA.

AI object contains channel(s):

Index: ChannelName:  HwChannel:  InputRange:  SensorRange:  UnitsRange:  Units:
1      'Phys. Chan. 1'  0      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'
2      'Phys. Chan. 2'  1      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'
3      'Phys. Chan. 3'  2      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'
4      'Phys. Chan. 4'  3      [-10 10]  [-10 10]  [-10 10]  'Volts'

>> start(ai)
Error using daq.analoginput_dataq_1_1/start
Dataq Error Code: 2 - Communication Error

Error in daqdevice/start (line 62)
start( daqgetfield(obj,'uddobject') );

```


Προσωπικό φωτογραφικό αρχείο από
τον Σταθμό Δοκιμών «ΤΑΛΩΣ»



1. Μονωτήρες στηρίξεως (τμήμα 150kV)



2. Μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης 20/150kV



3. Διάταξη για τη μελέτη της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών στη διαδικασία γήρανσης της επιφάνειας των μονωτήρων (μετρήσεις ESDD, NSDD – εκτός τάσης)



4. Μονωτήρες αναρτήσεως (τμήμα 150kV).



5. Εδώ θα τοποθετηθεί η συσκευή DI-722-32.



6. Μονωτήρες στηρίξεως και αναρτήσεως (τμήμα 20kV).



6. Οικίσκος ελέγχου όλου του Σταθμού Δοκιμών.

