



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Πειραματική προσέγγιση μερικών εκκενώσεων
κατά την έναρξη και περαίωσή τους στο
συνδυασμό «βακελίτης-μονωτικό λάδι» υπό
κεραυνικές κρουστικές τάσεις εντός
ανομοιογενούς ηλεκτρικού πεδίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρυσάνθη Α. Παπαμιχαήλ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Πειραματική προσέγγιση μερικών εκκενώσεων
κατά την έναρξη και περαίωσή τους στο
συνδυασμό «βακελίτης-μονωτικό λάδι» υπό
κεραυνικές κρουστικές τάσεις εντός
ανομοιογενούς ηλεκτρικού πεδίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρυσάνθη Α. Παπαμιχαήλ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Οκτωβρίου 2010

.....

Κ. Γ. Καραγιαννόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Π. Δ. Μπούρκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ν. Ι. Θεοδώρου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

.....
Χρυσάνθη Α. Παπαμιχαήλ

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

Copyright © Χρυσάνθη Α. Παπαμιχαήλ , 2010

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 τον συγγραφέα.

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων και αφορά στην πειραματική προσέγγιση των μερικών εκκενώσεων κατά την έναρξη και περαίωσή τους όταν εκδηλώνονται σε ηλεκτρομονωτικό υλικό βακελίτη, εντός μονωτικού ελαίου, υπό κρουστική τάση $\pm 1,2/50\mu\text{s}$.

Επιβλέπων ήταν ο καθηγητής Ε.Μ.Π. κ. Κ. Καραγιαννόπουλος τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την ανάθεση της εργασίας καθώς και την εμπιστοσύνη και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τον κ. Π. Μπούρκα για την πολύτιμη βοήθειά του, τις χρήσιμες συμβουλές του και φυσικά το χρόνο που μου διέθεσε ώστε να υλοποιηθεί τελικώς η παρούσα εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η πειραματική προσέγγιση των μερικών εκκενώσεων κατά την έναρξη και περαίωσή τους σε δοκίμιο βακελίτη εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστική τάση $\pm 1,2/50 \mu s$ και διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα (ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο).

Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας αναπτύσσονται εκτενώς τα φαινόμενα προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών αναλύοντας λεπτομερώς τις δύο θεωρίες, τη μακροσκοπική και την κβαντομηχανική θεωρία, που διέπουν τα φαινόμενα γήρανσης και διάτρησης. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις στατιστικές μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων μέσω αλμάτων δυναμικού και στην παραγωγή και μέτρηση κρουστικών τάσεων.

Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει αναλυτικά τους στόχους της εργασίας και την περιγραφή του πειράματος. Στο τρίτο και κύριο μέρος της εργασίας δίνονται τα αποτελέσματα και η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Παρατίθενται μία προς μία οι χαρακτηριστικές που ζητήθηκαν για κάθε πολικότητα και κάθε πάχος δοκιμίου. Το απόσταγμα της προαναφερθείσας επεξεργασίας αποτυπώνεται στην τέταρτη ενότητα με τη μαθηματική προσέγγιση των διαγραμμάτων της τρίτης ενότητας. Κατόπιν μελέτης και παρατήρησης προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με τη φυσική ερμηνεία των φαινομένων που εκδηλώθηκαν κατά την κρουστική καταπόνηση του δοκιμίου. Η πέμπτη ενότητα λειτουργεί επιλογικά, με θέμα τη συμβολή της εργασίας στην έρευνα και σε πρακτικές εφαρμογές. Τέλος, παρατίθεται ονομαστική αναφορά της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Λέξεις-κλειδιά

στερεά μονωτικά, βακελίτης, διάσπαση, διάτρηση, γήρανση, μακροσκοπική θεωρία, κβαντομηχανική θεωρία, μερικές εκκενώσεις, δυνάμεις Coulomb, στατιστικές μετρήσεις, ιονισμός, κρουστικές τάσεις

ABSTRACT

The scope of the thesis is the experimental approach of partial discharges at their beginning and ending on bakelite specimen placed into insulating oil under impulse voltage of $\pm 1,2/50 \mu s$ and electrodes shaped point-plate (non-homogenous electrostatic field).

In the theoretical part of the thesis, the phenomena before and during breakdown of solid insulating materials are developed in detail with a thorough analysis of the two theories, the Macroscopic theory and the Quantum Mechanics theory, which explain the phenomena of aging and perforation. Moreover, a reference is made to statistical measurements of partial discharges via voltage leaps and to production and measuring of impulse voltages.

The second section includes analytically the objectives of the thesis and the description of the experiment. In the third and main part of this thesis are the results and statistical analysis of the measurements. The graphs requested for each polarity and thickness of the specimen are listed here one by one. The essence of the above process is reflected in the fourth section through the mathematical approximation of the diagrams in the third section. Following study and observation emerged about findings on the physical interpretation of the phenomena occurring during the impulse load on the specimen. The fifth unit functions as an epilogue, on the contribution of the thesis in research and practical applications. Finally, it is laid out a reference to the bibliography used for the preparation of this thesis.

Keywords

solid insulators, bakelite, breakdown, perforation, aging, macroscopic theory, quantum mechanics theory , partial discharges, Coulomb forces, statistical measurements, ionization, impulse voltage

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Φαινόμενα προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών υλικών.....	11
1.1.1 Η μακροσκοπική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάτρηση των στερεών μονωτικών.....	12
1.1.1.1 Η θερμική διάτρηση.....	12
1.1.1.2 Η ηλεκτρική διάτρηση.....	13
1.1.1.3 Ηλεκτροχημική διάτρηση.....	13
1.1.1.4 Θερμοχημική διάτρηση.....	14
1.1.1.5 Συνδυασμός παραγόντων γήρανσης και διάτρησης.....	15
1.1.2 Η επιφανειακή διάσπαση και η υπερπήδηση.....	17
1.1.3 Η κβαντομηχανική θεωρία της γήρανσης και της διάσπασης των στερεών μονωτικών.....	18
1.1.3.1 Το φάσμα της εκπεμπόμενης Η/Μ ακτινοβολίας κατά τη διάτρηση.....	19
1.1.3.2 Ιονισμός με κρούσεις.....	20
1.1.4 Ο συνδυασμός της μακροσκοπικής και της κβαντομηχανικής θεωρίας	22
1.2 Στατιστικές μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων.....	24
1.3 Παραγωγή και μέτρηση κρουστικών τάσεων.....	30
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	31
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	39
3.1 Δοκίμιο βακελίτη πάχους 1mm εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs	39

3.2 Δοκίμιο βακελίτη πάχους 1mm εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs	58
3.3 Δοκίμιο βακελίτη πάχους 2mm εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs	77
3.4 Δοκίμιο βακελίτη πάχους 2mm εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs	96
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ	115
4.1 Μαθηματική προσέγγιση.....	115
4.2 Φυσική ερμηνεία - Μία θεωρητική προσέγγιση.....	119
5. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121

1.Εισαγωγή

1.1 Φαινόμενα προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών υλικών.

Τα ηλεκτρομονωτικά διακρίνονται βάσει της φυσικής τους κατάστασης σε αέρια, υγρά και στερεά μονωτικά υλικά. Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματεύεται τα φαινόμενα που διέπουν τους μηχανισμούς διάσπασης των στερεών μονωτικών αξιοποιώντας το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο στερεό μονωτικό βακελίτη

Στα στερεά μονωτικά, η ικανότητα δημιουργίας ιόντων είναι κατά πολύ μικρότερη συγκρίνοντας με τα αέρια μονωτικά και η διάτρηση έχει σαν αποτέλεσμα κάποια μόνιμη βλάβη σε αυτά (κάψιμο, τήξη, μηχανικές κακώσεις, κ.λ.π.). Επίσης, τα φαινόμενα που εκδηλώνονται προ της διάσπασης των στερεών μονωτικών, καθώς και εκείνα κατά την επιφανειακή διάσπαση ή την υπερπήδηση, προκαλούν συνήθως μόνιμες βλάβες σε βάρος της διηλεκτρικής αντοχής των στερεών διηλεκτρικών. Αυτή ακριβώς η ιδιότητα των στερεών μονωτικών υλικών, να μην επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση, αλλά να καταστρέφονται κατά τη διάσπαση ή να αποκτούν συνήθως μόνιμες βλάβες (λόγω επιφανειακής διάσπασης, υπερπήδησης και μερικών εκκενώσεων) είναι η βασική δυσκολία για τη μελέτη του μηχανισμού της γήρανσης της διάσπασής τους.

Από τις διάφορες έρευνες, που έχουν γίνει, για τα φαινόμενα γήρανσης και διάσπασης των στερεών μονωτικών υλικών μπορεί κανείς να ομαδοποιήσει τις μεθόδους, που εφαρμόζονται, σε δύο βασικές θεωρίες:

- 1) Τη μακροσκοπική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών, και
- 2) Τη κβαντομηχανική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών

Σύμφωνα με τη «μακροσκοπική θεωρία», τα αποτελέσματα των ερευνών βασίζονται (ή αποσκοπούν) σε κάποιο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο πηγάζει συνήθως από το συνδυασμό των ηλεκτρικών μετρήσεων με οπτικές παρατηρήσεις για την εκδήλωση ακουστικών και φωτεινών φαινομένων, καθώς και αλλαγές στην επιφάνεια του υλικού.

Στην κβαντομηχανική θεωρία ενδιαφέρει κυρίως η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων (κυρίως ηλεκτρόνια), κατά την εξαναγκασμένη επιβράδυνση τους στα ηλεκτρόδια. Πρόκειται δηλαδή για μία συσχέτιση των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση, με το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που εκπέμπεται.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι δύο προαναφερθείσες θεωρίες καθώς και ο συνδυασμός τους. Επίσης, για λόγους ευκολότερης κατανόησης, εξετάζεται ξεχωριστά η διάτρηση από την επιφανειακή διάτρηση και την υπερπήδηση.

1.1.1 Η μακροσκοπική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάτρηση των στερεών μονωτικών.

Όπως προαναφέρθηκε, τα στερεά μονωτικά αποκτούν συνήθως μόνιμες βλάβες προ της διάσπασης και καταστρέφονται κατά τη διάτρηση. Η ανάγκη για να δοθεί (μία εξήγηση στις παραπάνω αλλαγές των υλικών (προ και κατά τη διάτρηση), οδήγησε στην αναζήτηση των διαφόρων παραγόντων, που τις προκαλούν. Έτσι, από μετρήσεις, που έχουν γίνει σε διάφορα στερεά μονωτικά (κυρίως μετρήσεις της τάσης διάσπασης σε σχέση με το χρόνο και τη μορφή της τάσης), οι οποίες έχουν συνδυαστεί με παρατηρήσεις σχετικά με την αλλαγή της μοριακής δομής, που προκαλείται στα υλικά αυτά, θεωρείται ότι υπάρχουν οι παρακάτω βασικοί παράγοντες μείωσης της σταθερότητας των μορίων τους:

- α) οι απώλειες Joule,
- β) οι δυνάμεις Coulomb,
- γ) οι μερικές εκκενώσεις, και
- δ) η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Οι αντίστοιχες προς τους παραπάνω παράγοντες θεωρητικές μορφές της διάτρησης είναι:

- α) η θερμική διάτρηση,
- β) η ηλεκτρική διάτρηση (που διακρίνεται στη δενδροειδή και την ηλεκτρομηχανική),
- γ) η ηλεκτροχημική διάτρηση (ή γήρανση), και
- δ) η θερμοχημική διάτρηση.

Στην πράξη βέβαια συνδυάζονται οι παράγοντες αυτοί και υποβοηθούνται από διάφορες ειδικές συνθήκες που επικρατούν (μορφή ηλεκτρικού πεδίου, περιβάλλον, μέσο κλπ.), έτσι ώστε η αλλαγή της μοριακής δομής να είναι κάποιο από κοινού αποτέλεσμα τους.

1.1.1.1 Η θερμική διάτρηση

Η μορφή της διάτρησης αυτής συναντάται κυρίως σε χαμηλές τιμές της τάσης, όταν το στερεό μονωτικό καταπονείται θερμικά μόνο από τις απώλειες Joule (π.χ. κακή αγωγιμότητα θερμότητας από τη μόνωση ενός καλωδίου λόγω σκόνης και ύγρανσης). Η εικόνα που παρουσιάζει το θερμικά καταπονούμενο υλικό είναι συνήθως η απανθράκωση και η τήξη του, στην περιοχή όπου οι απώλειες Joule είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

1.1.1.2 Η ηλεκτρική διάτρηση

Όταν η σταθερή ενεργός τιμή της τάσης, που εφαρμόζεται στο δοκίμιο, είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη για τη θερμική διάτρηση, τότε η πεδιακή ένταση γίνεται μεγαλύτερη και επομένως μπορεί να αυξηθεί η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων μέσα στο μονωτικό υλικό.

Από μία τιμή της τάσης και μετά η διάτρηση του υλικού αποδίδεται κυρίως στις δυνάμεις Coulomb. Θεωρείται, ότι η διάτρηση οφείλεται σε:

- α) αυτοσυντηρούμενο ιονισμό με κρούσεις (όπως στα αέρια μονωτικά), ή
- β) μηχανική τάνυση του υλικού (διαχωρισμό του σε αρνητικούς και θετικούς φορείς υπό την επίδραση των δυνάμεων του ηλεκτρικού πεδίου), ή
- γ) συνδυασμό των δύο παραπάνω περιπτώσεων.

Η μορφή της διάτρησης αυτής ονομάζεται ηλεκτρική και διακρίνεται ανάλογα με την εικόνα που παρουσιάζει το ηλεκτρικό τόξο κατά τη διάτρηση, στη δενδροειδή (θύσανοι κάθετοι προς το ηλεκτρικό πεδίο) και εκείνη υπό μορφή οχetőυ κατά τη διεύθυνση του πεδίου (ηλεκτρομηχανική).

1.1.1.3 Η διάσπαση λόγω μερικών εκκενώσεων (ηλεκτροχημική διάσπαση ή γήρανση της μόνωσης)

1) Γενικά περί των μερικών εκκενώσεων

Η διάσπαση των στερεών μονωτικών έχει, στις περισσότερες περιπτώσεις, την αφετηρία της στις μερικές εκκενώσεις στην επιφάνεια και στον όγκο τους. Οι μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται σε φυσαλίδες αερίων ή γενικά θέσεις ανομοιογένειας μέσα στον όγκο του μονωτικού (εσωτερικές μερικές εκκενώσεις), καθώς και σε θέσεις ανομοιογένειας ή ξένες επικαθίσεις (ηλεκτρικές ακαθαρσίες) στην επιφάνεια του (εξωτερικές εκκενώσεις).

Από τη στιγμή της έναρξης των μερικών εκκενώσεων προκαλείται συνήθως σταδιακή αλλαγή της μοριακής δομής του στερεού μονωτικού, η οποία είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιορισμένο τμήμα του, όπου δηλαδή έτυχε οι θέσεις ανομοιογένειας να είναι περισσότερο αγωγιμες. Πρόκειται για ένα ηλεκτροχημικό φαινόμενο, που σε κάποιο απροσδιόριστο χρονικό διάστημα οδηγεί στη διάσπαση του στερεού μονωτικού.

Συγκριτικά με τις άλλες μορφές διάσπασης, η ηλεκτροχημική διάσπαση προκαλεί βαθμιαία μείωση της ηλεκτρικής αντοχής, ανάλογα με το ρυθμό αύξησης της χημικής μεταβολής και είναι συνήθως μακροπρόθεσμη, γι' αυτό ονομάζεται και γήρανση του μονωτικού υλικού.

2) Η τεχνητή γήρανση

Κατά την καταπόνηση ενός στερεού μονωτικού υλικού με κάποια μορφή τάσης (εναλλασσόμενη, κρουστική ή συνεχή), διαπιστώνει κανείς ότι μετά από κάποια τιμή της τάσης (ανάλογα με τη μορφή της) εμφανίζονται μερικές εκκενώσεις.

Η γήρανση του μονωτικού υλικού στο εργαστήριο με τιμές της τάσης μεγαλύτερες από την τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων χαρακτηρίζεται τεχνητή γήρανση. Η τεχνητή αυτή γήρανση του στερεού μονωτικού δεν ανταποκρίνεται βέβαια στην πραγματική κατάσταση, που δημιουργείται με την πάροδο του χρόνου (όταν το υλικό εργάζεται υπό ονομαστικά μεγέθη στο δίκτυο), δίνει όμως τη δυνατότητα ανίχνευσης των παραγόντων διάσπασης, που τελικά δεν μπορεί να είναι διαφορετικοί από τους πραγματικούς.

1.1.1.4 Η θερμοχημική διάτρηση

Η μείωση της διηλεκτρικής αντοχής είναι δεδομένη κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μέσου, γιατί η παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων γίνεται μεγαλύτερη. Στα πολυμερή μονωτικά υλικά μπορούμε να υποθέσουμε ότι εξασθενούν οι δεσμοί των μορίων και επομένως η ενέργεια εξόδου των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων από το πλέγμα των μορίων είναι μικρότερη.

Η διάτρηση που προκαλείται μόνο από τη θερμότητα του περιβάλλοντος του στερεού μονωτικού μέσου, ονομάζεται θερμοχημική. Έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι, μετά από μία τιμή της τάσης, η θερμοχημική διάτρηση δεν αντιμετωπίζεται με την αύξηση του πάχους της μόνωσης.

Η τάση αυτή ονομάζεται θερμική τάση ανατροπής και δίνεται από τη σχέση:

$$U_a = \sqrt{\alpha \frac{\kappa \theta}{\sigma_0}} \quad (1.1.1)$$

όπου α σταθερά του υλικού που εξαρτάται από τη μορφή της τάσης. Η σταθερά α έχει την τιμή 2,83 για καταπόνηση με συνεχή τάση, ενώ για εναλλασσόμενη τάση είναι 1,88.

Η θερμική τάση ανατροπής αποτελεί το κριτήριο για το τεχνικοοικονομικό πάχος των στερεών μονωτικών στις πρακτικές εφαρμογές (όπως μετασχηματιστές, καλώδια κλπ.). Η τιμή είναι για τα περισσότερα υλικά, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C και καταπόνηση με εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, της τάσης του 1 MV.

Πρόσφατες έρευνες σε στερεά μονωτικά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον μέσο του στερεού μονωτικού ενισχύει τις μερικές εκκενώσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση της διηλεκτρικής αντοχής. Έχει διαπιστωθεί ότι οι μερικές εκκενώσεις εκδηλώνονται, λόγω της θερμότητας του περιβάλλοντος, σε μικρότερες τιμές της τάσης από ότι σε κανονική θερμοκρασία

(20°C), με αποτέλεσμα να συμβαίνει ο ιονισμός δια κρούσεως σε αρκετά μικρότερες τιμές του πεδίου απ' ότι κατά την καταπόνηση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C.

Στην διπλωματική αυτή εργασία δεν λαμβάνεται υπόψη η θερμοχημική διάσπαση, ακριβώς γιατί θεωρείται πως μέσα στο εργαστήριο επικρατεί σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος

1.1.1.5 Συνδυασμοί των παραγόντων γήρανσης και διάτρησης

Τα φαινόμενα προ και κατά τη διάτρηση των στερεών μονωτικών μπορούν να αποδοθούν σε τέσσερις βασικούς παράγοντες αποσταθεροποίησης των μορίων (απώλειες Joule, δυνάμεις Coulomb, μερικές εκκενώσεις και θερμότητα του περιβάλλοντος), οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως παράγοντες γήρανσης και διάτρησης. Οι παράγοντες αυτοί συνδυάζονται στην πράξη με διαφορετική βαρύτητα, ανάλογα με την περίπτωση καταπόνησης του στερεού μονωτικού.

Στον πίνακα 1.1.1 δίνονται συνοπτικά οι βασικές περιπτώσεις συνδυασμού των παραγόντων γήρανσης και διάτρησης. Οι θεωρητικές σχέσεις του πίνακα 1.1.1 δεν δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού της τάσης διάτρησης (γιατί περιλαμβάνουν αρκετές άγνωστες τιμές, που πρέπει να βρεθούν με μετρήσεις), δίνουν όμως τη δυνατότητα κατανόησης των φαινομένων, όταν οι μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών συνδυάζονται με παρατηρήσεις σχετικά με την αλλαγή της μοριακής δομής.

α/α	Παράγοντες που συμμετέχουν στην αλλαγή της μοριακής δομής	Θεμελιώδεις σχέσεις	Οριακή τιμή της τάσης για τη διάτρηση
1	Συνδυασμός της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος με τους άλλους παράγοντες γήρανσης και διάτρησης	Η θερμότητα του περιβάλλοντος ενισχύει όλους τους παράγοντες γήρανσης και διάτρησης	
2	Μερικές εκκενώσεις και απώλειες Joule	$1) \sigma = \sigma_0 \frac{e^{\beta\theta}}{\langle -\delta E \rangle}$ $2) \frac{\sigma_0 e^{\beta\theta} A}{\langle -\delta E \rangle} = 2 \pi r d \kappa \theta$	$u_{\theta\epsilon} = d \langle -\delta E \rangle \sqrt{\frac{2\kappa}{e\beta\sigma_0}}$ <p>(μείωση της τάσης για τη διάτρηση:</p>

			$\Delta u_1 = dE \sqrt{\frac{2\kappa}{e\beta\sigma_0}}$
3	Μερικές εκκενώσεις και δυνάμεις Coulomb	$1) \sigma = \sigma_0 e^{\beta\theta} / \sqrt{-\delta E}$ $2) \frac{u^2 \sigma A}{\sqrt{-\delta E}} = C_0 2 \frac{d\theta}{dt}$	$u_{ne} = \sqrt{-\delta E} \sqrt{d} \sqrt{\frac{C_0 \theta}{\sigma A T_\delta}}$ <p>(μείωση της τάσης για τη διάτρηση:</p> $\Delta u_2 = \delta E \sqrt{d} \sqrt{\frac{C_0 \theta}{\sigma A T_\delta}}$
4	Μερικές εκκενώσεις και θερμοκρασία περιβάλλοντος	$1) u_x = \sqrt{\alpha \frac{\kappa \theta}{\sigma}}$ $2) \sigma = \sigma_0 e^{\beta\theta} / \sqrt{-\delta E}$	$u_{xe} = \sqrt{-\delta E} \sqrt{\alpha \frac{\kappa \theta}{\sigma}}$ <p>(μείωση της τάσης για τη διάτρηση:</p> $\Delta u_3 = dE \sqrt{\alpha \frac{\kappa \theta}{\sigma}}$
5	Συνδυασμός των τεσσάρων βασικών παραγόντων	$\frac{u^2 e^{\beta\epsilon} A}{d \sqrt{-\delta E}} = 2 \pi f d \kappa \theta + C_0 \left(\frac{\theta}{dt} \right)$	Εξαρτάται κυρίως από τον παράγοντα που υπερισχύει

Πίνακας 1.1.1 : Βασικές σχέσεις μίας θεωρητικής ερμηνείας για τη γήρανση και διάτρηση των στερεών μονωτικών.

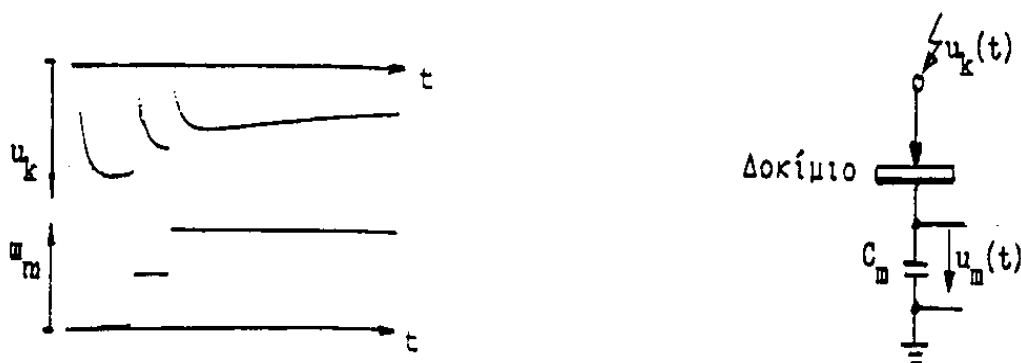
* : Μερικές εκκενώσεις, απωλειών Joule, δυνάμεις Coulomb και θερμοκρασία περιβάλλοντος.

1.1.2 Η επιφανειακή διάσπαση και η υπερπήδηση

Η εκδήλωση των εξωτερικών μερικών εκκενώσεων στη διαχωριστική επιφάνεια του συνδυασμού «στερεό μονωτικό-αέριο μονωτικό», ή του συνδυασμού «στερεό μονωτικό-υγρό μονωτικό» θα οδηγήσει σε επιφανειακή διάσπαση, όταν μία ομάδα ελεύθερων ηλεκτρονίων (η οποία, με βάση τις οπτικές παρατηρήσεις, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μία διαδρομή της δένδροειδούς φωτεινής ακτινοβολίας, που εκδηλώνεται) θα προκαλέσει μείωση της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων (δηλαδή μείωση της απόστασης μόνωσης), ώστε τελικά να συμβεί ένας οχετός διάσπασης στην επιφάνεια του στερεού (επιφανειακή διάσπαση), ή στο περιβάλλον μέσο του (υπερπήδηση).

Από πειράματα είναι γνωστό, ότι στα φαινόμενα παραγωγής ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων (κυρίως ηλεκτρόνια) στην επιφάνεια των στερεών μονωτικών συμμετέχει και η ίδια η επιφάνεια σε βάθος μέχρι 30\AA . Έτσι, εκτός από τις εξωτερικές μερικές εκκενώσεις (οι οποίες οφείλονται σε ξένες επικαθίσεις και έχουν συνήθως τον κυρίαρχο ρόλο στη μείωση της διηλεκτρικής αντοχής στην επιφάνεια), μπορεί κανείς να υποθέσει ότι εκδηλώνονται και οι άλλοι παράγοντες (απώλειες Joule, δυνάμεις Coulomb και θερμότητα του περιβάλλοντος), όπως κατά τη διάτρηση.

Πειραματικές έρευνες σε στερεά μονωτικά των πρακτικών εφαρμογών με κρουστικές τάσεις, δείχνουν ότι υπάρχει ομοιότητα των παλμογραφημάτων της διάτρησης ως προς εκείνα της επιφανειακής διάσπασης, με τη διαφορά ότι η επιφανειακή διάσπαση εκδηλώνεται στην ουρά της κρουστικής τάσης.



Σχήμα 1.1.1 : Τυπικό παλμογράφημα της επιφανειακής διάσπασης πολυμερών στερεών μονωτικών (πάχους 2mm) εντός μονωτικού ελαίου, υπό κρουστική τάση 10/200 μs και διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα –πλάκα.

C_m : 1835 nF

U_k : 70kV

1.1.3 Κβαντομηχανική θεωρία της γήρανσης και της διάσπασης των στερεών μονωτικών

Η κβαντομηχανική ερμηνεία των φαινομένων, που εκδηλώνονται προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών βασίζεται κυρίως :

- στις μετρήσεις των αλμάτων δυναμικού κατά την καταπόνηση στερεών μονωτικών με κρουστικές τάσεις,
- στις κρούσεις φορτίου, που είναι η κυματομορφή (το παλμογράφημα) της πτώσης τάσης σε ένα ωμικό τετράπολο μέτρησης (ως στοιχείο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε δηλαδή μία αντίσταση, αντί του πυκνωτή μέτρησης),
- στην ανίχνευση του μη ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (που εκπέμπεται κατά τη γήρανση και τη διάσπαση),
- στην ικανοποιητική πειραματική και θεωρητική ταύτιση του μηχανισμού παραγωγής των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων.

Στη κβαντομηχανική θεωρία ενδιαφέρει κυρίως η **ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων** (κυρίως ηλεκτρόνια). Η τιμή της ενέργειας αυτής, πάνω από την ενέργεια Fermi των ηλεκτροδίων διευκολύνει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τον μηχανισμό παραγωγής των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων. Τα βασικότερα συμπεράσματα από τη θεωρία αυτή είναι :

- 1) Η γήρανση και η διάσπαση, σχετίζονται με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται στο υλικό. Έχει διαπιστωθεί ότι :
 - α) το φάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά τη γήρανση μπορεί να είναι από ακουστικά κύματα μέχρι υπεριώδεις ακτίνες.
 - β) Το φάσμα της παραπάνω ακτινοβολίας κατά τη διάσπαση είναι δυνατό να επεκταθεί σε τιμές της ιονίζουσας περιοχής του (η εκπομπή του φάσματος αυτού προκαλεί την απεικόνιση αντικειμένων στη φωτογραφική πλάκα),
- 2) Καθοριστικός παράγοντας για την δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων είναι η τιμή του πεδίου. Από μετρήσεις σε οργανικά στερεά μονωτικά (με σχετική διηλεκτρική σταθερά 2,5-4,5) έχει διαπιστωθεί ότι οι μερικές εκκενώσεις, υπό κρουστικές τάσεις καταπόνησης, αρχίζουν σε τιμή πεδίου περίπου 0,2MV/cm.
- 3) Για τιμές του πεδίου μέχρι περίπου 0,5MV/cm αυξάνει η ειδική αγωγιμότητα κατά τη σχέση
$$\sigma = \sigma_0 e^{-W/kT} = \sigma_0 e^{\beta\theta} \quad (1.1.2)$$

σ_0 : η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα για διαφορά θερμοκρασίας θ ως προς το περιβάλλον

σ : η αρχική ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα

W : η ενέργεια ενεργοποίησης (ενέργεια για τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας)

k : η σταθερά Boltzmann ($1,37 \cdot 10^{-23}$ Ws/°K)

T : η απόλυτη θερμοκρασία

β : ένας συντελεστής του υλικού (π.χ. για το presspan $\beta \approx 0,02$)

- 4) Για μεγαλύτερες τιμές πεδίου από προηγουμένως, οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς γίνονται αρκετά περισσότεροι και δεν ισχύει η σχέση (1.1.2). Στην περίπτωση αυτή η παραγωγή των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων αποδίδεται στον ιονισμό με κρούσεις. Έχει διαπιστωθεί, ότι ο ιονισμός με κρούσεις σχετίζεται με την εκδήλωση αρνητικής διαφορικής αντίστασης στο υλικό. Το φάσμα της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαρτάται από το περίσσειμα της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων κατά την εξαναγκασμένη επιβράδυνσή τους στα ηλεκτρόδια.

Κατά τη θεωρία αυτή ενδιαφέρουν τα ενεργειακά επίπεδα των ελευθέρων ηλεκτρικών φορέων κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων και όχι ο διαχωρισμός των τελευταίων σε εσωτερικές και εξωτερικές. Η ενέργεια των ελευθέρων ηλεκτρικών φορέων (κυρίως ηλεκτρονία), πάνω από την ενέργεια Fermi του ηλεκτροδίου, μπορεί να υπολογιστεί από την ενέργεια στον πυκνωτή μέτρησης C_m ανά άλμα δυναμικού, με τη σχέση $W = 0,5 q_e \Delta u$ (όπου: q_e το φορτίο του ηλεκτρονίου και Δu το άλμα δυναμικού). Η σχέση αυτή ισχύει για μηδενική τιμή της ωμικής αντίστασης R από τον πυκνωτή μέτρησης μέχρι και το ηλεκτρόδιο γείωσης. Για $R > 0$ θα πρέπει να πάρει κανείς υπ' όψη το μεταβατικό φαινόμενο με σταθερά χρόνου:

$$\tau = R C_m \quad (1.1.3)$$

οπότε η τιμή της ενέργειας δίνεται από τη σχέση:

$$W = \frac{0,5 \Delta u}{\left(1 - e^{-\frac{t}{R C_m}}\right)} \quad \text{σε eV} \quad (1.1.4)$$

όπου: Δu σε V και t ο χρόνος φόρτισης του C_m κατά τη διάρκεια μίας μερικής εκκένωσης (κατά τη βιβλιογραφία περίπου 100 ns).

1.1.3.1 Το φάσμα της εκπεμπόμενης H/M ακτινοβολίας κατά της διάτρηση

Οι τάσεις δοκιμής, που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κβαντομηχανική ερμηνεία του μηχανισμού διάτρησης, είναι κυρίως κρουστικής μορφής (1,2/50μs, 10/200μs, 250/2500μs, κλπ). Πειράματα έχουν γίνει επίσης με εναλλασσόμενες και ημιανορθωμένες τάσεις καταπόνησης.

Η ενέργεια των ελευθέρων ηλεκτρονίων (W) μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (1.1.4) όπως και κατά τη γήρανση. Συνδυάζοντας τη δοθείσα σχέση με παρατηρήσεις σε παλμογραφήματα κρούσεων φορτίου προκύπτει ότι η διάτρηση σχετίζεται με εκπομπή μαλακών ακτίνων X.

Από τα παλμογραφήματα των κρούσεων φορτίου παρατηρεί κανείς την εκδήλωση αρνητικής διαφορικής αντίστασης. Ο αριθμός των κρούσεων περιορίζεται

ως προς εκείνον κατά τη γήρανση αλλά η τιμή του ρεύματος αυξάνει σημαντικά. Μπορεί να υποθέσει κανείς ο μηχανισμός της διάτρησης έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με εκείνον της γήρανσης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται στα στερεά μονωτικά κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων γήρανσης και διάτρησης εξαρτάται σημαντικά από το συντελεστή χρησιμοποίησης της διάταξης των ηλεκτροδίων. Όσο περισσότερο ανομοιογενές είναι το πεδίο, τόσο μειώνεται το εύρος της παραπάνω ακτινοβολίας. Όταν για παράδειγμα η ακίδα έχει ακτίνα καμπυλότητας 0,3mm αντί για 1mm, έχει βρεθεί πειραματικά ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκτείνεται ως το ορατό τμήμα της.

1.1.3.2 Ιονισμός με κρούσεις

Ένα σημαντικότατο συμπέρασμα, από την θεωρητική μελέτη του ιονισμού με κρούσεις στα στερεά μονωτικά δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q = Q_0 e^{\left[A \frac{E^2 - E_0^2}{E_0^2} \right]} \quad (1.1.5)$$

όπου:

- E_0 η πεδιακή ένταση έναρξης των μερικών εκκενώσεων ($E > 0,2$ MV/cm) και Q_0 το φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων.
- E η εφαρμοζόμενη πεδιακή ένταση, λόγω της οποίας το φορτίο αποκτά την τιμή Q .
- A ένας συντελεστής του υλικού, που εξαρτάται από τον χρόνο.

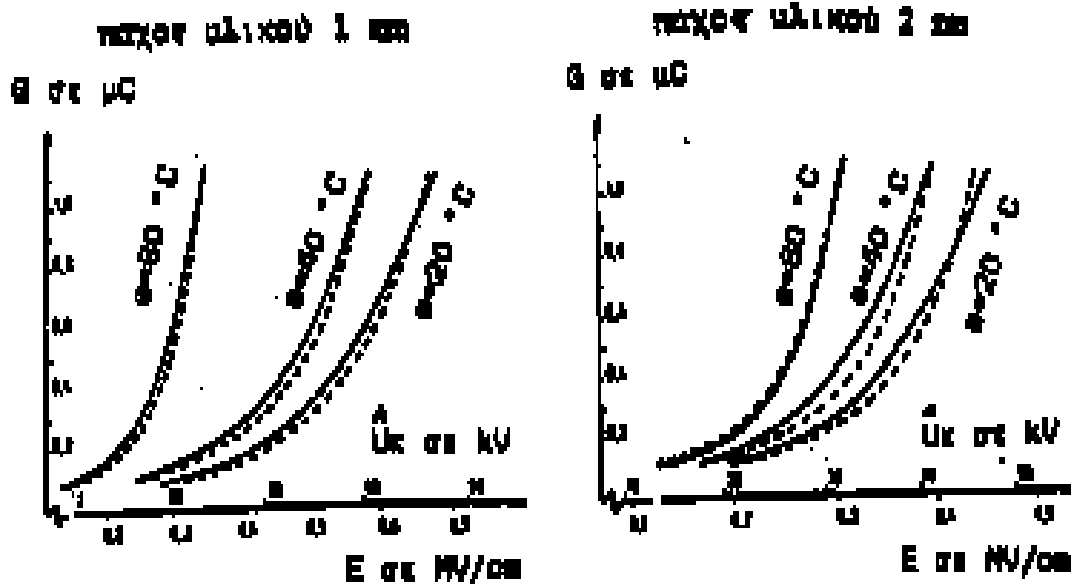
Με βάση τη σχέση αυτή έχει γίνει μία προσέγγιση πειραματικών χαρακτηριστικών $Q=f(U_k)$ κατά την καταπόνηση πολυμερών στερεών μονωτικών (πάχους 1 mm ή 2 mm) με κρουστικές τάσεις χειρισμών (μορφή 250/2500 μ s), η οποία προκαλεί μόνο εσωτερικές μερικές εκκενώσεις. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (20 °C, 40 °C και 80 °C), ώστε:

- 1) να εξαχθούν συμπεράσματα για την επίδραση της θερμοκρασίας στη παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων, και
- 2) να εναρμονίζονται οι μετρήσεις με τα παραδεκτά όρια λειτουργίας του μονωτικού ελαίου των μετασχηματιστών, που ενδιαφέρει ιδιαίτερα στην πράξη.

Στα παρακάτω σχήματα δίνονται οι πειραματικές χαρακτηριστικές για δύο μονωτικά καθώς και οι θεωρητικές χαρακτηριστικές κατά την σχέση 1.1.5, (με

προσδιορισμό του συντελεστή A για κάθε υλικό). Όπως φαίνεται, υπάρχει ικανοποιητική ταύτιση μεταξύ θεωρίας και πειραμάτων. Η θεωρητική προσέγγιση έδειξε ότι:

- 1) οι μερικές εκκενώσεις αρχίζουν σε τιμές πεδίου περίπου $E = 0,2 \text{ MV/cm}$.
- 2) για τιμές πεδίου περίπου μέχρι $0,5 \text{ MV/cm}$ η αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας διέπεται από τη σχέση 1.1.2 ($\sigma = \sigma_0 e^{(W/kT)} = \sigma_0 e^{\beta\theta}$).
- 3) για μεγαλύτερες τιμές πεδίου ισχύει η σχέση 1.15, με αποτέλεσμα να μπορεί να υποθέσει κανείς, ότι συμβαίνει ιονισμός με κρούσεις.
- 4) η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ενισχύει σημαντικά τα φαινόμενα ιονισμού. Φαίνεται ότι η σχέση, που διέπει τον συνδυασμό των μερικών εκκενώσεων με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, είναι η 1.1.5.

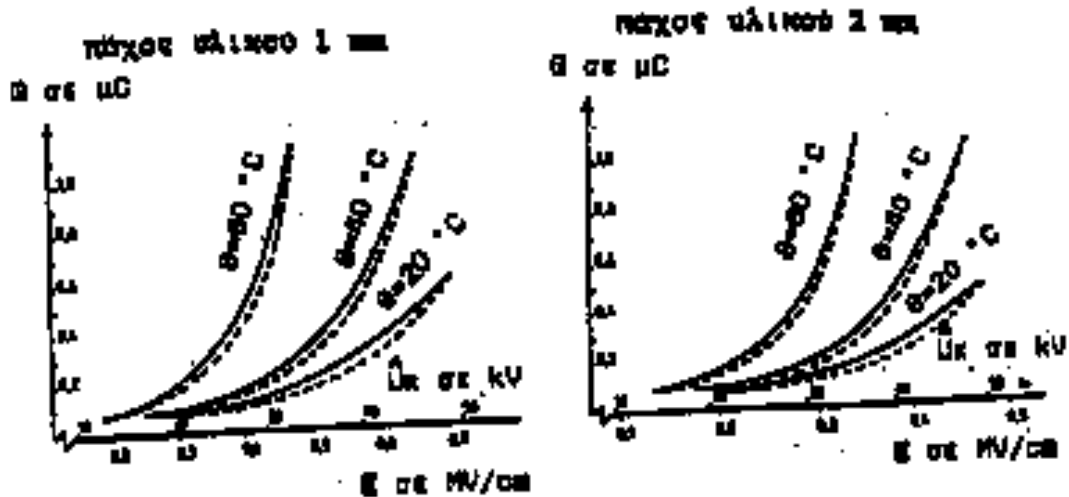


Σχήμα 1.1.2:

Χαρακτηριστικές $Q=(U_k)$ για το pertinax (εντός μονωτικού ελαίου), υπό κρουστικές τάσεις 250/2500 μs .

Διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα.

$A=0,48$



Σχήμα 1.1.3:

Χαρακτηριστικές $Q=f(U_K)$ για τον βακελίτη (εντός μονωτικού ελαίου), υπό κρουστικές τάσεις 250/2500 μ s.

Διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα.

$$A=0,44$$

Από την μεγάλη αύξηση των παραγόμενων ελεύθερων ηλεκτρονίων με τη θερμοκρασία του μονωτικού ελαίου, που στη πράξη γίνεται αντιληπτή σε συνδυασμούς "στερεό-υγρό μονωτικό" με την αρκετά μεγάλη $tg\delta$, φαίνεται ότι θα πρέπει να γίνει μία βελτίωση των προδιαγραφών ως προς τη δοκιμή υπερθέρμανσης. Με τυπικό παράδειγμα τους μετασχηματιστές ελαίου (και ιδιαίτερα τους μετασχηματιστές έντασης του δικτύου μεταφοράς, που ως γνωστό από την πράξη παρουσιάζουν προβλήματα κατά την αύξηση της $tg\delta$), κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιούνται οι διηλεκτρικές δοκιμές, αμέσως μετά το πέρας της δοκιμής υπερθέρμανσης (η δοκιμή ανύψωσης της θερμοκρασίας). Κατά τον τρόπον αυτόν θα συνεξετάζεται δηλαδή η πιθανή εκδήλωση φαινομένων ιονισμού στα ανεκτά όρια της θερμοκρασιακής κατάστασης του μετασχηματιστή ($\approx 80^\circ C$).

1.1.4 Ισοδύναμο κύκλωμα συνδυασμού της μακροσκοπικής και της κβαντομηχανικής θεωρίας για τη γήρανση και τη διάτρηση

Για την ερμηνεία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών χρειάζεται να συνδυαστούν οι δύο θεωρίες, ώστε να δίνουν περισσότερες πληροφορίες για την πράξη. Ένα ισοδύναμο κύκλωμα, που έχει προταθεί για τον

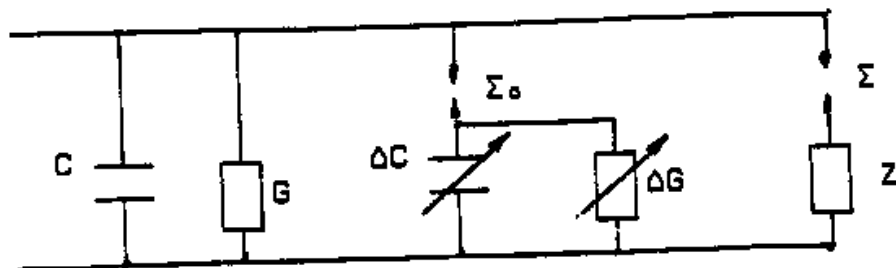
σκοπό αυτό, δίνεται στο σχήμα 1.1.8. Πρόκειται ουσιαστικά για μία συμπλήρωση του ισοδύναμου κυκλώματος των Gemant-Philipoff, όπου όμως η τιμή του εφαρμοζόμενου πεδίου έχει σημασία για την εκδήλωση των επιμέρους φαινομένων. Αν υποθέσει κανείς, ότι η έναρξη των μερικών εκκενώσεων συμβαίνει στην τιμή της πεδιακής E_0 (περίπου $0,2 \text{ MV/cm}$), τότε, τα φαινόμενα, που εκδηλώνονται στο μονωτικό, αποδίδονται από το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 1.1.4 ως ακολούθως :

- 1) Για $E < E_0$: Η συμπεριφορά του υλικού είναι ιδανική (δεν διασπώνται οι σπινθηριστές Σ_0 και Σ).
- 2) Για $E > E_0$: Εκδηλώνονται μερικές εκκενώσεις (διασπάται ο Σ_0) και η αύξηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας διέπεται από την σχέση:

$$\sigma = \sigma_0 e^{\left(\frac{W}{kT}\right)}$$
- 3) Για $E \gg E_0$: Εμφανίζεται αρνητική διαφορική αντίσταση και εκδηλώνεται ιονισμός με κρούσεις. Δεν ισχύει η σχέση $\sigma = \sigma_0 e^{\left(\frac{W}{kT}\right)}$, αλλά η

$$\text{σχέση : } Q = Q_0 e^{\left[\frac{A(E^2 - E_0^2)}{E_0^2}\right]}$$

Το φάσμα της ακτινοβολίας, που εκπέμπεται, εξαρτάται από τη τιμή E . Για τιμές $W > 20 \text{ eV}$ συμβαίνει διάτρηση.

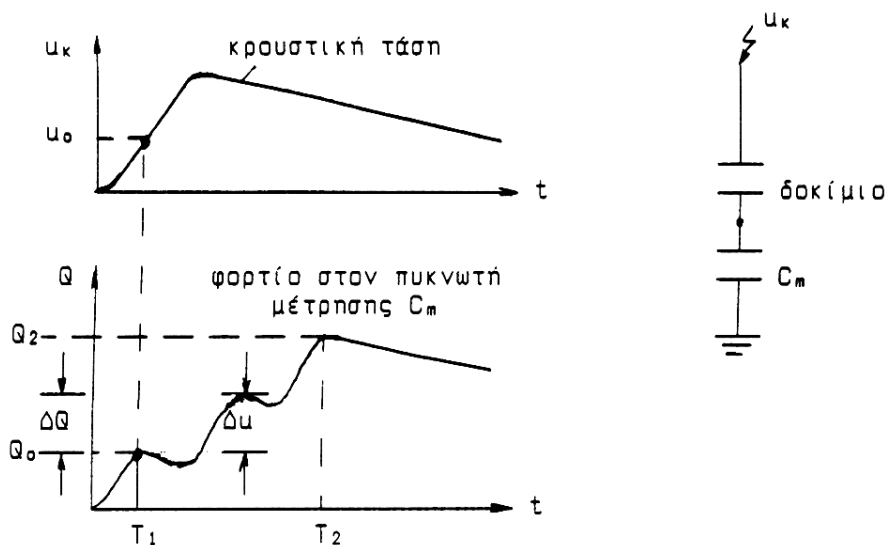


Σχήμα 1.1.4: Ένα ισοδύναμο κύκλωμα συνδυασμού της μακροσκοπικής και της κβαντομηχανικής θεωρίας για τη γήρανση και τη διάτρηση.

- C : Ιδανική χωρητικότητα.
- G : Ιδανική αγωγιμότητα.
- ΔC : Αύξηση της χωρητικότητας λόγω μερικών εκκενώσεων.
- ΔG : Αύξηση της αγωγιμότητας λόγω μερικών εκκενώσεων.
- Z : Αρνητική διαφορική αντίσταση.
- Σ₀ : Σπινθηριστής έναρξης των μερικών εκκενώσεων.
- Σ : Σπινθηριστής εκδήλωσης της Z.

1.2 Στατιστικές μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων

Για την πειραματική έρευνα των μερικών εκκενώσεων, μέσω παλμογραφημάτων (ή μετρήσεων των κυματομορφών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω αναλογικού-ψηφιακού μετατροπέα), έχουν προταθεί διάφορες έννοιες, όπως π.χ. στο σχήμα 1.1.5 για μετρήσεις με κρουστικές τάσεις. Με παρόμοιες σκέψεις, μπορεί κανείς να καθορίσει μεγέθη για τη μελέτη των μερικών εκκενώσεων κατά την καταπόνηση με άλλες μορφές τάσεων, καθώς και με άλλα τετράπολα μέτρησης (συνήθως ωμική αντίσταση, αντί του πυκνωτή, ή συνδυασμός των δύο αυτών στοιχείων μέτρησης, σχήμα 1.1.6). Στο σχήμα π.χ. 1.1.7 δίνεται ένα παράδειγμα καθορισμού εννοιών, για παλμογραφήματα των μερικών εκκενώσεων, υπό ημιανορθωμένη τάση καταπόνησης.



Σχήμα 1.1.5: Παράδειγμα καθορισμού ορισμένων εννοιών για τη στατιστική μελέτη των μερικών εκκενώσεων σε στερεά μονωτικά, των πρακτικών εφαρμογών, υπό κρουστικές τάσεις καταπόνησης.

T_1 : Χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων.

T_2 : Χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων.

Q_0 : Φορτίο έναρξης των μερικών εκκενώσεων.

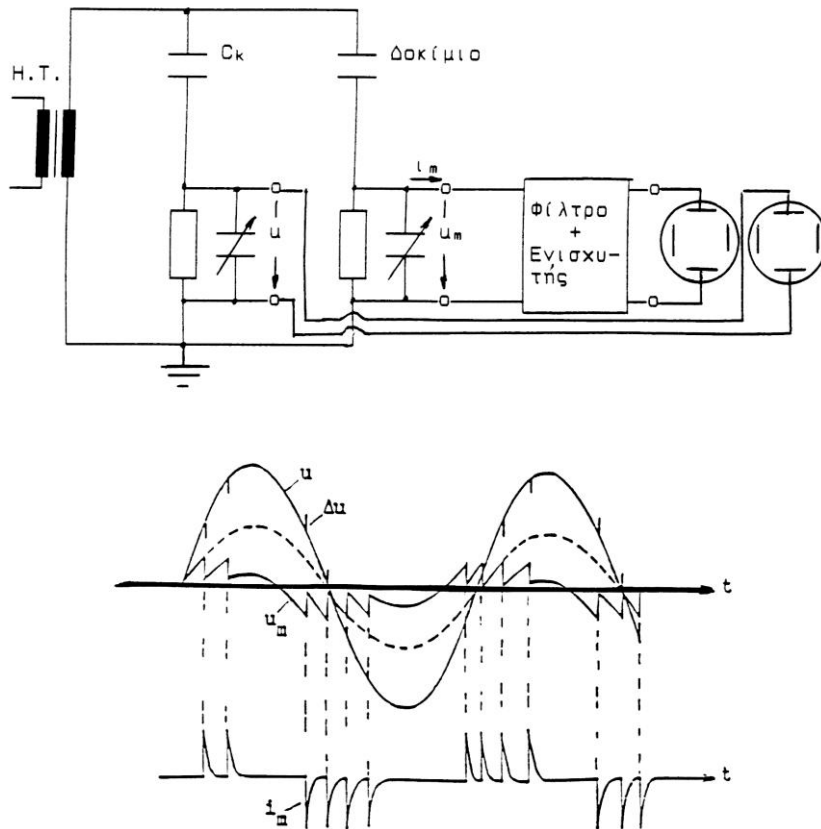
Q_2 : Φορτίο περαίωσης των μερικών εκκενώσεων.

U_k : Στιγμιαία τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης.

U_0 : Τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων (στιγμιαία τιμή).

ΔU : Άλμα δυναμικού.

ΔQ : Αύξηση φορτίου.



Σχήμα 1.1.6 : Απλοποιημένο κύκλωμα μέτρησης των μερικών εκκενώσεων μέσω «ωμικού-χωρητικού» τετράπολου μέτρησης, κατά την καταπόνηση του δοκιμίου με εναλλασσόμενη τάση 50 Hz.

H.T.: Μετασχηματιστής υψηλής τάσης.

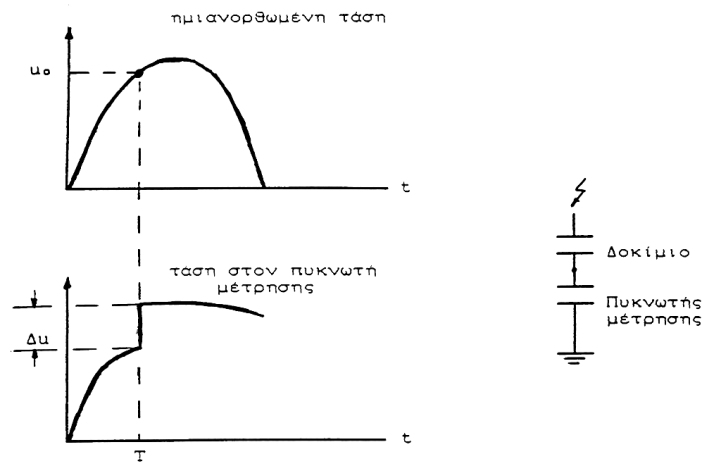
C_k : Πυκνωτής υψηλής τάσης.

U : Στιγμαία τιμή της εναλλασσόμενης τάσης (η οποία μετράται σε ένα ωμικό-χωρητικό τετράπολο).

U_m : Στιγμαία τιμή της τάσης στο ωμικό-χωρητικό τετράπολο μέτρησης των μερικών εκκενώσεων.

I_m : Στιγμαία τιμή του ρεύματος λόγω μερικών εκκενώσεων.

ΔU : Μεταβολές στην εφαρμοζόμενη τάση λόγω μερικών εκκενώσεων.



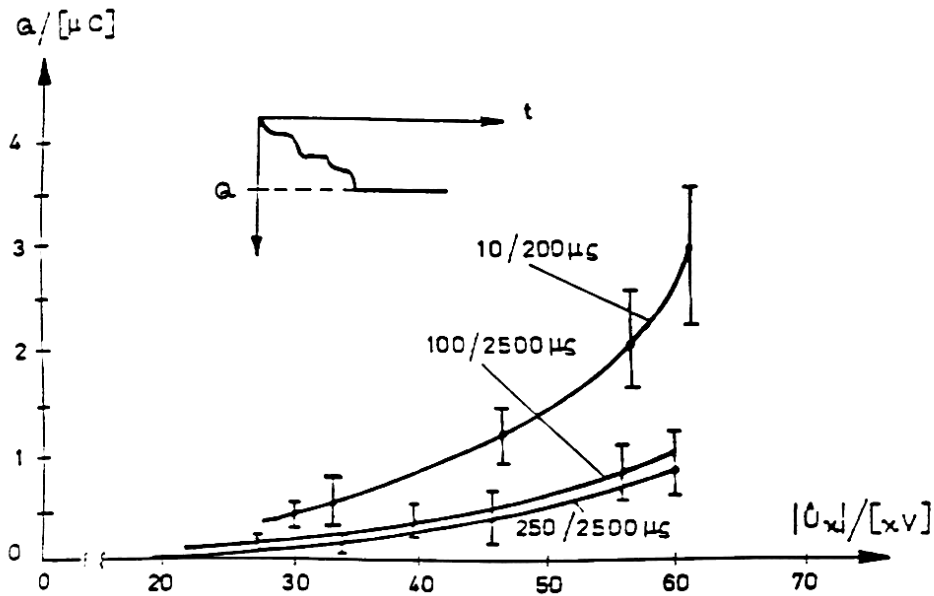
Σχήμα 1.1.7 : Παράδειγμα καθορισμού ορισμένων εννοιών για την στατιστική μελέτη των μερικών εκκενώσεων σε στερεά μονωτικά, των πρακτικών εφαρμογών, υπό ημιανορθωμένες τάσεις καταπόνησης.

T_1 : Χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων.

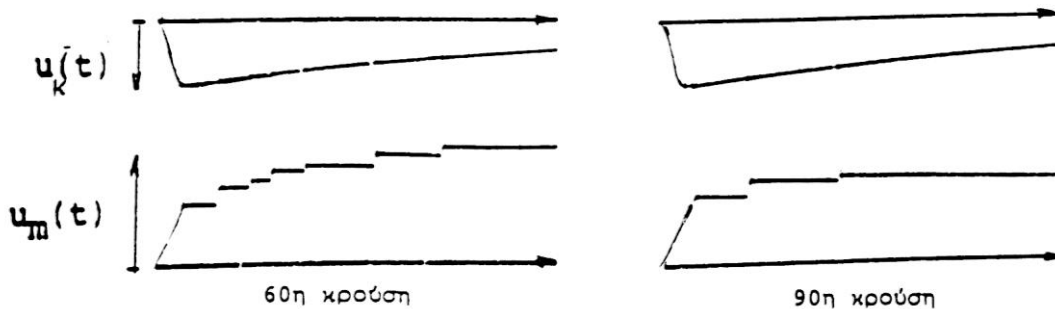
U_0 : Τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων (στιγμιαία τιμή).

Δu : άλμα δυναμικού.

Με βάση τις παραπάνω έννοιες έχουν σχεδιαστεί διάφορες χαρακτηριστικές, όπως : η χαρακτηριστική $Q=f(|\hat{U}_κ|)$, η χαρακτηριστική $u_0=f(|\hat{U}_κ|)$, ο χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων σε συνάρτηση με την μέγιστη τιμή της τάσης, κ.λ.π. Οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών βασίζονται συνήθως σε μετρήσεις επί ενός αρκετά μεγάλου αριθμού δοκιμίων. Ιδιαίτερη σημασία έχει η χαρακτηριστική $Q=f(\hat{U}_κ)$, η οποία φαίνεται ότι είναι εκθετικής μορφής (σχήμα 1.1.8), με αποκλίσεις από αυτήν, που έχουν αποδοθεί στη στατιστικότητα των ανομοιογενειών των στερεών μονωτικών, καθώς και στην εκδήλωση και άλλων παραγόντων μείωσης της διηλεκτρικής αντοχής, όπως π.χ. των δυνάμεων Coulomb κατά την καταπόνηση οργανικών στερεών μονωτικών με κρουστικές τάσεις της μορφής 1,2/50μs ή 10/200μs, όπου παρατηρούνται μηχανικές βλάβες (θραύσματα) στο υλικό σε βάρος της εκδήλωσης των μερικών εκκενώσεων. Στο σχήμα 1.1.9 δίνεται ένα τυπικό παράδειγμα τεχνητής γήρανσης, από όπου φαίνεται η σημαντική μείωση των αλμάτων δυναμικού κατά την 90^η κρούση, ως προς την 60^η. Από ταυτόχρονες παρατηρήσεις της εικόνας των επιφανειακών διαταραχών, εύκολα διαπιστώνεται, ότι η μείωση των αλμάτων δυναμικού (και επομένως του φορτίου Q στον πυκνωτή μέτρησης) σχετίζεται με τις μηχανικές κακώσεις (θραύσματα) στην επιφάνεια του μονωτικού.



Σχήμα 1.1.8 : Χαρακτηριστική $Q_2=f(\hat{U}_\kappa)$ για τον βακελίτη (πάχους 2mm), υπό κρουστικές τάσεις 10/200μs, 100/2500μs και 250/2500μs.
 Περιβάλλον μέσο : μονωτικό λάδι.
 Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα.
 C_m : 1000nF.



Σχήμα 1.1.9 : Άλματα δυναμικού κατά την 60^η και την 90^η κρούση στο pertinax (πάχους 2mm).

Μορφή τάσης : 1,2/50μs ($\hat{U}_\kappa=99,7kV$).

Περιβάλλον μέσο : μονωτικό λάδι.

Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα.

C_m : 210nF.

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα των ερευνών του είδους αυτού είναι ο διαχωρισμός μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων στο διάγραμμα της χρονικής μεταβολής της εφαρμοζόμενης τάσης στο στερεό μονωτικό. Έχει διαπιστωθεί ότι:

- 1) οι εσωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται στην περιοχή μηδενισμού της τάσης, ή γενικότερα στην περιοχή της μέγιστης χρονικής μεταβολής της,

2) οι εξωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται στην περιοχή, όπου δεν μηδενίζεται η τάση.

Τα παραπάνω σημαίνουν π.χ. για καταπονήσεις με κρουστικές τάσεις ότι : οι εσωτερικές μερικές εκκενώσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του μετώπου της κρουστικής τάσης, ενώ οι εξωτερικές μερικές εκκενώσεις κατά τη διάρκεια της ουράς της κρουστικής τάσης.

Μία πειραματική προσέγγιση του παραπάνω διαχωρισμού, μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων, έχει δοθεί από παλμογραφήματα των αλμάτων δυναμικού σε στερεά οργανικά μονωτικά, με κρουστικές τάσεις διαφόρων μορφών (σε περιβάλλον μονωτικού ελαίου και διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα), που συνδυάστηκαν με ταυτόχρονες οπτικές παρατηρήσεις της εικόνας των επιφανειακών διαταραχών.

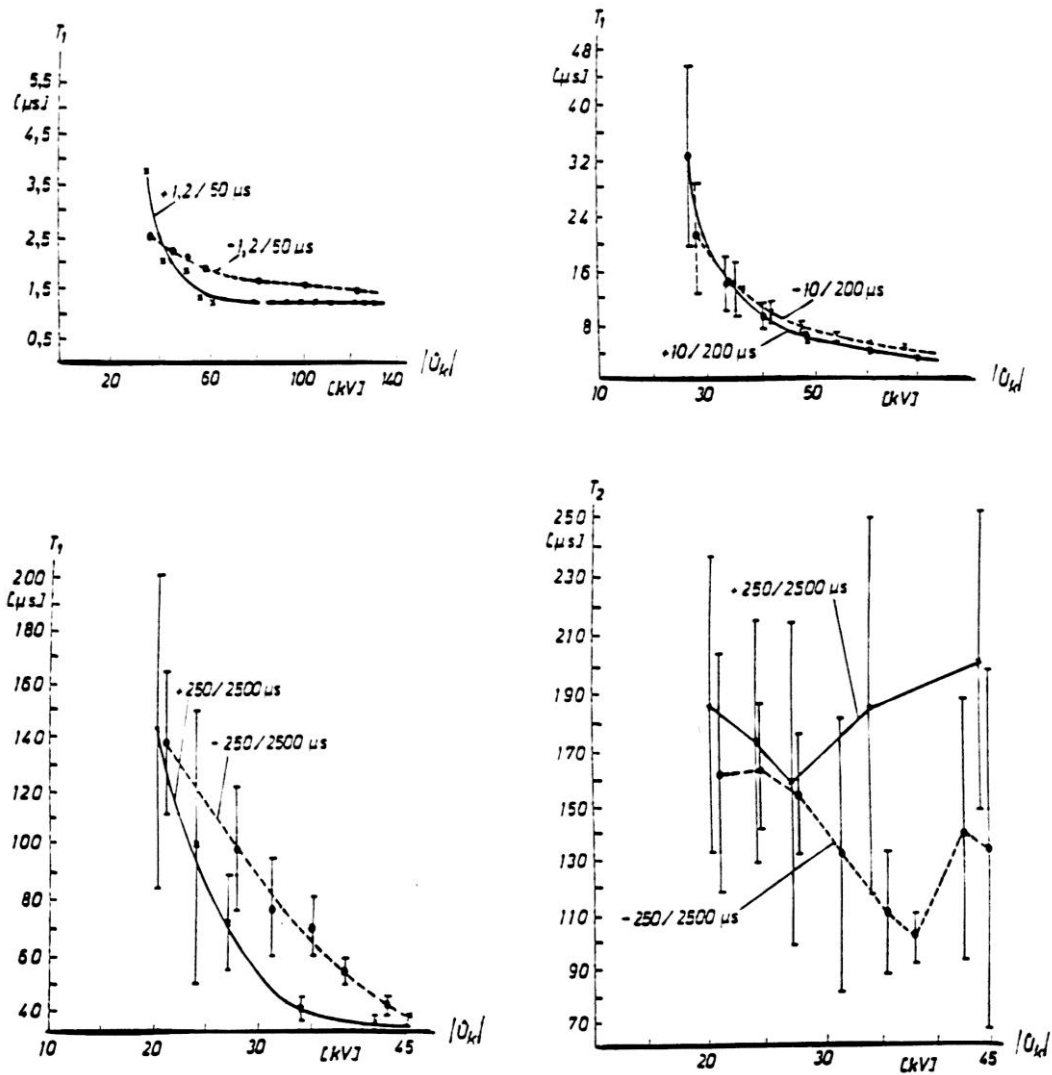
Στον πίνακα 1.1.2 δίνονται αποτελέσματα των στατιστικών αυτών μετρήσεων, που αφορούν οργανικά στερεά μονωτικά με $\epsilon_r \approx 2,5-4,5$, από τα οποία συμπεραίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων, που προαναφέρθηκε. Φαίνεται επίσης, ότι οι κρουστικές τάσεις μεγάλης χρονικής διάρκειας (τάσεις χειρισμών) προκαλούν κυρίως εσωτερικές μερικές εκκενώσεις (ενισχύοντας έτσι τη γήρανση των στερεών μονωτικών υλικών), ενώ οι κεραυνικές τάσεις (μορφή κρουστικής τάσης 1,2/50μs) σχετίζονται περισσότερο με εξωτερικές μερικές εκκενώσεις.

Μορφή τάσης σε μs	Δενδρίτης	Εικόνα επιφανειακών διαταραχών	Άλματα Δυναμικού	Συμπεράσματα για τις μερικές εκκενώσεις
1,2/50	ΝΑΙ	ΝΑΙ	στην ουρά	εξωτερικές μερικές εκκενώσεις
10/200	ΝΑΙ (αλλά μικρότερος από εκείνον κατά την καταπόνηση με κρουστική τάση 1,2/50μs	ΝΑΙ (αλλά μικρότερη από εκείνη κατά την καταπόνηση με κρουστική τάση 1,2/50 μs	στην ουρά και στο μέτωπο	εξωτερικές και εσωτερικές μερικές εκκενώσεις
250/2500	ΟΧΙ	ΟΧΙ	στο μέτωπο	εσωτερικές μερικές εκκενώσεις

Πίνακας 1.1.2 : Αποτελέσματα της συσχέτισης μεταξύ εμφάνισης των αλμάτων

Μία άλλη πειραματική προσέγγιση του διαχωρισμού μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων, ως προς τον χρόνο εκδήλωσής τους (υπό κρουστικές τάσεις καταπόνησης), έχει βασιστεί σε χαρακτηριστικές $T_1=f(|\hat{U}_κ|)$ και

$T_2=f(|\hat{U}_κ|)$ σε συνδυασμό με οπτικές παρατηρήσεις για την εικόνα των επιφανειακών διαταραχών. Στο παρακάτω σχήμα (1.1.10) φαίνεται ο χρόνος έναρξης (T_1) των μερικών εκκενώσεων (στα μονωτικά υλικά και το είδος της καταπόνησης, που προαναφέρθηκαν), καθώς και ο χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων (T_2), υπό κρουστικές τάσεις 250/2500μs), ώστε σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις από τον πίνακα 1.1.2 για την εικόνα των επιφανειακών, να καταλήγει κανείς στο ίδιο συμπέρασμα.



Σχήμα 1.1.10 :1) Χαρακτηριστική $T_1=f(|\hat{U}_κ|)$ κατά την καταπόνηση στερεών

οργανικών μονωτικών (πάχους 2mm και $\epsilon_r \approx 2,5 \div 4,5$) με κρουστικές τάσεις 1,2/50μs, 10/200μs και 250/2500μs.

2) Χαρακτηριστική $T_2=f(|\hat{U}_κ|)$ κατά την καταπόνηση των υλικών

αυτών με κρουστικές τάσεις 250/2500μs.

Περιβάλλον μέσο : μονωτικό λάδι.

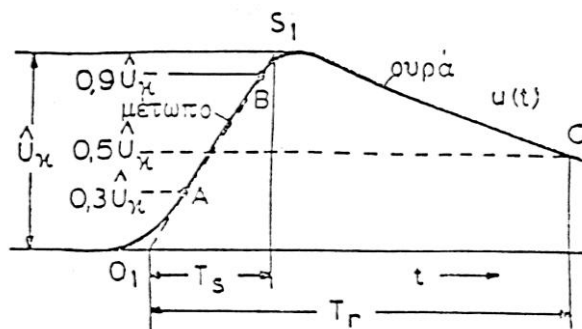
Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα.

I : 2 φορές η τυπική απόκλιση.

1.3 Παραγωγή και μέτρηση κρουστικών τάσεων

Μεγάλη σημασία για την μελέτη της ηλεκτρικής αντοχής των μονώσεων έχει η καταγραφή των φαινομένων προ και κατά τη διάσπασή τους, ως προς τη μορφή της εφαρμοζόμενης τάσης. Το γεγονός αυτό είναι προφανές αν αναλογιστεί κανείς πως χρειάζονται πληροφορίες για την αξιοπιστία των μονώσεων έναντι των διαφόρων μορφών υπερτάσεων, που μπορεί να δεχτεί ένα ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι υπερτάσεις διακρίνονται κυρίως σε κεραυνικές υπερτάσεις και υπερτάσεις χειρισμών (δηλαδή υπερτάσεις που δημιουργούνται κατά τους χειρισμούς των διακοπών στο δίκτυο). Ως κρουστικές τάσεις ονομάζονται οι υπερτάσεις που έχουν μία συγκεκριμένη και τυποποιημένη μορφή, η οποία δίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 1.1.9: Χαρακτηρισμός των μεγεθών μίας κρουστικής τάσης.

$\hat{U}_κ$: Μέγιστη τιμή.

T_s : Διάρκεια μετώπου.

T_r : Διάρκεια ημίσεος εύρους της ουράς.

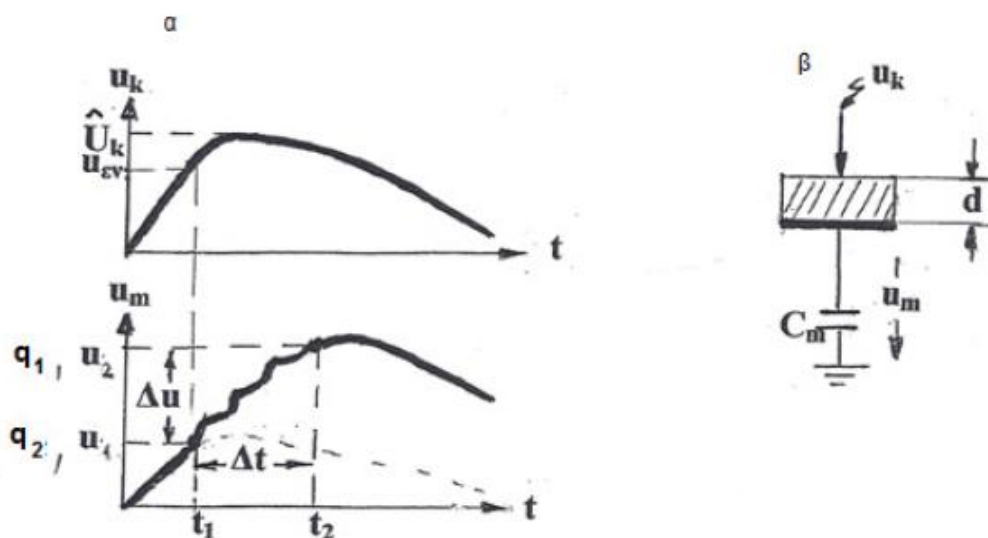
Οι κρουστικές τάσεις συμβολίζονται με τον χρόνο μετώπου (T_s) και τον χρόνο ουράς (T_r). Η κεραυνική τάση είναι μία κρουστική τάση της μορφής 1,2/50 μs , που σημαίνει ότι $T_s=1,2 \mu s$ και $T_r=50 \mu s$. Αντίστοιχα, ως τυποποιημένη κρουστική τάση χειρισμών θεωρείται η 250/2500 μs . Στην παρούσα διπλωματική εργασία η τάση που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών μετρήσεων είναι της μορφής 1,2/50 μs .

Για την παραγωγή υψηλών μέγιστων τιμών $\hat{U}_κ$ χρησιμοποιούνται πολυβάθμιες γεννήτριες. Η αρχή λειτουργίας των γεννητριών αυτών στηρίζεται στην παράλληλη φόρτιση των πυκνωτών φόρτισης όλων των βαθμίδων και ακολούθως στην σε σειρά εκφόρτισή τους, μέσω αντίστοιχων σπινθηριστών σφαιρών.

2. Σκοπός της Διπλωματικής

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η στατιστική ανάλυση των ηλεκτρικών φαινομένων κατά την εκδήλωση των μερικών εκκενώσεων που εκδηλώνονται σε δοκίμια βακελίτη πάχους 1mm και 2mm εντός μονωτικού ελαίου, υπό κεραυνική κρουστική τάση της μορφής $\pm 1,2/50\mu\text{s}$. Οι μερικές εκκενώσεις εκδηλώνονται με την μορφή αλμάτων δυναμικού και προκαλούνται από τη σταδιακή διάσπαση διαφόρων θέσεων διαταραχής του υλικού. Μέσω των αλμάτων δυναμικού, μπορεί να γίνει μελέτη των φαινομένων που εκδηλώνονται πριν και κατά τη στιγμή της διάσπασης του δοκιμίου, σε περιβάλλον μονωτικού ελαίου, με τη χρήση ψηφιακού παλμογράφου (βλ. παρ.1.2).

Η διάταξη μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο για την εκτέλεση του πειράματος δίνεται απλοποιημένα στο ακόλουθο σχήμα. Η κρουστική τάση εφαρμόζεται στο δοκίμιο, με διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα-πλάκα, με ακτίνα καμπυλότητας της ακίδας $R=0,9\text{mm}$. Η μέτρηση της τάσης γίνεται με τη βοήθεια ενός πυκνωτή μέτρησης (C_m) γνωστής χωρητικότητας.



Σχήμα 2.1: (α): τυπικό παλμογράφημα αλμάτων δυναμικού κατά την καταπόνηση του

δοκιμίου βακελίτη εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις

$\pm 1,2/50\mu\text{s}$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας

$R=0,9\text{mm}$) -πλάκα για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$ και $d=2\text{mm}$.

(β): απλοποιημένη παράσταση του κυκλώματος μέτρησης όπου

d : πάχος δοκιμίου

u_k : στιγμιαία τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_m : τάση που μετρείται στα άκρα του πυκνωτή μέτρησης

Συγκεκριμένα, η μελέτη βασίζεται στην στατιστική ανάλυση ορισμένων ηλεκτρικών μεγεθών που μετρήθηκαν, όπως η εφαρμοζόμενη κρουστική τάση (U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης) και παλμογραφήματα των αλμάτων δυναμικού από όπου υπολογίστηκαν τα ηλεκτρικά μεγέθη τα οποία δίνονται ακολούθως:

E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

$u_{εν}$: τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων

$E_{εν}$: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

C_m : πυκνωτής μέτρησης

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δu : συνολικό άλμα δυναμικού

ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δi : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

Μεταξύ των παραπάνω μεγεθών ισχύουν οι σχέσεις:

$$q_1 = C_m \cdot u_1 \quad (2.1)$$

$$q_2 = C_m \cdot u_2 \quad (2.2)$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{u_1}{u_2} \quad (2.3)$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{i_1}{i_2} \quad (2.4)$$

$$\Delta W_e = 0.5 \cdot \Delta u \quad (2.5)$$

$$\frac{\Delta W_e}{q_1} = \frac{\Delta u}{u_1} \quad (2.6)$$

$$\frac{\Delta W_e}{q_2} = \frac{\Delta u}{u_2} \quad (2.7)$$

$$— (2.8)$$

$$— (2.9)$$

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να σχεδιαστούν οι ακόλουθες χαρακτηριστικές για θετική και αρνητική πολικότητα και για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$ και $d=2\text{mm}$:

1) $t_2=f(t_1)$

Χαρακτηριστική του χρόνου περαίωσης των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του χρόνου έναρξης

2) $t_2=(u_{εν}, E_{εν})$

Χαρακτηριστική του χρόνου περαίωσης των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

3) $t_2=f(U_k, E_k)$

Χαρακτηριστική του χρόνου περαίωσης των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

4) $\Delta t=f(t_1)$

Χαρακτηριστική της χρονικής διάρκειας των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του χρόνου έναρξης των μερικών εκκενώσεων

5) $\Delta t=f(u_{εν}, E_{εν})$

Χαρακτηριστική της χρονικής διάρκειας των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

6) $\Delta t = f(U_k, E_k)$

Χαρακτηριστική της χρονικής διάρκειας των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

7) $u_1 = f(u_{εν}, E_{εν})$

Χαρακτηριστική της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

8) $u_1 = f(U_k, E_k)$

Χαρακτηριστική της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

9) $u_2 = f(u_1)$

Χαρακτηριστική της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

10) $u_2 = f(u_{εν}, E_{εν})$

Χαρακτηριστική της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

11) $u_2 = f(U_k, E_k)$

Χαρακτηριστική της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

12) $\Delta u = f(u_1)$

Χαρακτηριστική του συνολικού άλματος δυναμικού συναρτήσει της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

13) $\Delta u = f(u_{εν}, E_{εν})$

Χαρακτηριστική του συνολικού άλματος δυναμικού συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$14) \Delta u = f(U_k, E_k)$$

Χαρακτηριστική του συνολικού άλματος δυναμικού συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

$$15) q_1 = f(u_{ev}, E_{ev})$$

Χαρακτηριστική του φορτίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$16) q_1 = f(U_k, E_k)$$

Χαρακτηριστική του φορτίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

$$17) q_2 = f(q_1)$$

Χαρακτηριστική του φορτίου κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του φορτίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$18) q_2 = f(u_{ev}, E_{ev})$$

Χαρακτηριστική του φορτίου κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$19) q_2 = f(U_k, E_k)$$

Χαρακτηριστική του φορτίου κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

$$20) \Delta q = f(q_1)$$

Χαρακτηριστική της αύξησης φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του φορτίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$21) \Delta q = f(u_{ev}, E_{ev})$$

Χαρακτηριστική της αύξησης φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$22) \Delta q = f(U_k, E_k)$$

Χαρακτηριστική της αύξησης φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

$$23) i_2 = f(i_1)$$

Χαρακτηριστική του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$24) \Delta i = f(i_1)$$

Χαρακτηριστική της μεταβολής του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$25) \Delta W_e = f(\Delta u)$$

Χαρακτηριστική της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του συνολικού άλματος δυναμικού

$$26) \Delta W_e = f(t_1)$$

Χαρακτηριστική της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει του χρόνου έναρξης των μερικών εκκενώσεων

$$27) \Delta W_e = f(\Delta t)$$

Χαρακτηριστική της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της χρονικής διάρκειας των μερικών εκκενώσεων

$$28) N_e = f(U_k, E_k)$$

Χαρακτηριστική του αριθμού ελεύθερων ηλεκτρονίων συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

$$29) N_e = f(u_{ev}, E_{ev})$$

Χαρακτηριστική του αριθμού ελεύθερων ηλεκτρονίων συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

$$30) N_a = f(U_k, E_k)$$

Χαρακτηριστική του μέγιστου αριθμού αλμάτων δυναμικού συναρτήσει της μέγιστης κρουστικής τάσης και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

$$31) N_a = f(u_{εν}, E_{εν})$$

Χαρακτηριστική του μέγιστου αριθμού αλμάτων δυναμικού συναρτήσει της τάσης έναρξης των μερικών εκκενώσεων και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

Επίσης, θα πρέπει να γίνουν σχόλια επί των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και των υπολογισμών.

3. Αποτελέσματα και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων

3.1 ΘΕΤΙΚΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ +1,2/50 μ s - ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ d=1mm

U _k (kV)	E _k (kV/cm)	u _{ev} (kV)	E _{ev} (kV/cm)	C _m (nF)	t ₁ (μ s)	t ₂ (μ s)	Δ t(μ s)	N _a
28,6	426,0741	27,5 0,8	409,686664	10	3	8	5	50
35,4	527,3785	34,3 0,00	510,991003	10	1,5	11,1	9,6	96
43	640,601	41,5 0,00	618,254421	20	1,2	13	11,8	118
50,5	752,3337	48,8 0,00	727,007608	20	0,9	18,5	17,6	176
57,2	852,1483	55,2 0,00	822,352868	210	0,6	22,2	21,6	216
64	953,4526	62 0,00	923,657207	210	0,55	26,5	25,95	259,5
71,4	1063,696	64 0,00	953,4526	210	0,52	29	28,48	284,8

Πίνακας3.1α: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm)-πλάκα για πάχος δοκιμίου d=1mm

U_k: μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

u_{ev}: τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων

E_{ev}: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

C_m: πυκνωτής μέτρησης

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

Δ t: χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

N_a: μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης είναι η τυπική απόκλιση.

$C_m(\text{nF})$	$u_1(\text{V})$	$u_2(\text{V})$	$\Delta u(\text{V})$	$\Delta W_e(\text{eV})$	$q_1(\text{nC})$	$q_2(\text{nC})$
10	8	20	12	6	80	200
10	10	35	25	12,5	100	350
20	5,5	36	30,5	15,25	110	720
20	6,5	60	53,5	26,75	130	1200
210	0,95	10,48	9,53	4,765	199,5	2200,8
210	1,05	10,95	9,9	4,95	220,5	2299,5
210	1,14	14,29	13,15	6,575	239,4	3000,9

Πίνακας 3.1β: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$)-πλάκα για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δu : συνολικό άλμα δυναμικού

ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

q_1 :φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 :φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

$t_1(\mu s)$	$t_2(\mu s)$	$q_1(nC)$	$q_2(nC)$	$\Delta q(nC)$	$N_e (-)$	$i_1(mA)$	$i_2(mA)$	$\Delta i(mA)$
3	8	80	200	120	7,49E+11	26,66667	25	-1,66667
1,5	11,1	100	350	250	1,56E+12	66,66667	31,53153	-35,1351
1,2	13	110	720	610	3,81E+12	91,66667	55,38462	-36,2821
0,9	18,5	130	1200	1070	6,68E+12	144,4444	64,86486	-79,5795
0,6	22,2	199,5	2200,8	2001,3	1,25E+13	332,5	99,13514	-233,365
0,55	26,5	220,5	2299,5	2079	1,30E+13	400,9091	86,77358	-314,136
0,52	29	239,4	3000,9	2761,5	1,72E+13	460,3846	103,4793	-356,905

Πίνακας 3.1γ: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό

κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα
καμπυλότητας R=0,9mm)-πλάκα για πάχος δοκιμίου d=1mm

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

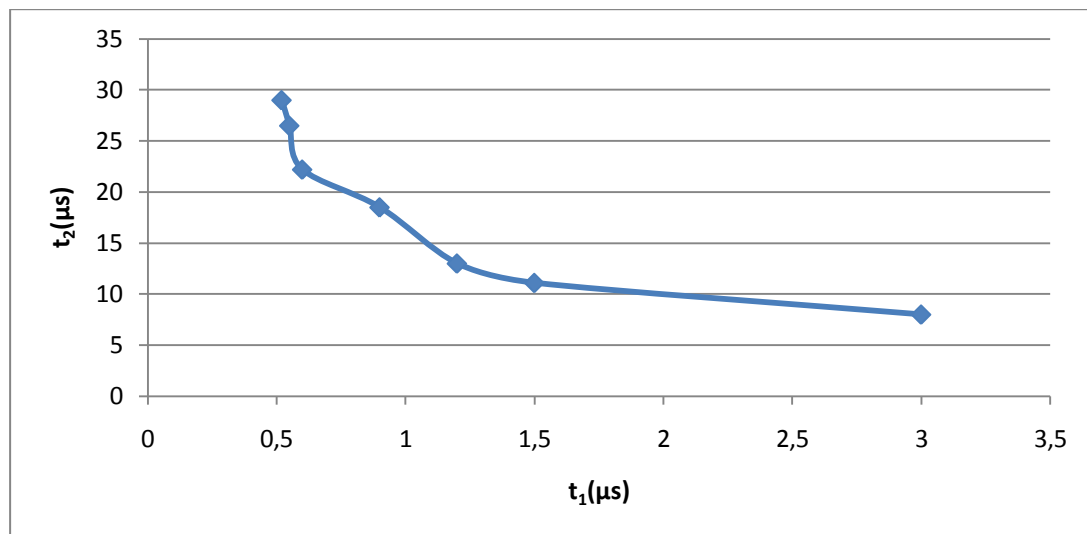
N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών
εκκενώσεων

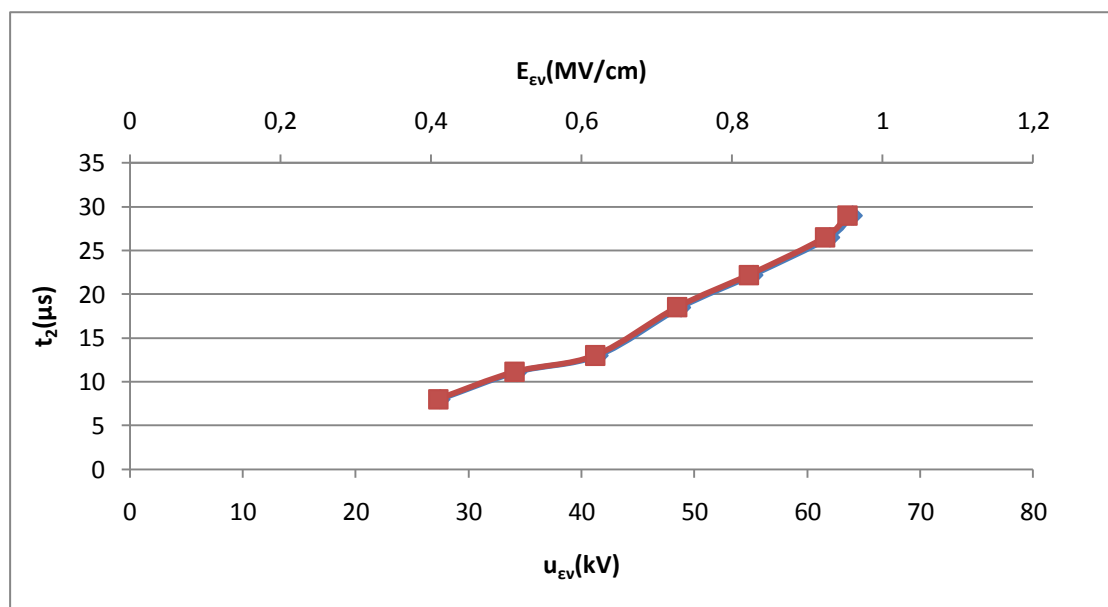
i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των
μερικών εκκενώσεων

Δi : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

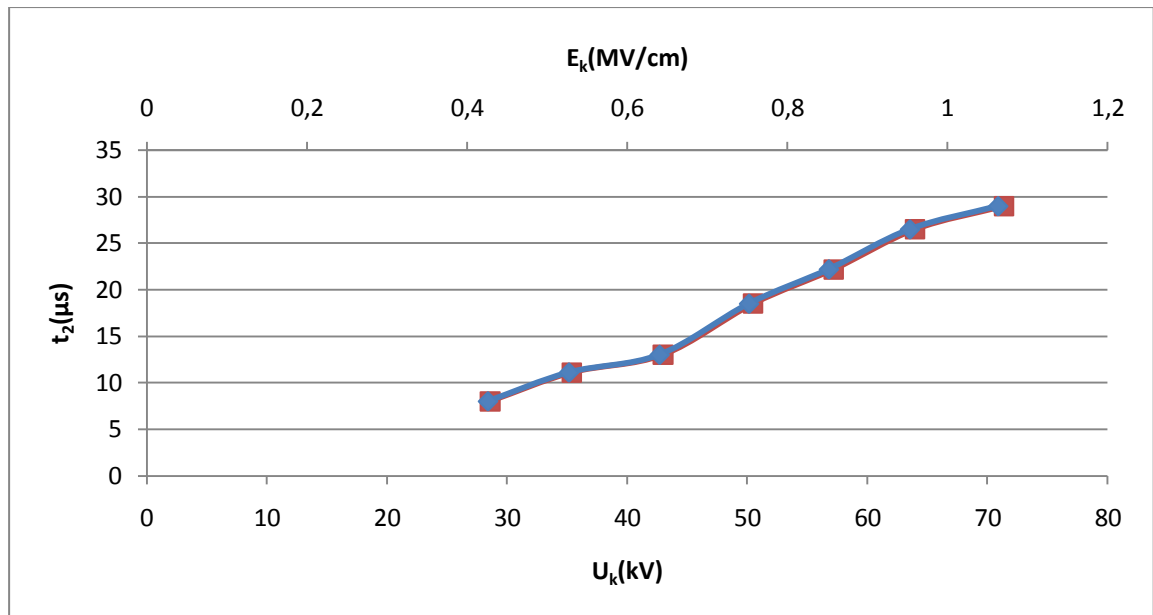
Διαγράμματα



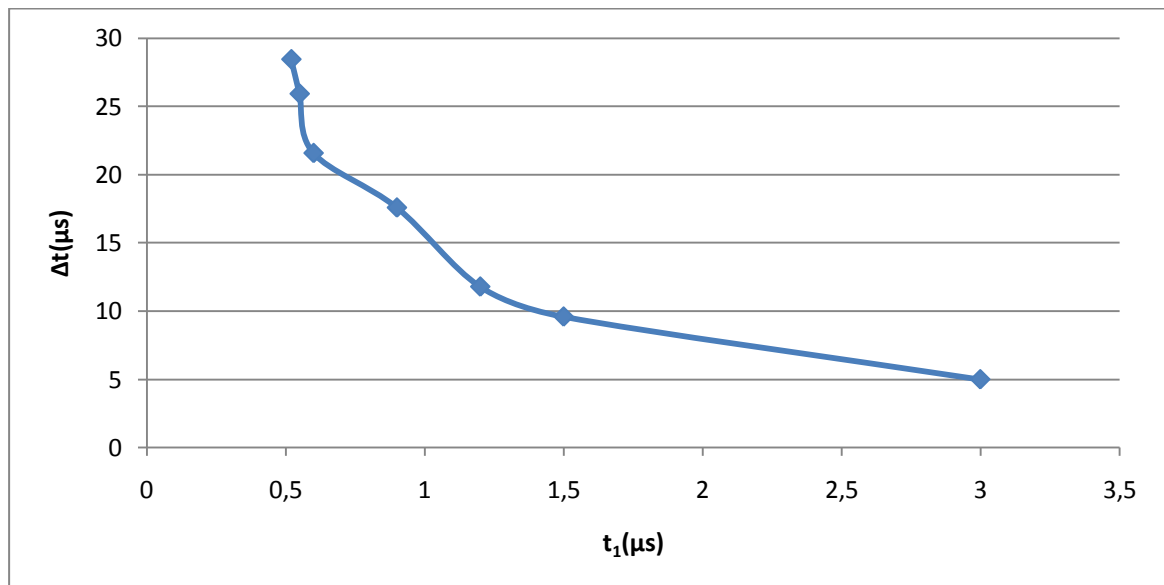
Σχήμα 3.1.1: Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm)-πλάκα
Πάχος δοκιμίου: d=1mm
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



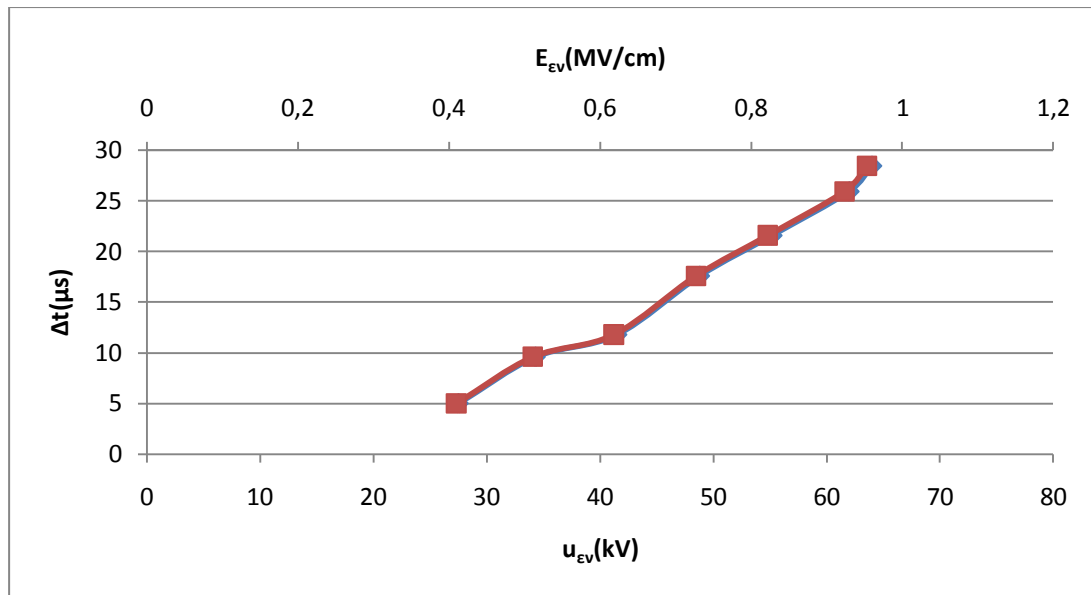
Σχήμα 3.1.2: Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) -πλάκα
Πάχος δοκιμίου: d=1mm
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



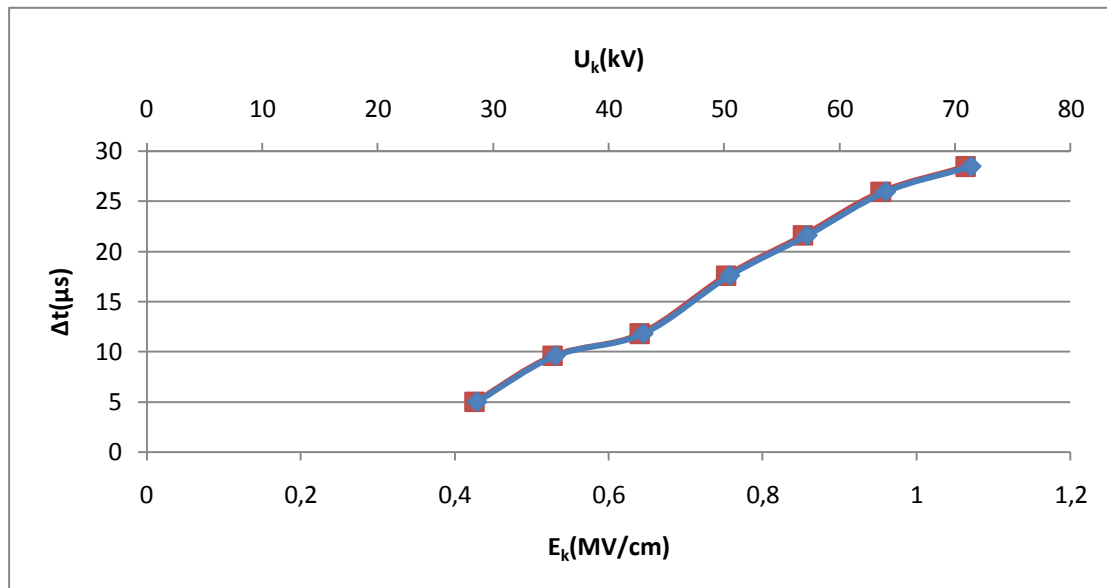
Σχήμα 3.1.3: Χαρακτηριστική $t_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



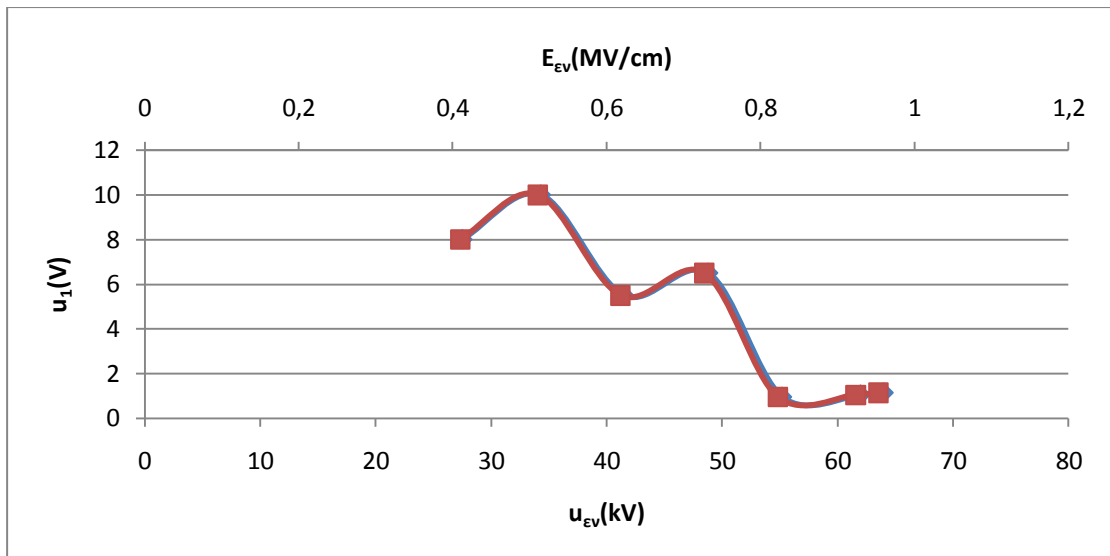
Σχήμα 3.1.4: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



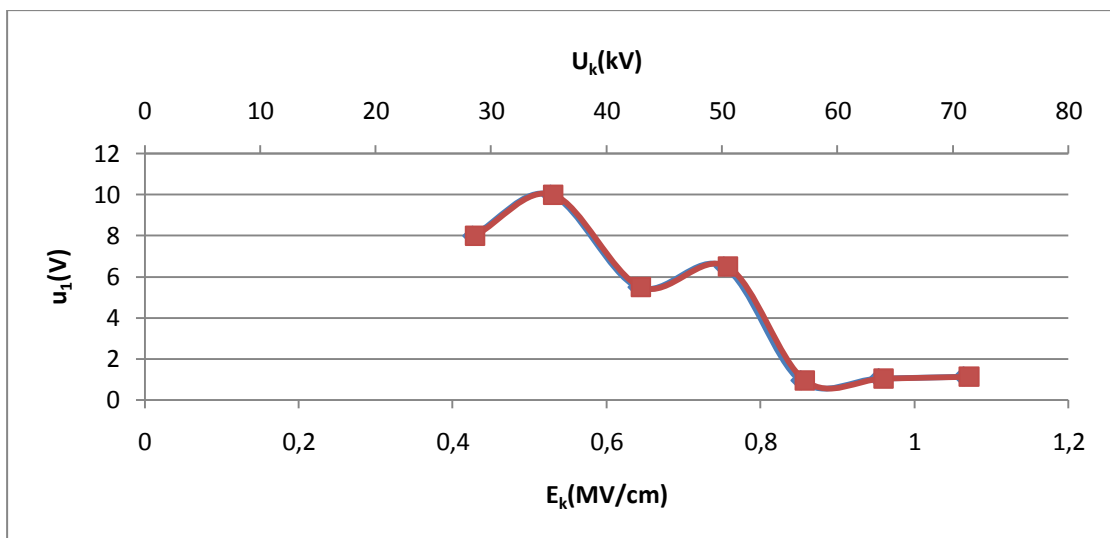
Σχήμα 3.1.5: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



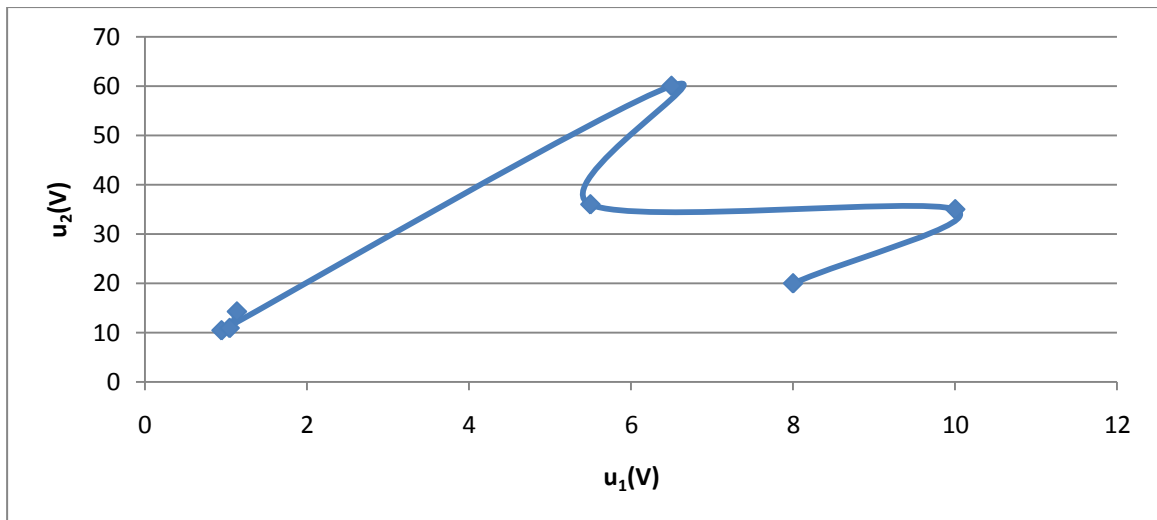
Σχήμα 3.1.6: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



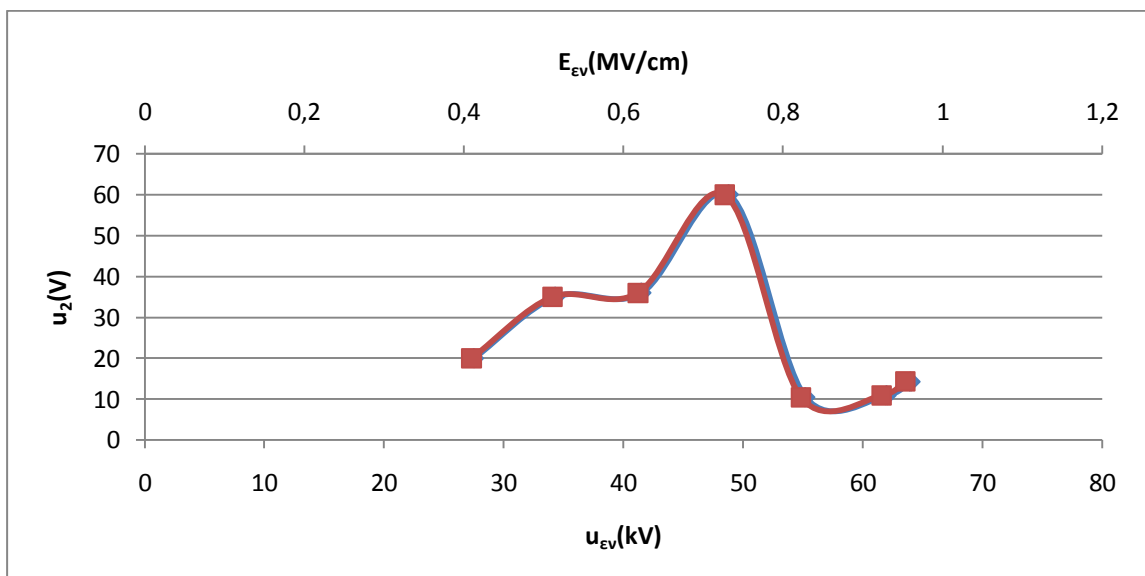
Σχήμα 3.1.7: Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{ev},E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



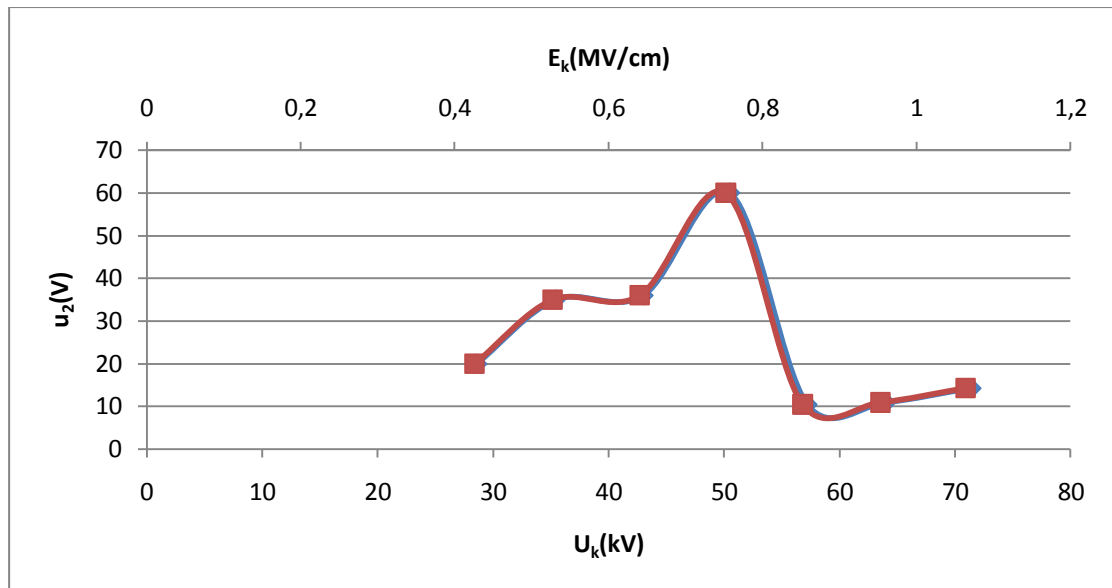
Σχήμα 3.1.8: Χαρακτηριστική $u_1=f(U_k,E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



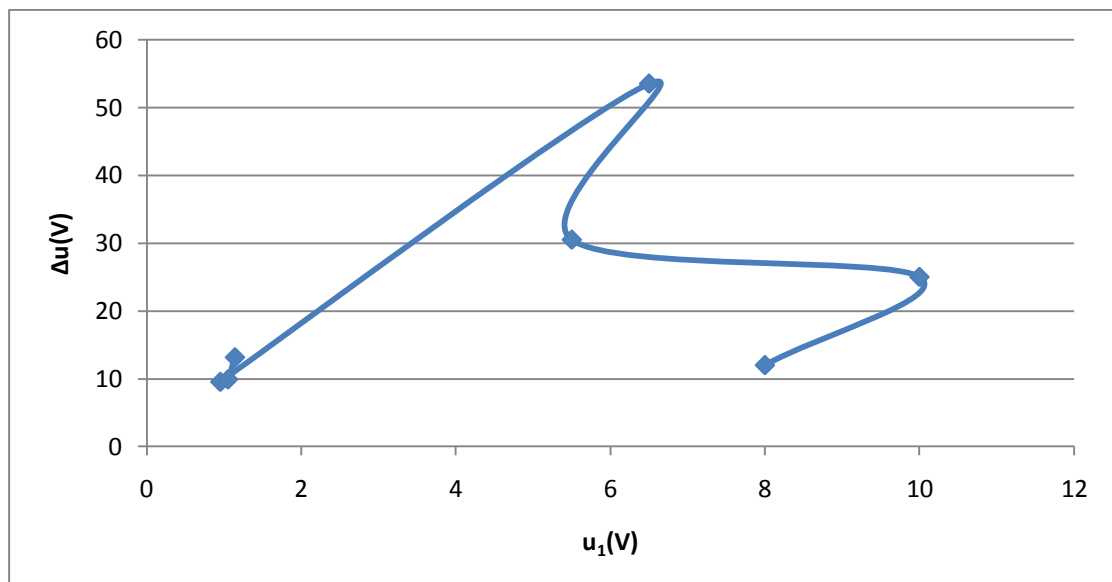
Σχήμα 3.1.9: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



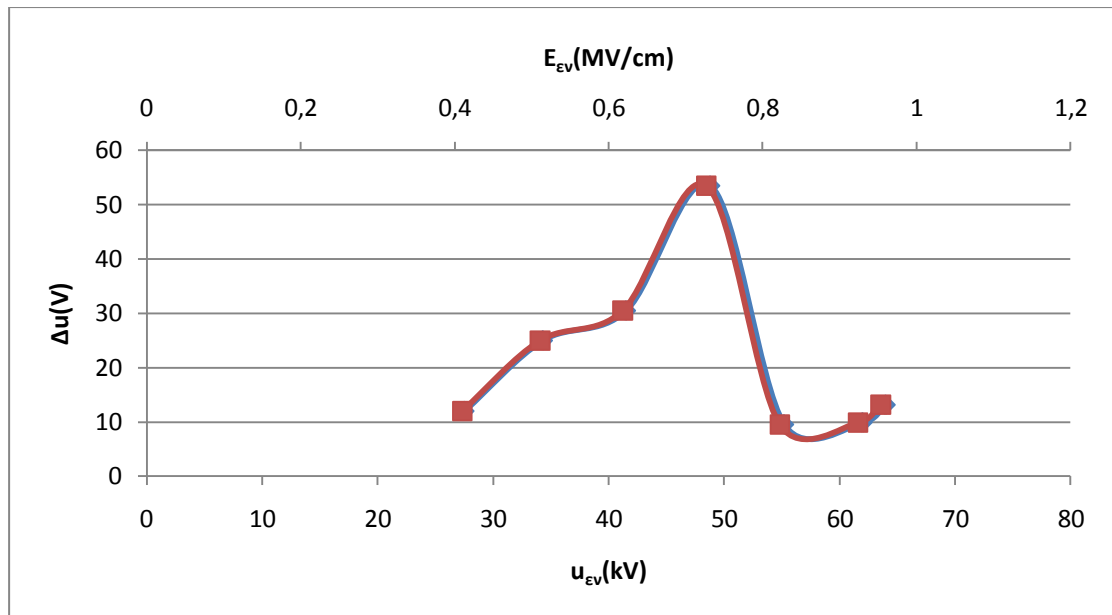
Σχήμα 3.1.10: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



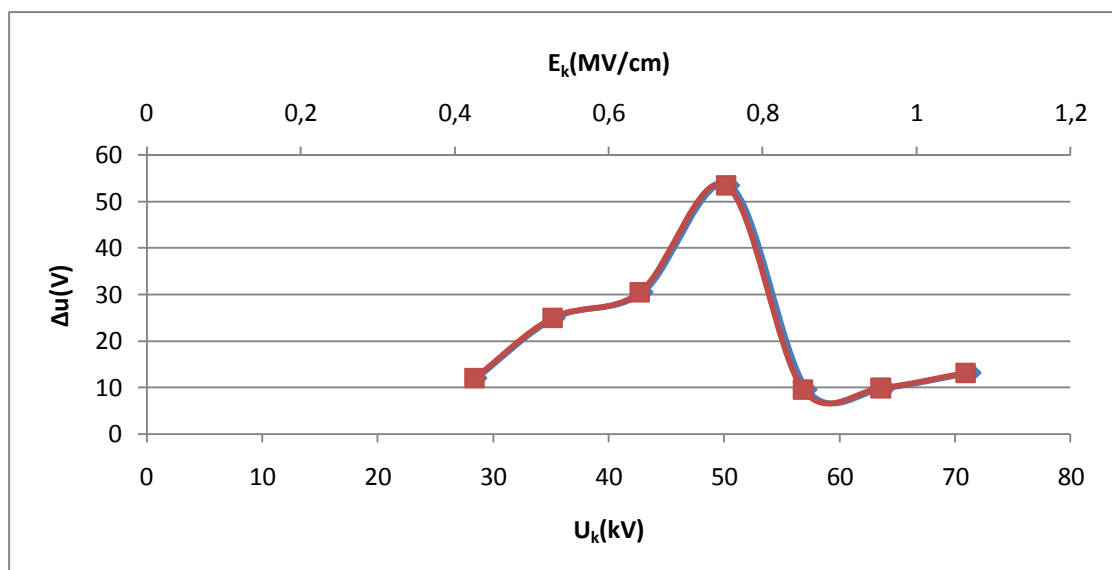
Σχήμα 3.1.11: Χαρακτηριστική $u_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_2 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαιώση των μερικών εκκενώσεων



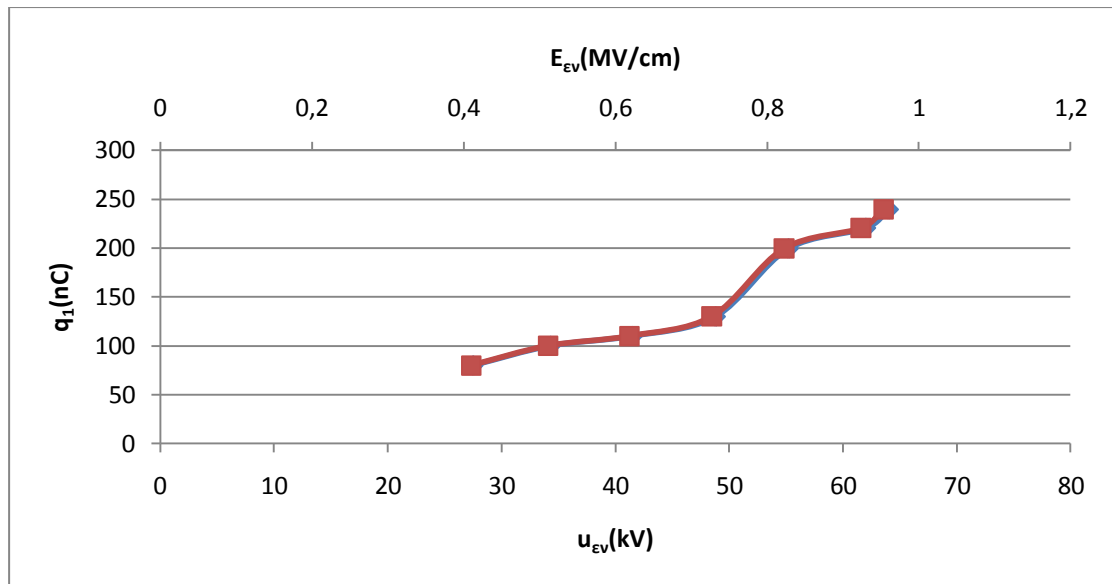
Σχήμα 3.1.12: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



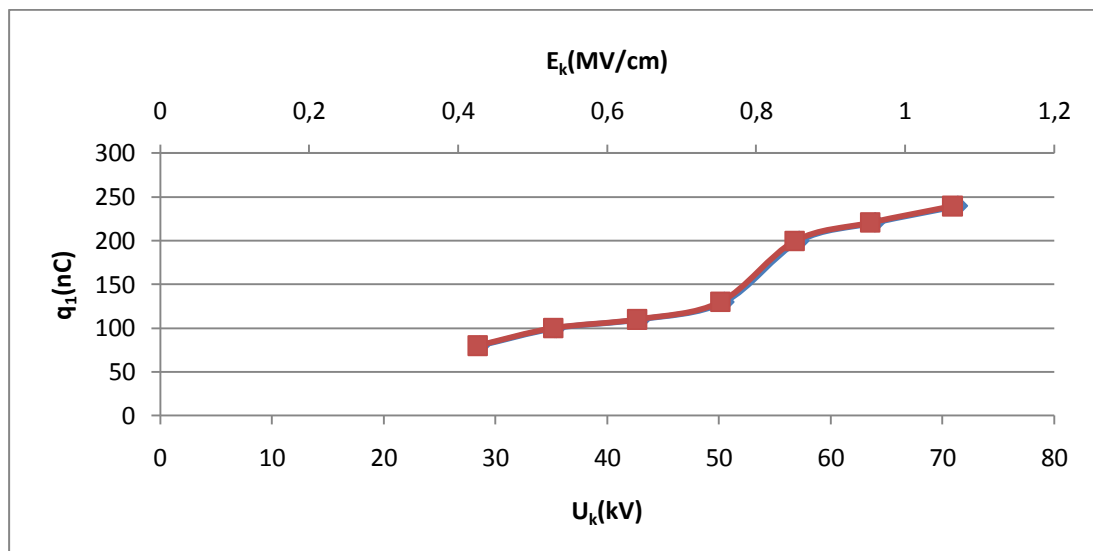
Σχήμα 3.1.13: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : άλμα δυναμικού



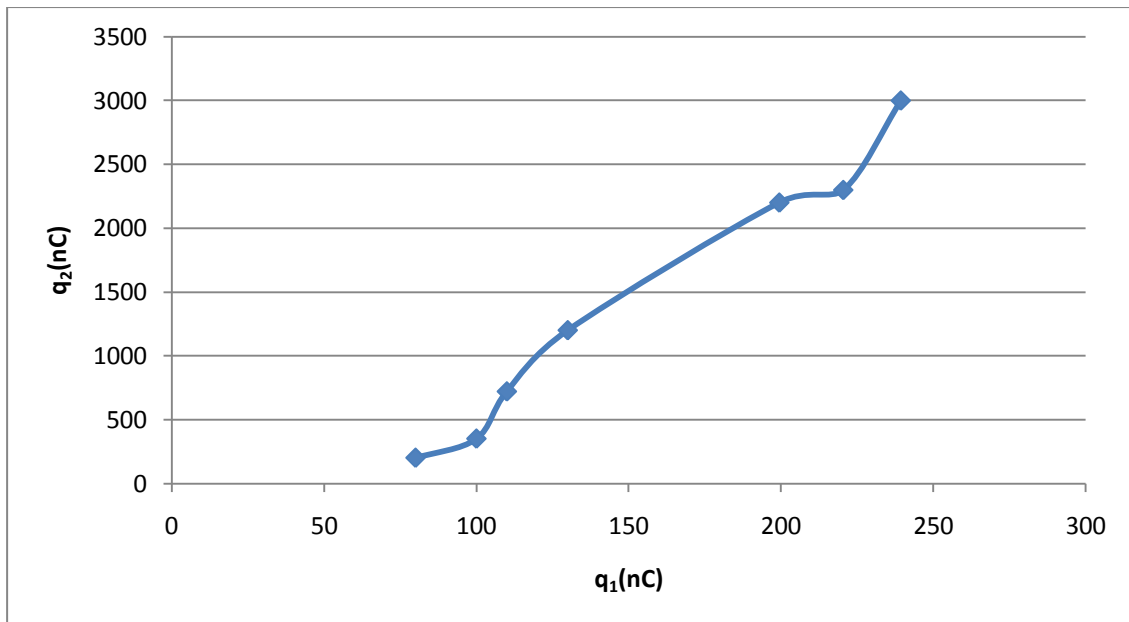
Σχήμα 3.1.14: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



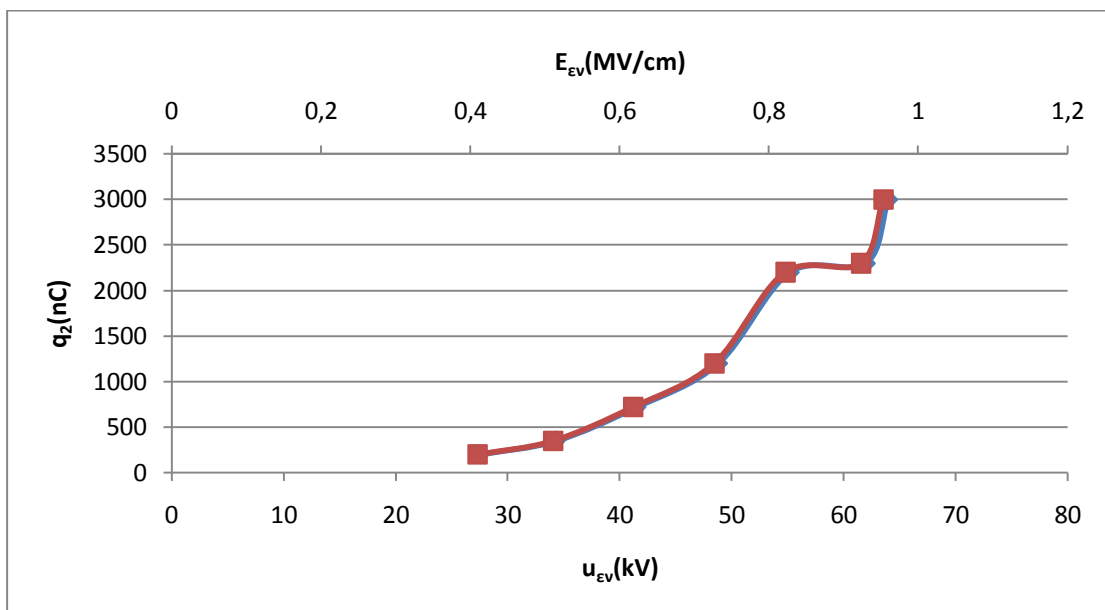
Σχήμα 3.1.15: Χαρακτηριστική $q_1=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



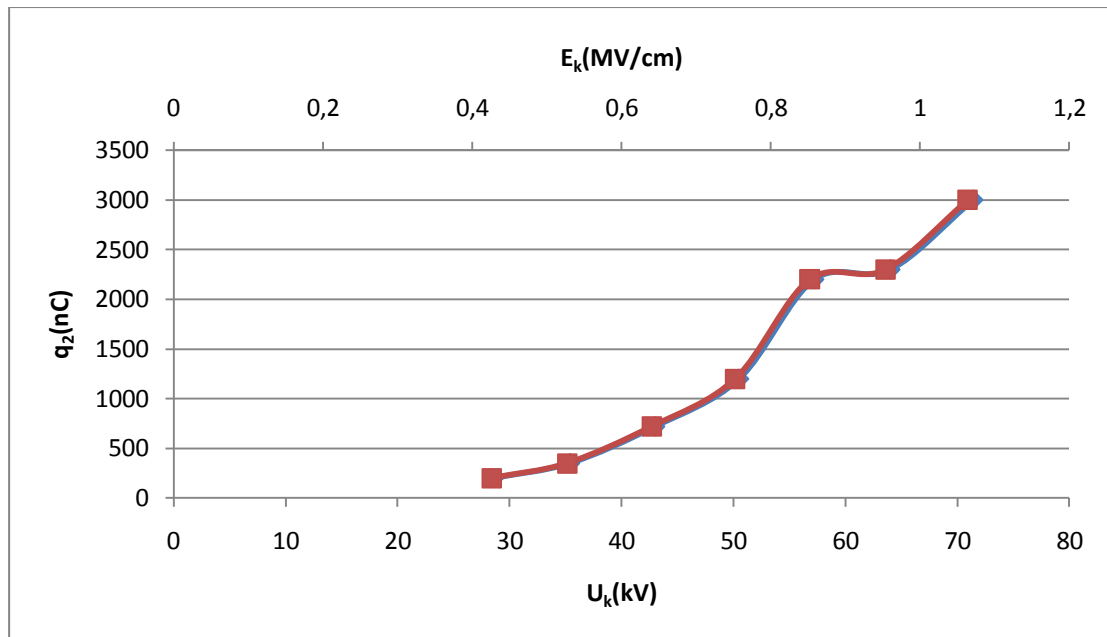
Σχήμα 3.1.16: Χαρακτηριστική $q_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



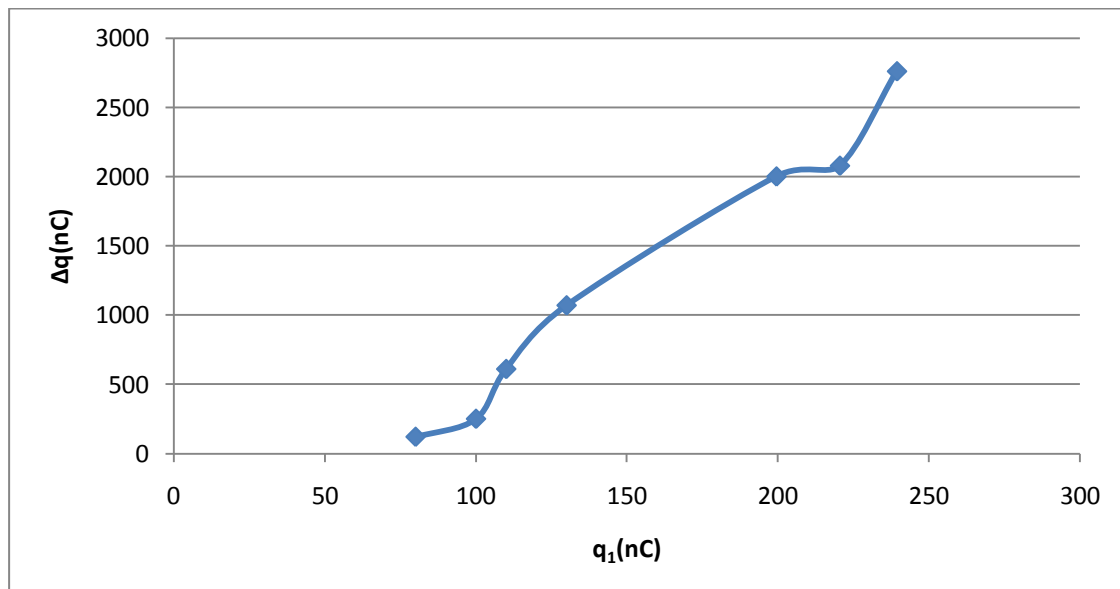
Σχήμα 3.1.17: Χαρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



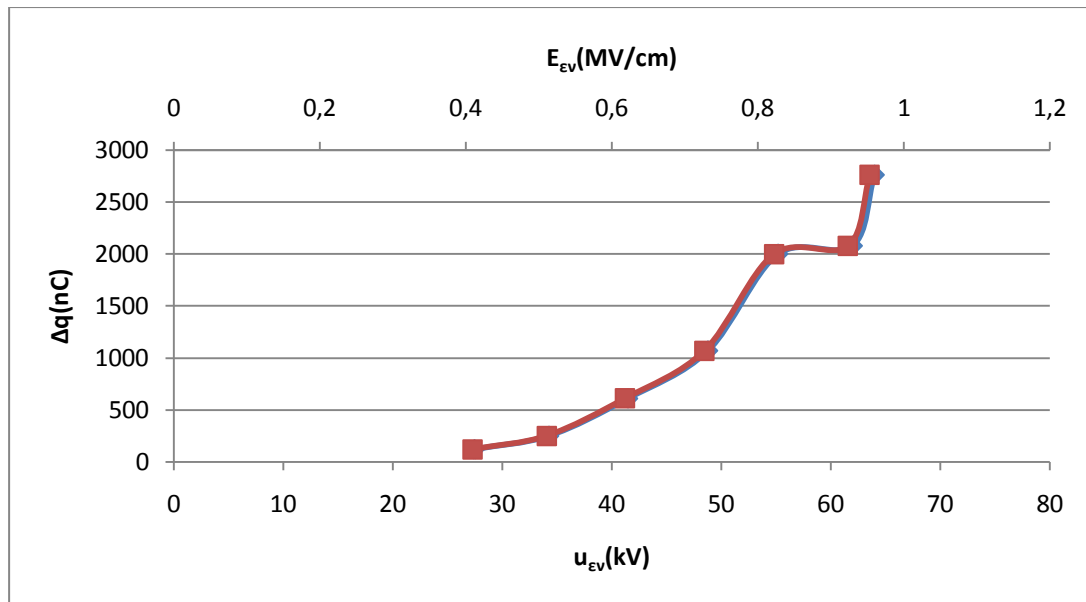
Σχήμα 3.1.18: Χαρακτηριστική $q_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 u_{Ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



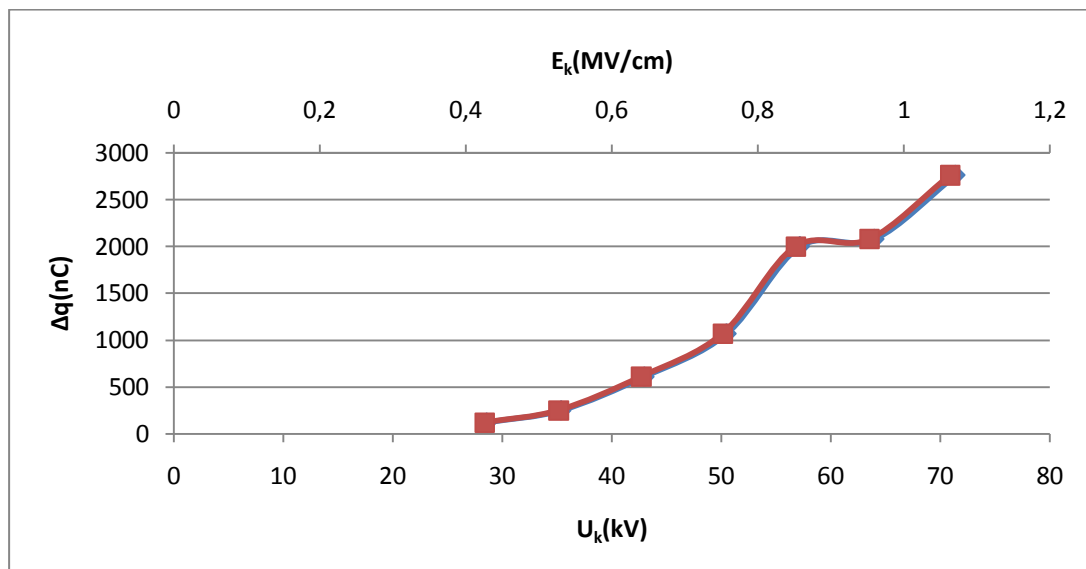
Σχήμα 3.1.19: Χαρακτηριστική $q_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_2 : φορτίο κατά την περαιώση των μερικών εκκενώσεων



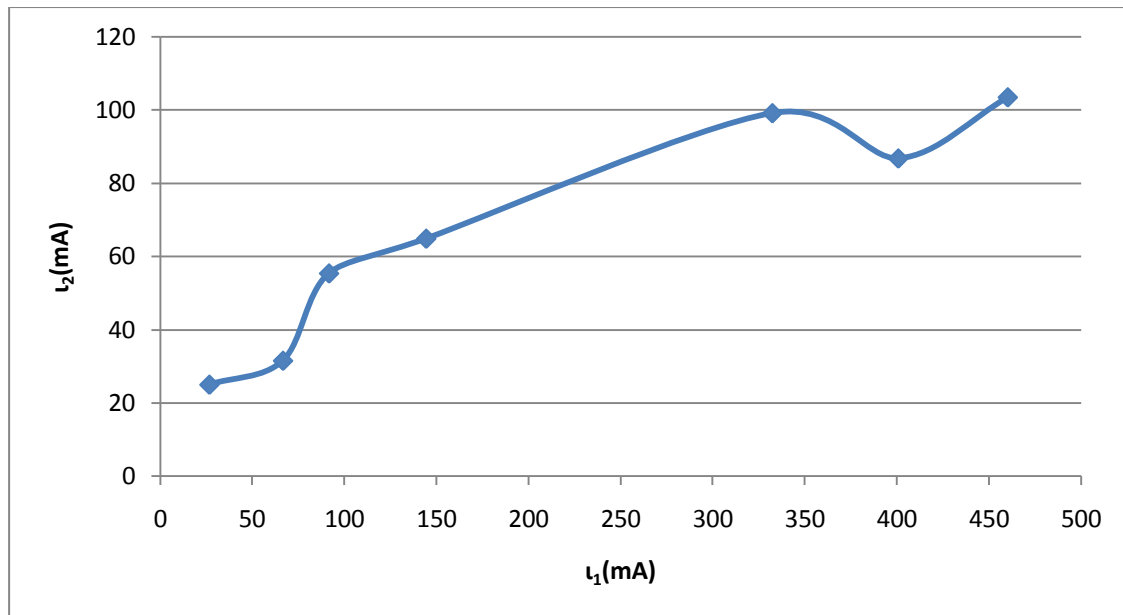
Σχήμα 3.1.20: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



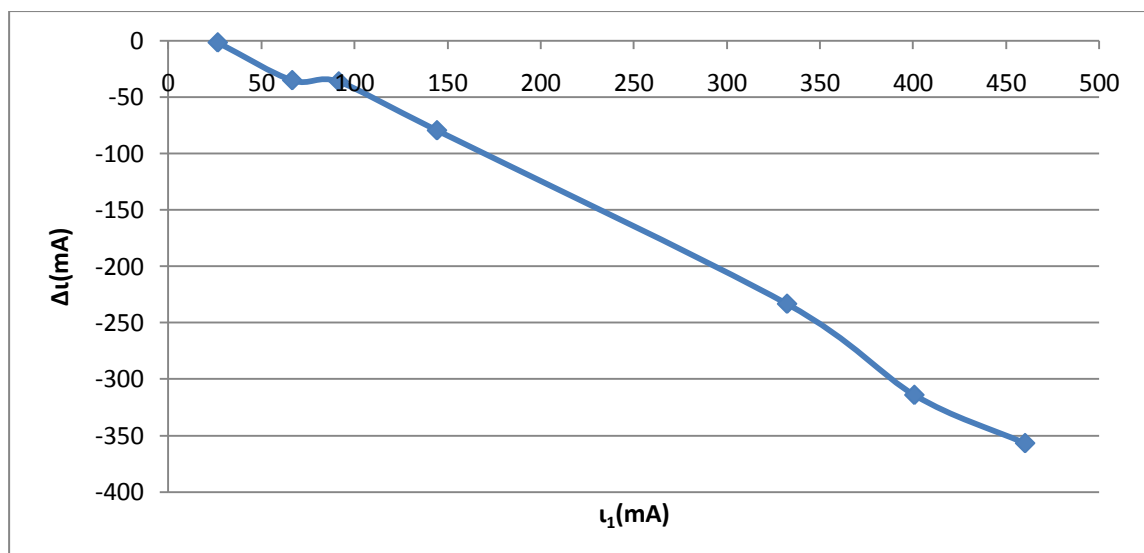
Σχήμα 3.1.21: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: d=1mm
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



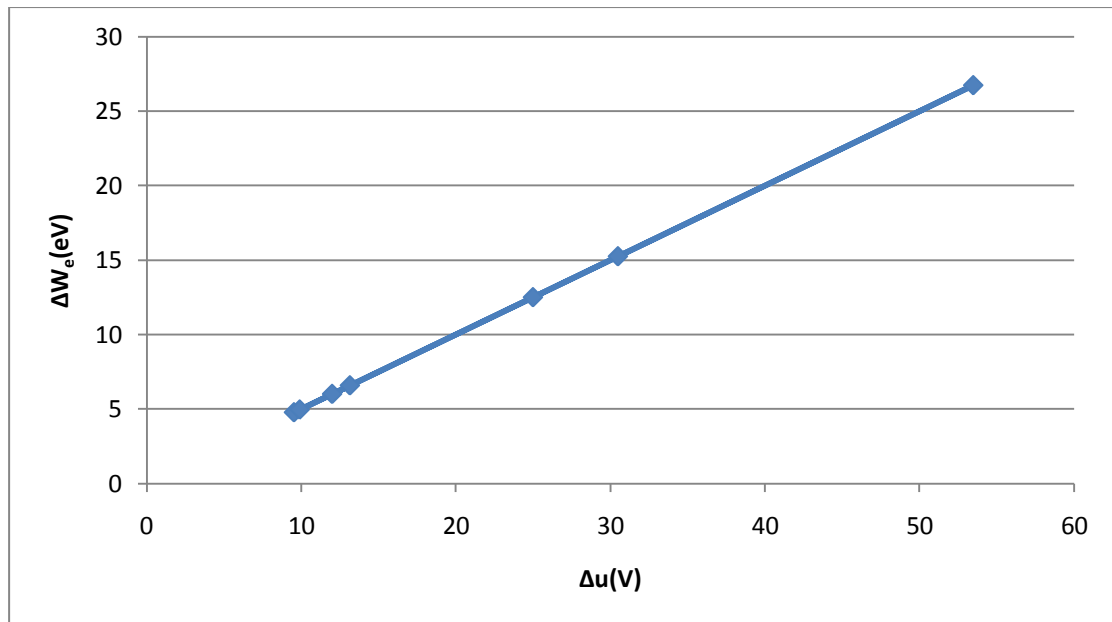
Σχήμα 3.1.22: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: d=1mm
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



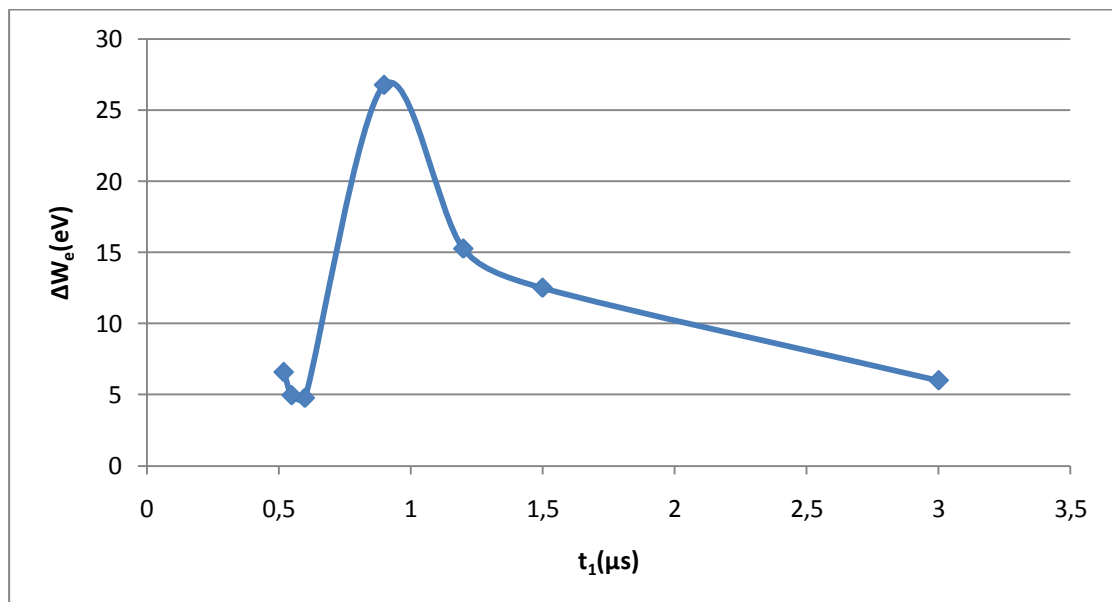
Σχήμα 3.1.23: Χαρακτηριστική $i_2=f(i_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 i_1 :στιγμαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 i_2 :στιγμαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



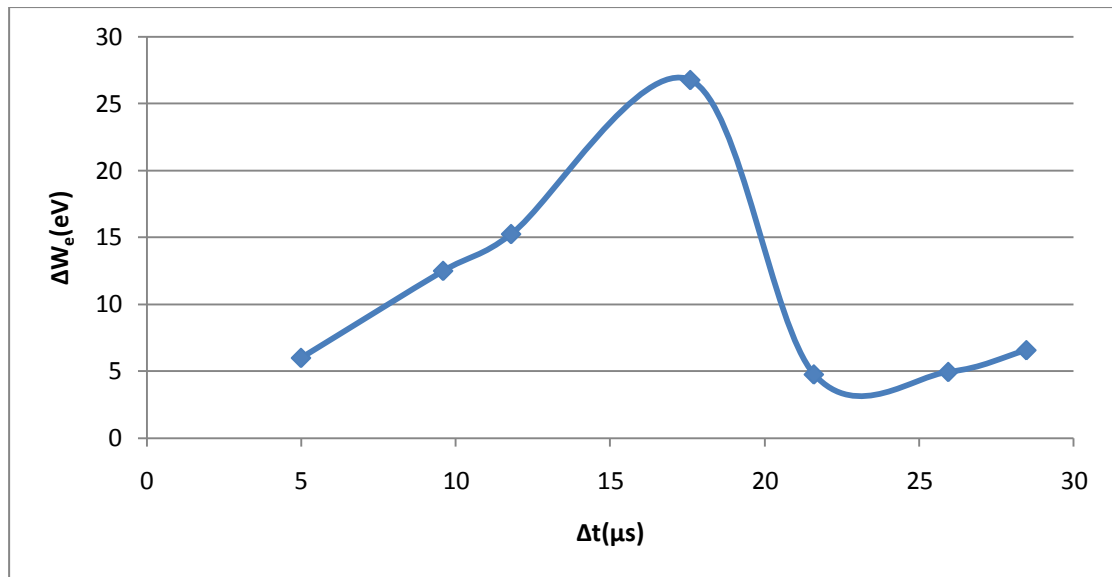
Σχήμα 3.1.24: Χαρακτηριστική $\Delta i=f(i_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 i_1 :στιγμαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δi : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



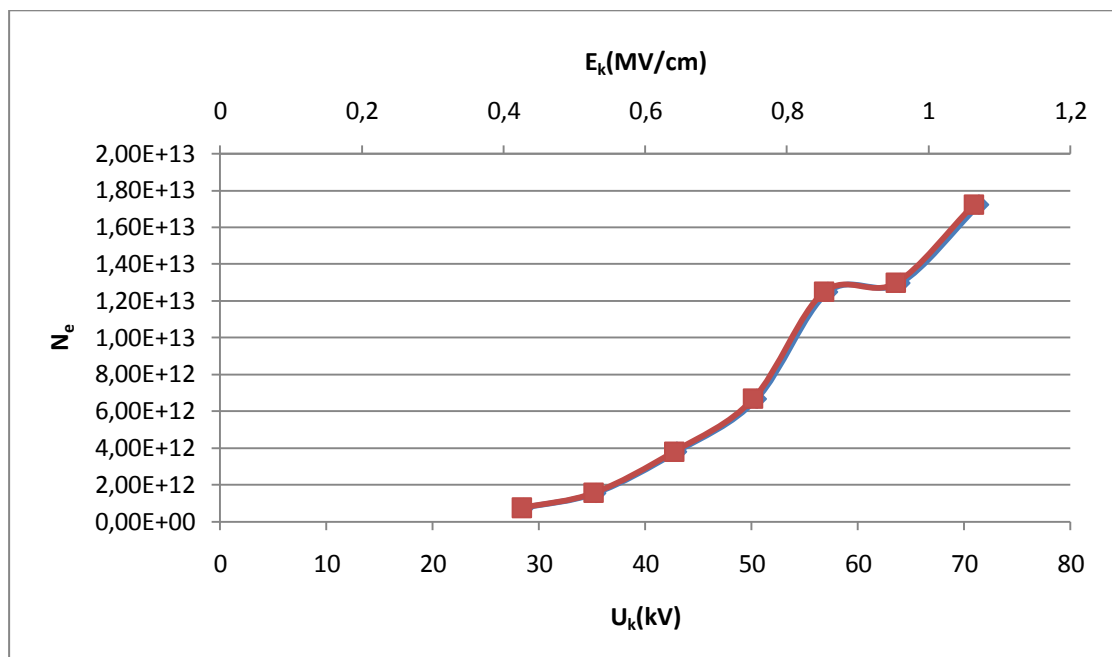
Σχήμα 3.1.25: Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta u)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



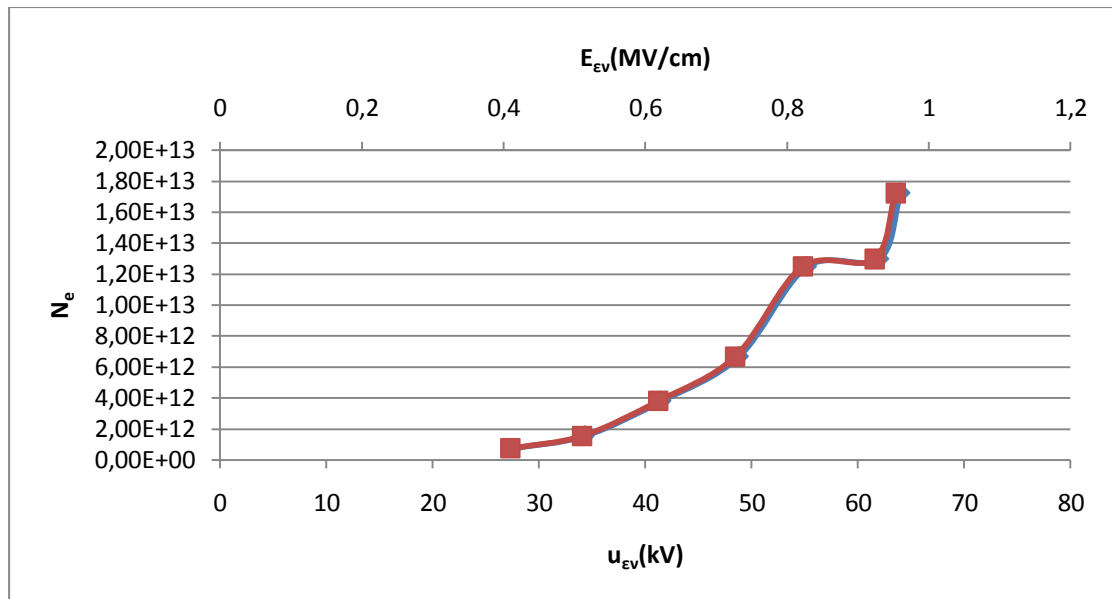
Σχήμα 3.1.26: Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



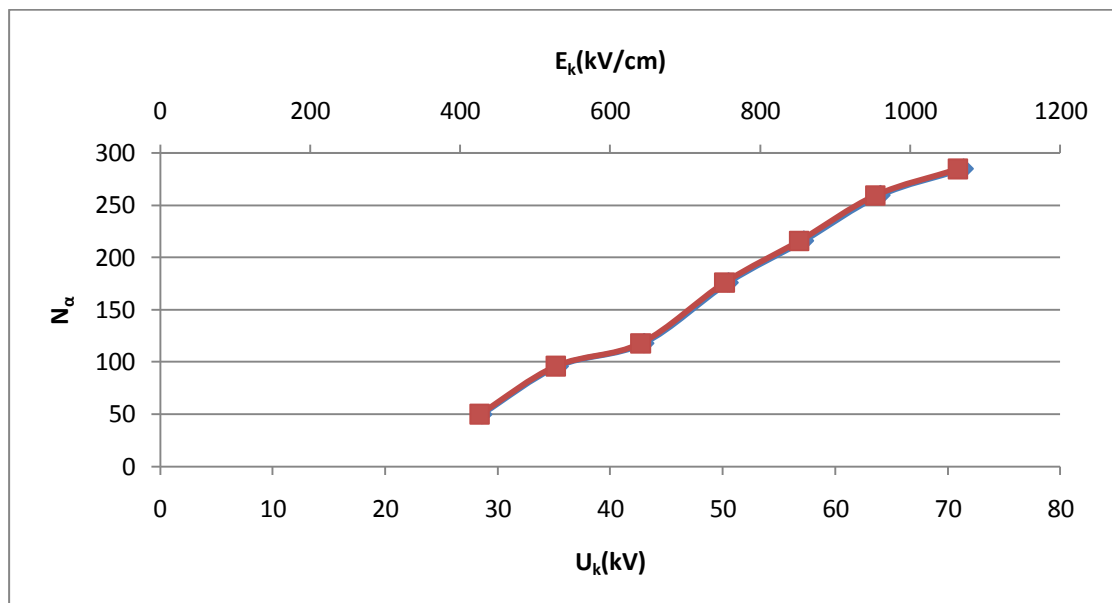
Σχήμα 3.1.27: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(\Delta t)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



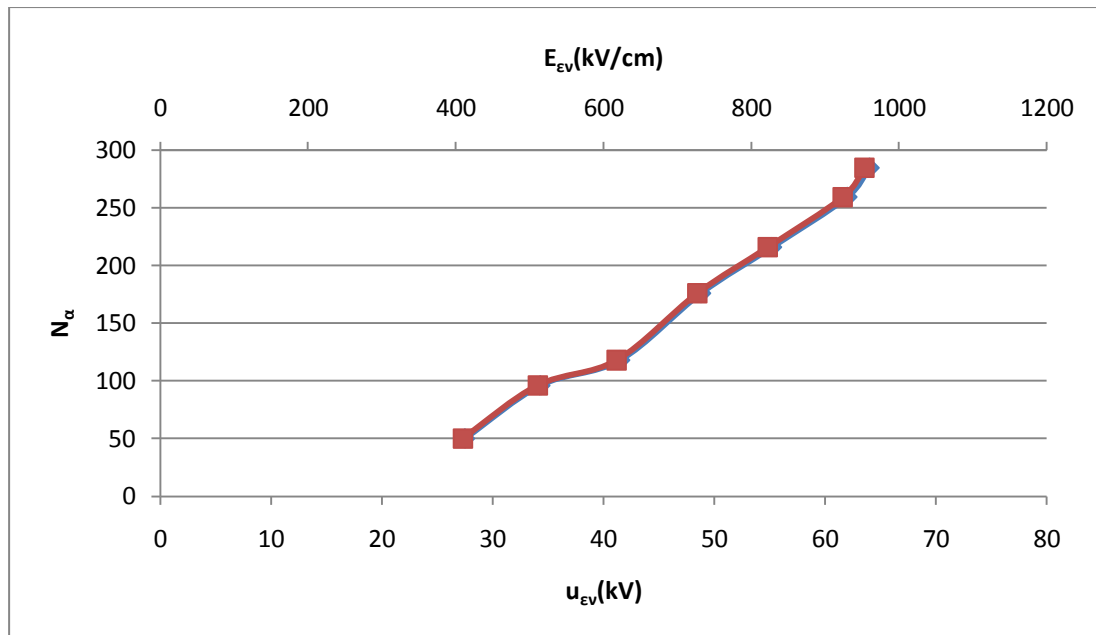
Σχήμα 3.1.28: Χαρακτηριστική $N_e=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.1.29: Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.1.30: Χαρακτηριστική $N_\alpha = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_α : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



Σχήμα 3.1.31: Χαρακτηριστική $N_{\alpha} = f(u_{\epsilon\nu}, E_{\epsilon\nu})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 $u_{\epsilon\nu}$: τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 $E_{\epsilon\nu}$: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_{α} : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

3.2 ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ -1,2/50 μ s - ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ d=1mm

U_k (kV)	E_k (kV/cm)	u_{ev} (kV)	E_{ev} (kV/cm)	C_m (nF)	t_1 (μ s)	t_2 (μ s)	Δt (μ s)	N_a
29,1	433,5229793	27,5 1,40	409,6866643	10	3,3	15	11,7	117
36,7	546,7454756	35 0,00	521,4193909	10	1,7	16,5	14,8	148
44,1	656,9884325	42,2 0,00	628,6828084	20	1,6	19,5	17,9	179
51,5	767,2313894	49,5 0,00	737,4359957	20	1,5	24,5	23	230
58,2	867,0459586	55,7 0,00	829,8017163	210	1,4	27,5	26,1	261
66,4	989,207073	64 0,00	953,4526005	210	1,2	32	30,8	308
72,1	1074,123945	69,2 0,00	1030,920624	210	1	34,3	33,3	333
78,1	1163,510127	75,15 0,00	1119,561921	210	0,85	40	39,15	391,5

Πίνακας 3.2α: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό

κρουστικές τάσεις -1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα
καμπυλότητας R=0,9mm)-πλάκα για πάχος δοκιμίου d=1mm

U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων

E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των
μερικών εκκενώσεων

C_m : πυκνωτής μέτρησης

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης είναι η τυπική
απόκλιση

$C_m(\text{nF})$	$u_1(\text{V})$	$u_2(\text{V})$	$\Delta u(\text{V})$	$\Delta W_e(\text{eV})$	$q_1(\text{nC})$	$q_2(\text{nC})$
10	11	22	11	5,5	110	220
10	13	45	32	16	130	450
20	8,5	47,5	39	19,5	170	950
20	10,5	65	54,5	27,25	210	1300
210	1,14	10,24	9,1	4,55	239,4	2150,4
210	1,24	14,29	13,05	6,525	260,4	3000,9
210	1,29	19,05	17,76	8,88	270,9	4000,5
210	1,38	29,05	27,67	13,835	289,8	6100,5

Πίνακας 3.2β: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό

κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu\text{s}$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα

καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα για πάχος δοκιμίου $d=1\text{mm}$

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των

μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών

εκκενώσεων

Δu : συνολικό άλμα δυναμικού

ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των

μερικών εκκενώσεων

q_1 :φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 :φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

$t_1(\mu s)$	$t_2(\mu s)$	$q_1(nC)$	$q_2(nC)$	$\Delta q(nC)$	N_e	$i_1(mA)$	$i_2(mA)$	$\Delta i(mA)$
3,3	15	110	220	110	6,875E+11	33,33333	14,66667	-18,6667
1,7	16,5	130	450	320	2E+12	76,47059	27,27273	-49,1979
1,6	19,5	170	950	780	4,875E+12	106,25	48,71795	-57,5321
1,5	24,5	210	1300	1090	6,8125E+12	140	53,06122	-86,9388
1,4	27,5	239,4	2150,4	1911	1,19438E+13	171	78,19636	-92,8036
1,2	32	260,4	3000,9	2740,5	1,71281E+13	217	93,77813	-123,222
1	34,3	270,9	4000,5	3729,6	2,331E+13	270,9	116,6327	-154,267
0,85	40	289,8	6100,5	5810,7	3,63169E+13	340,9412	152,5125	-188,429

Πίνακας 3.2γ: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό

κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα

καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα για πάχος δοκιμίου $d=1mm$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

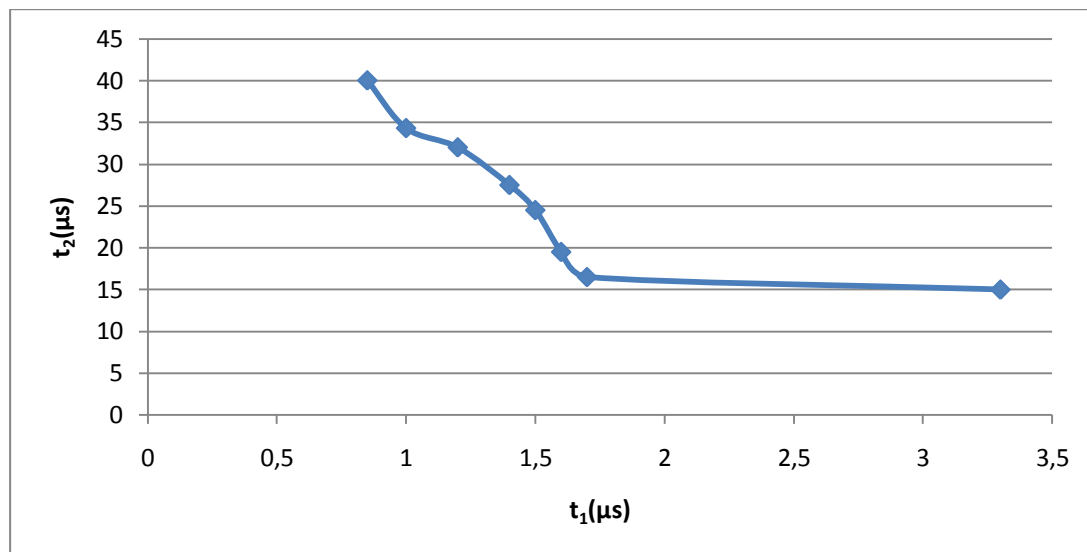
N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

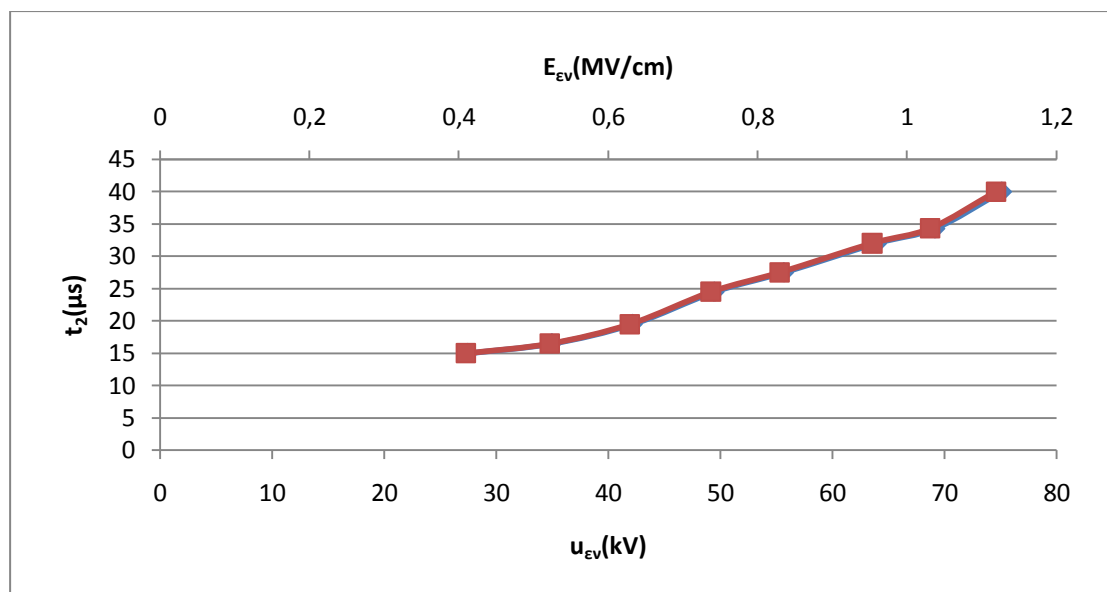
i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δi : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

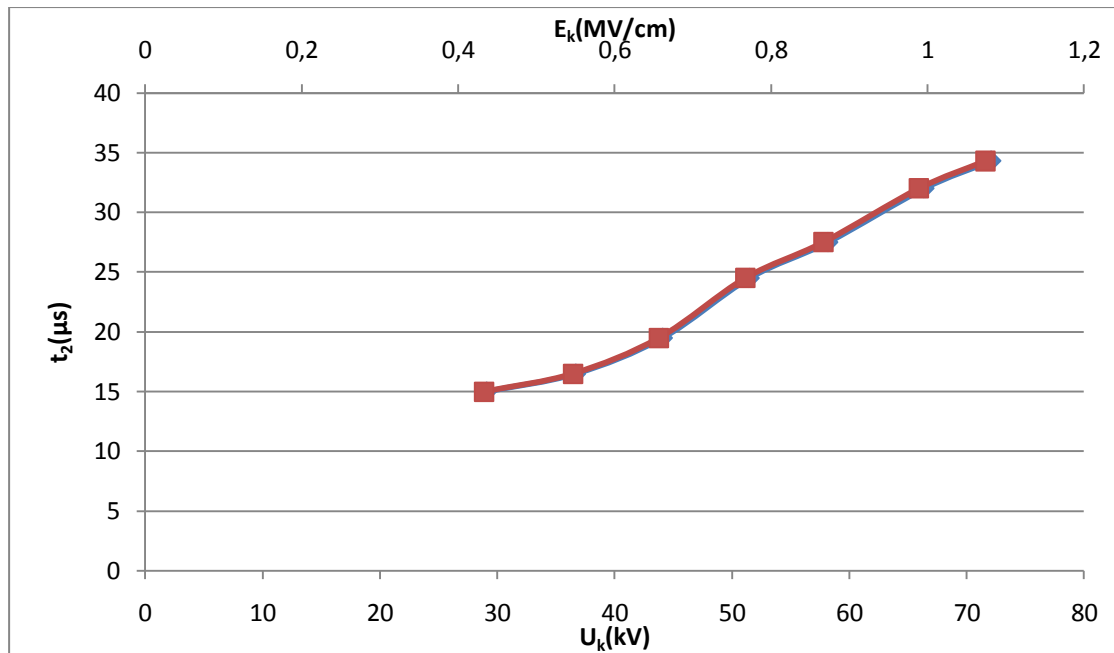
Διαγράμματα



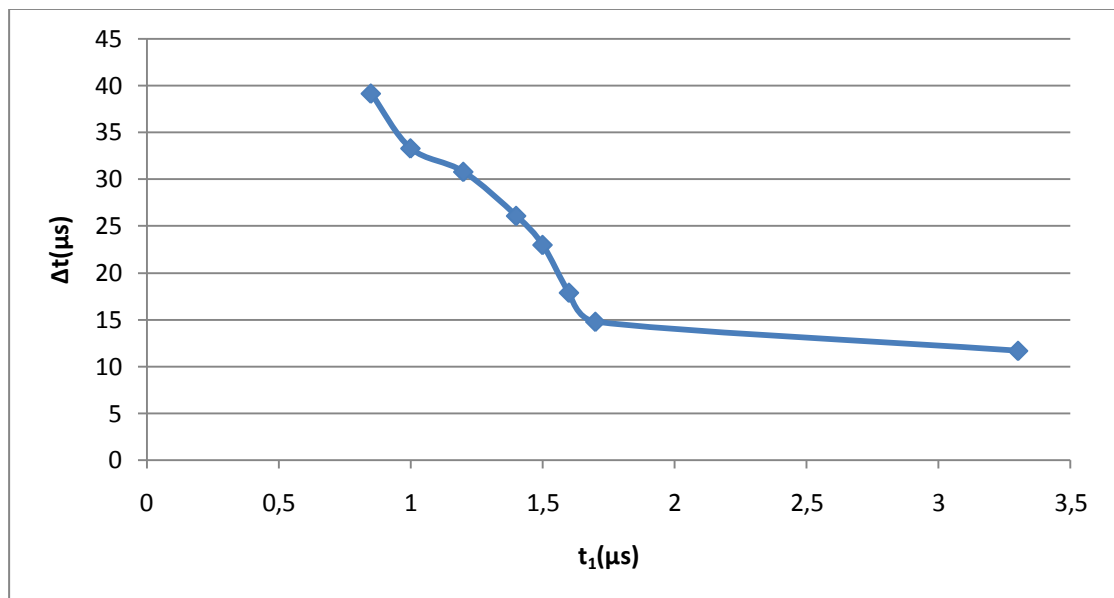
Σχήμα 3.2.1: Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu\text{s}$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



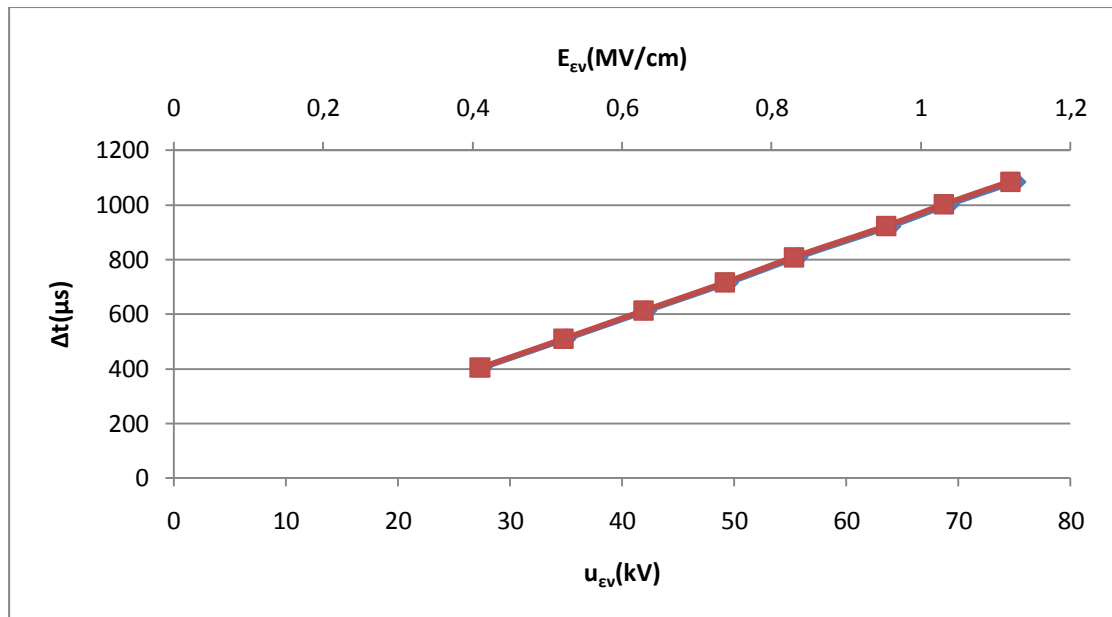
Σχήμα 3.2.2: Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu\text{s}$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



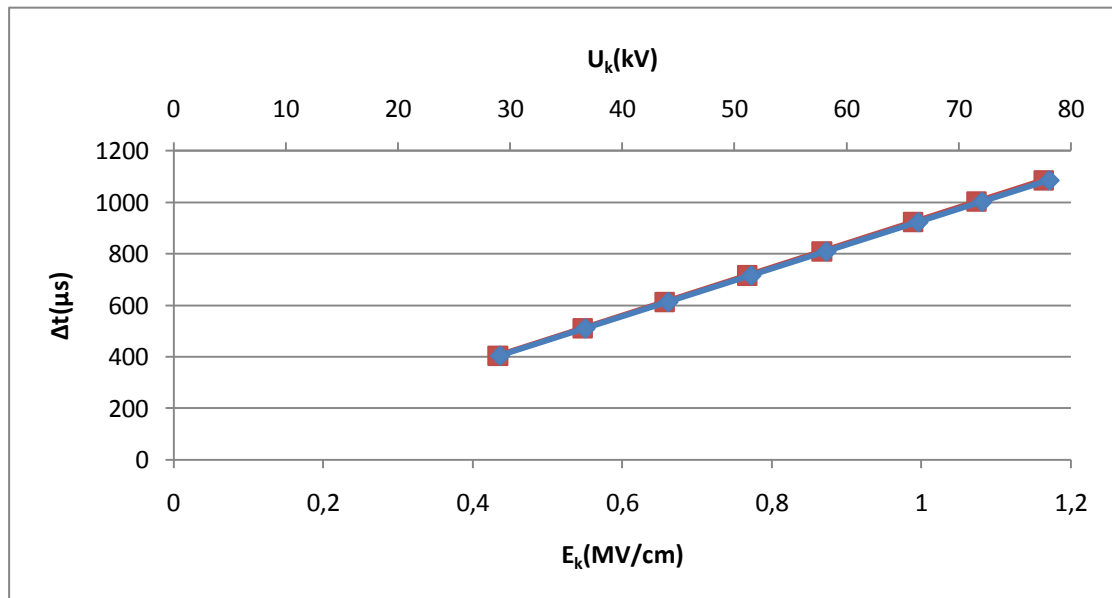
Σχήμα 3.2.3: Χαρακτηριστική $t_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu$ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



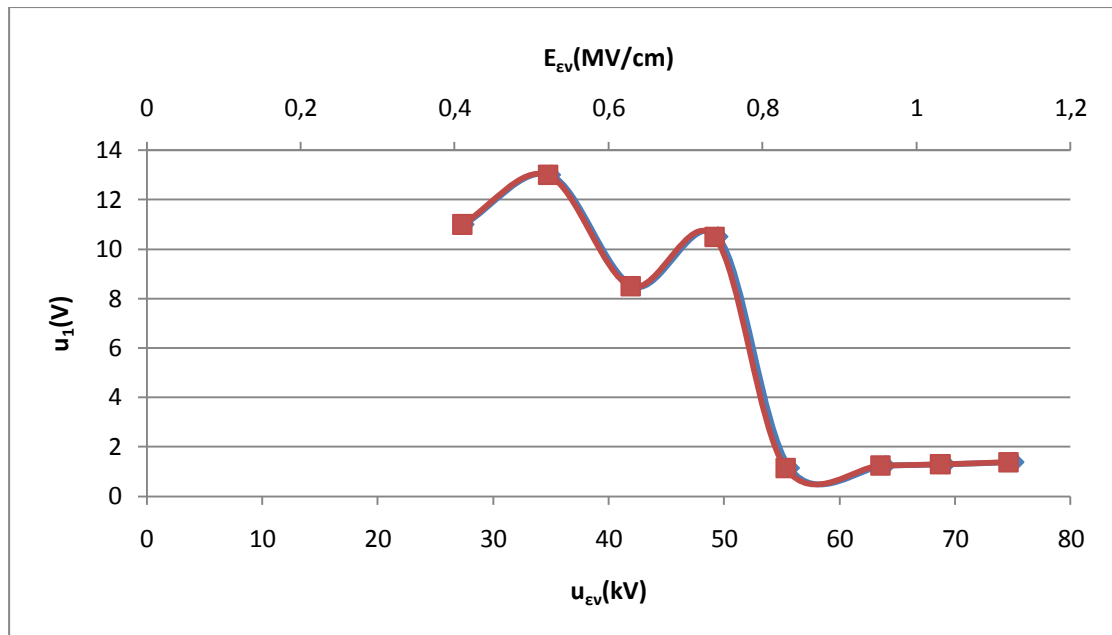
Σχήμα 3.2.4: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu$ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



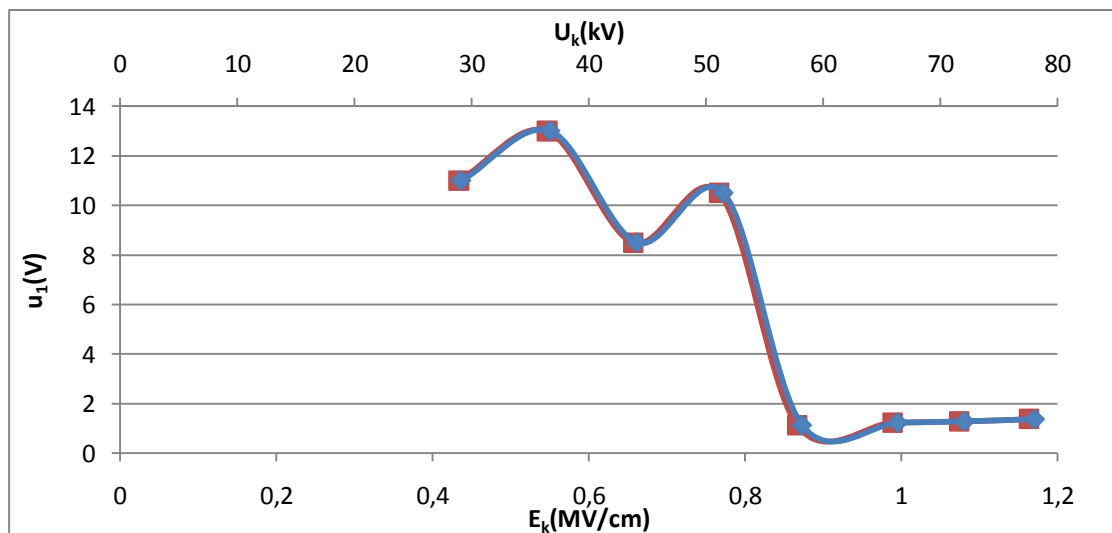
Σχήμα 3.2.5: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



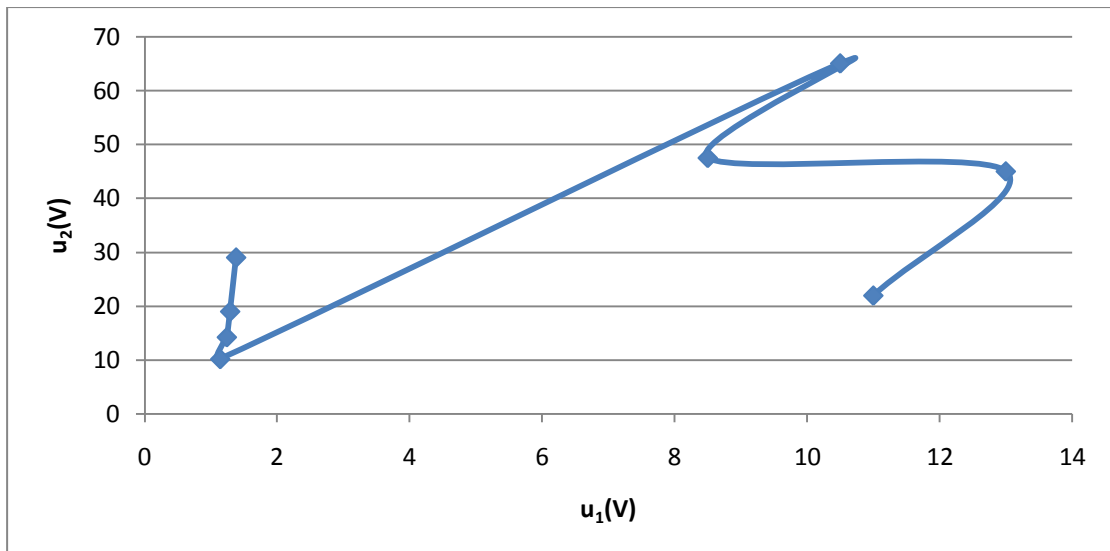
Σχήμα 3.2.6: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



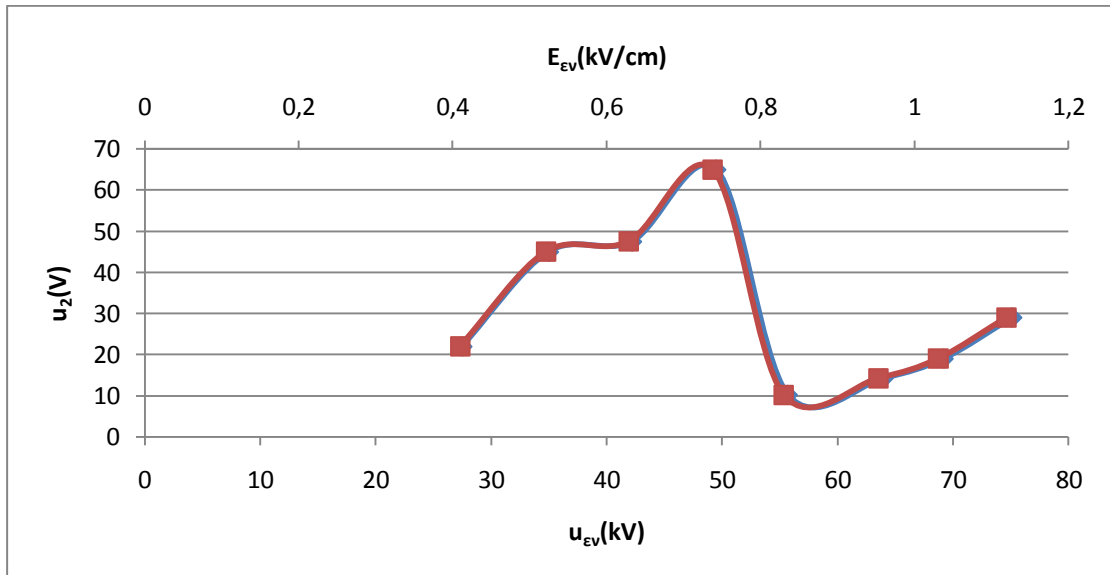
Σχήμα 3.2.7: Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_1 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



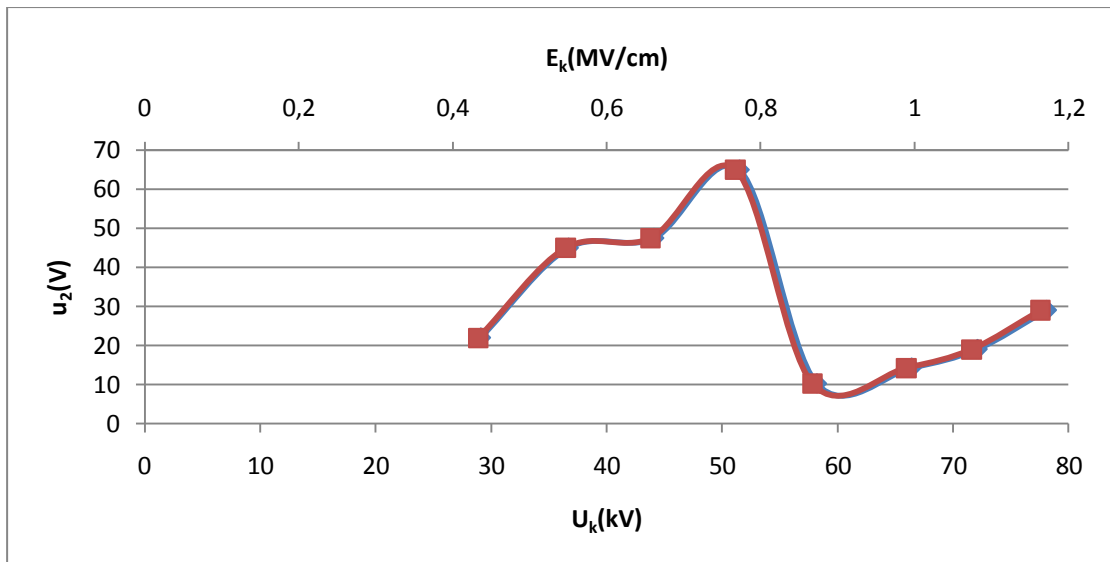
Σχήμα 3.2.8: Χαρακτηριστική $u_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_1 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



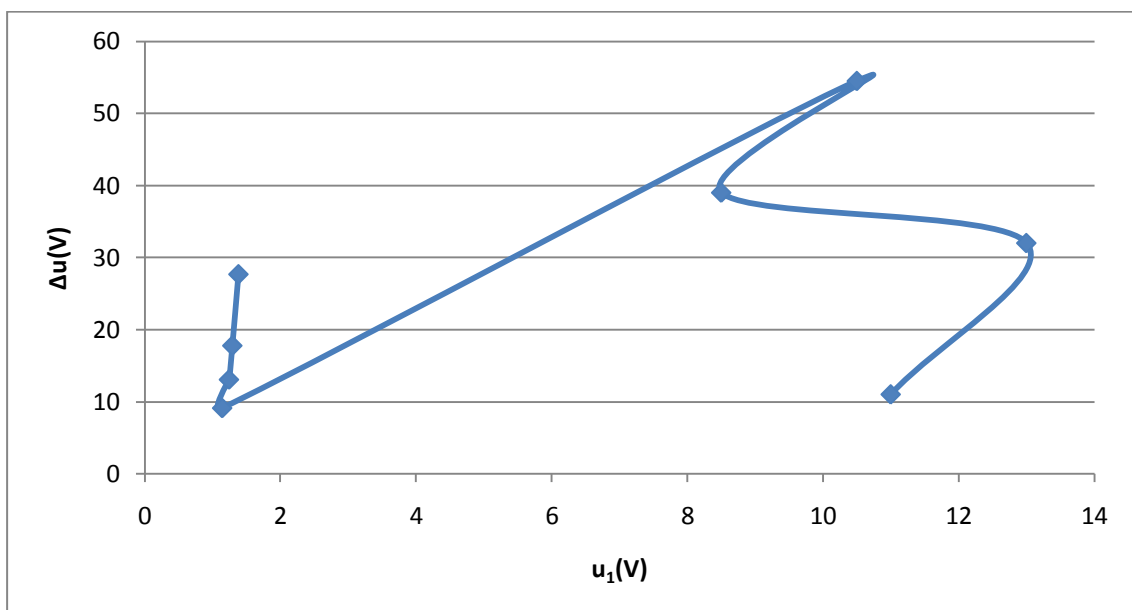
Σχήμα 3.2.9: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



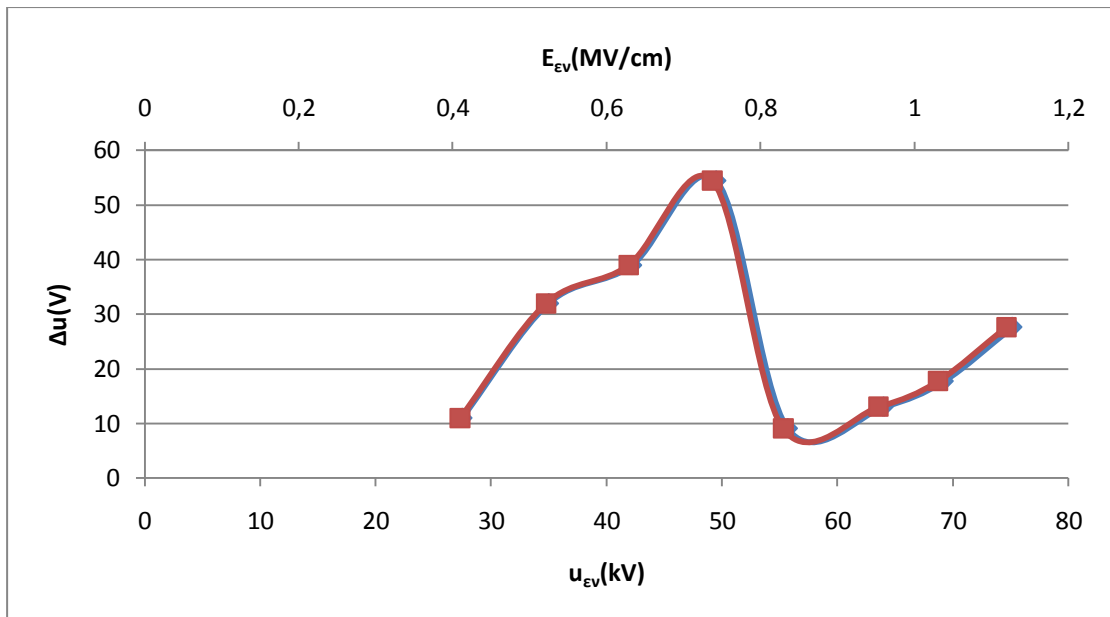
Σχήμα 3.2.10: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



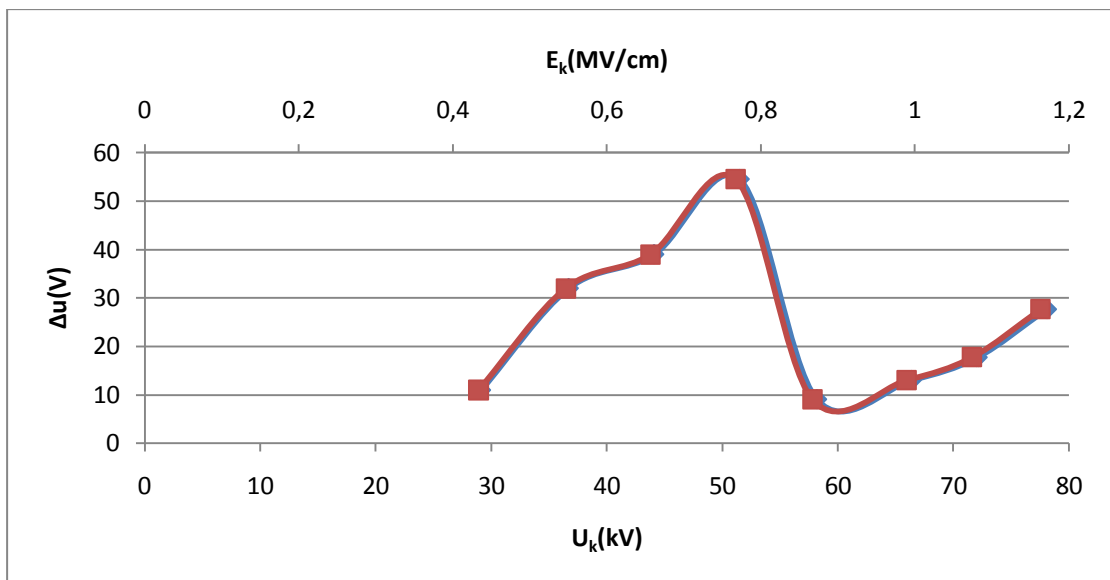
Σχήμα 3.2.11: Χαρακτηριστική $u_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαιώση των μερικών εκκενώσεων



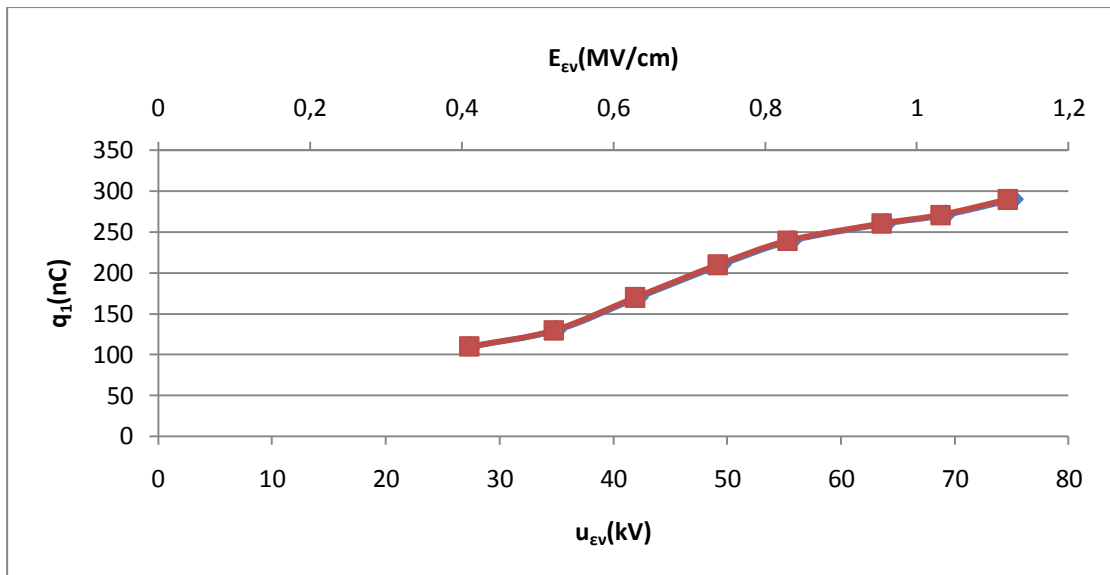
Σχήμα 3.2.12: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



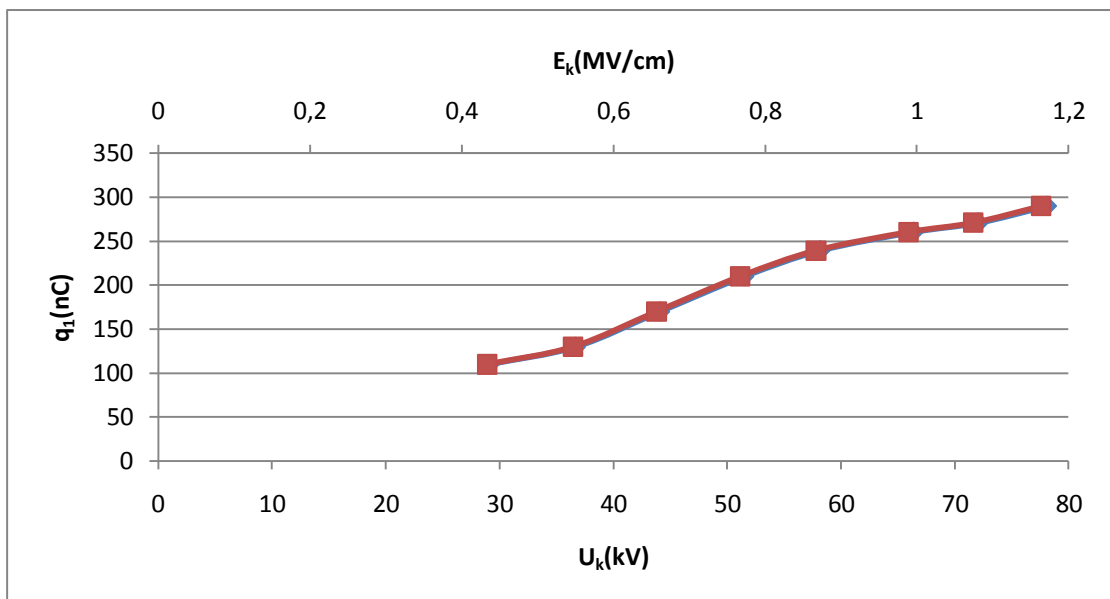
Σχήμα 3.2.13: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



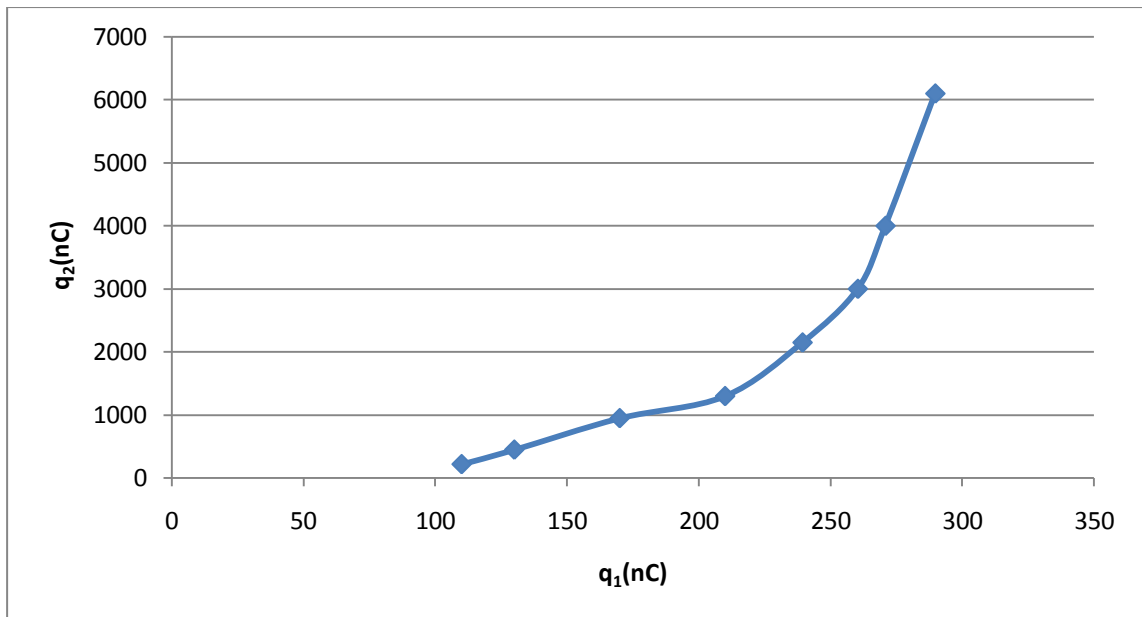
Σχήμα 3.2.14: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



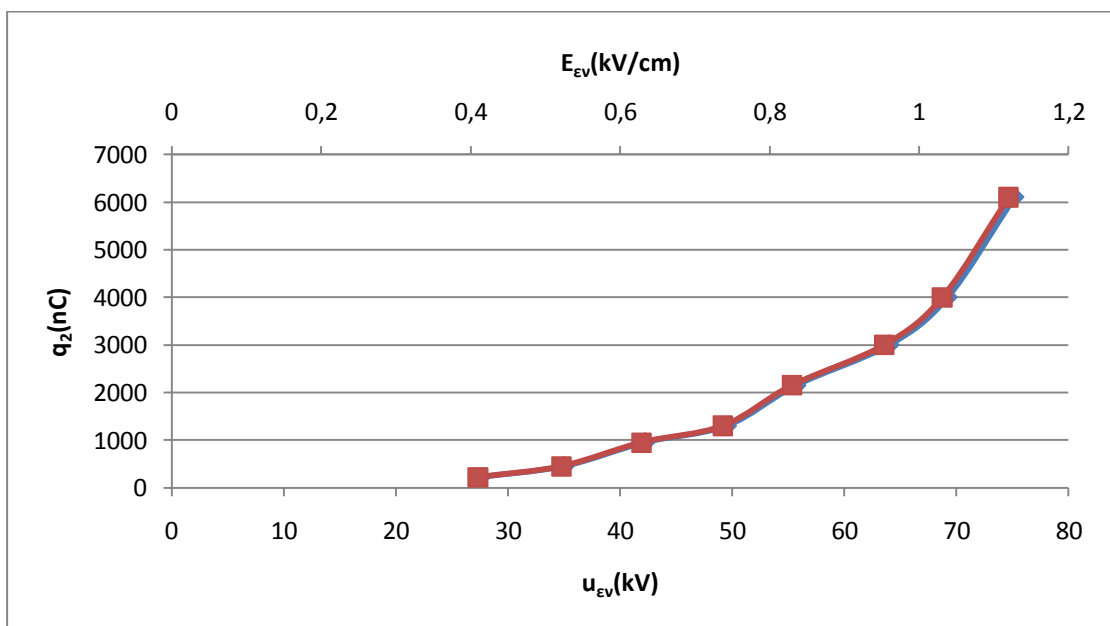
Σχήμα 3.2.15: Χαρακτηριστική $q_1=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



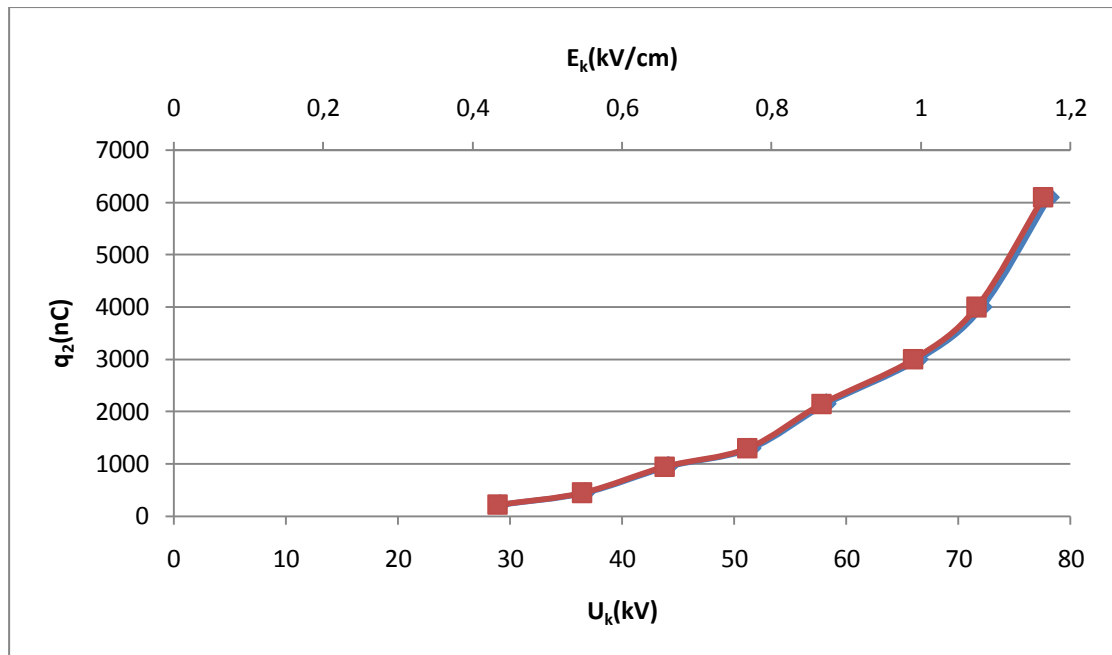
Σχήμα 3.2.16: Χαρακτηριστική $q_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



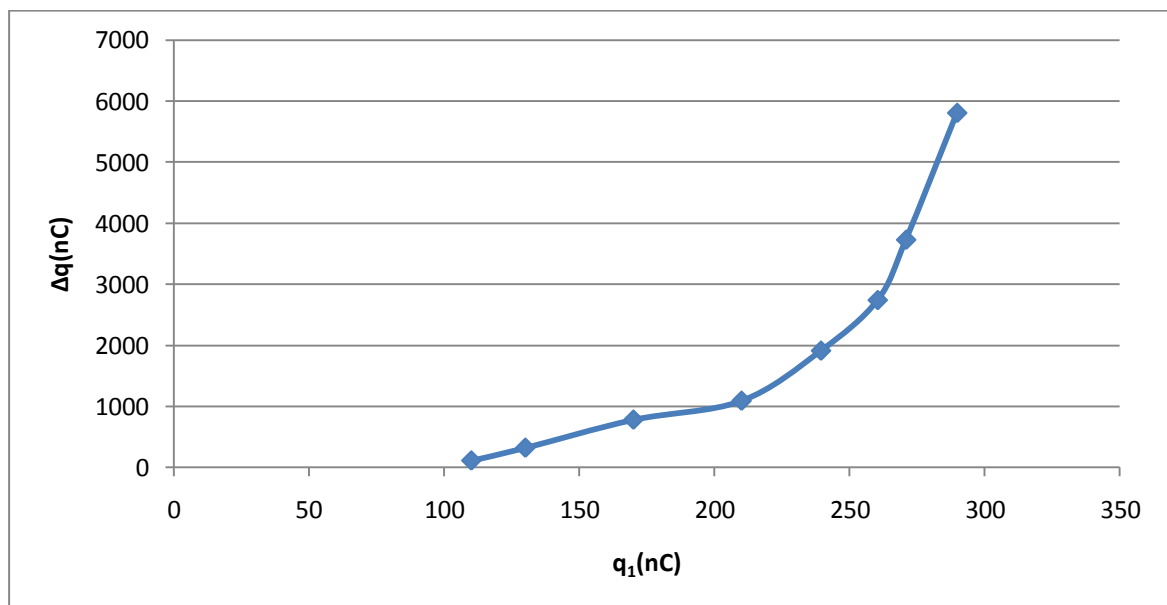
Σχήμα 3.2.17: Χαρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



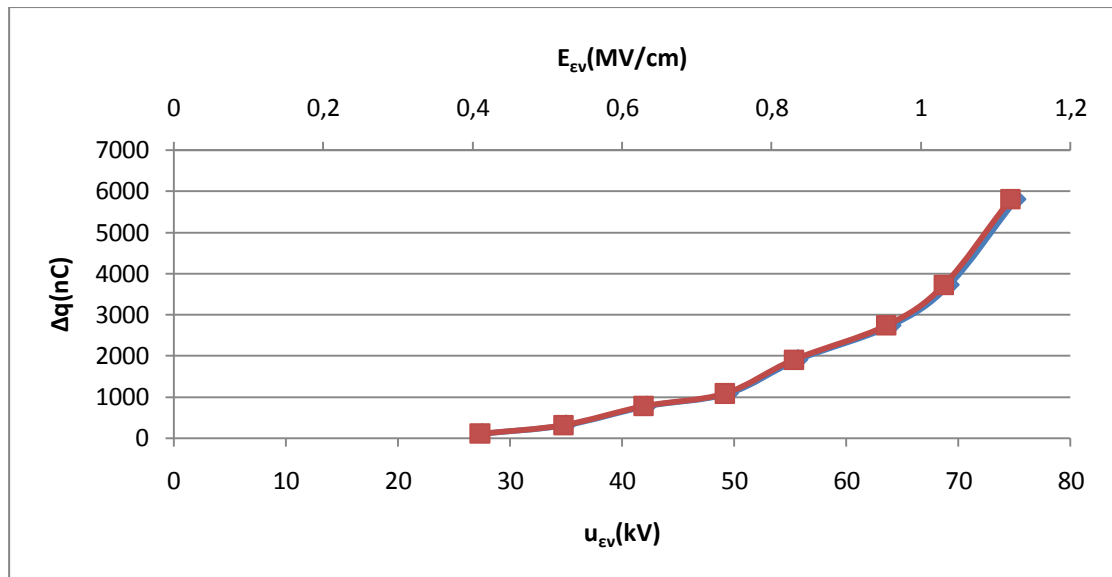
Σχήμα 3.2.18: Χαρακτηριστική $q_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{Ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



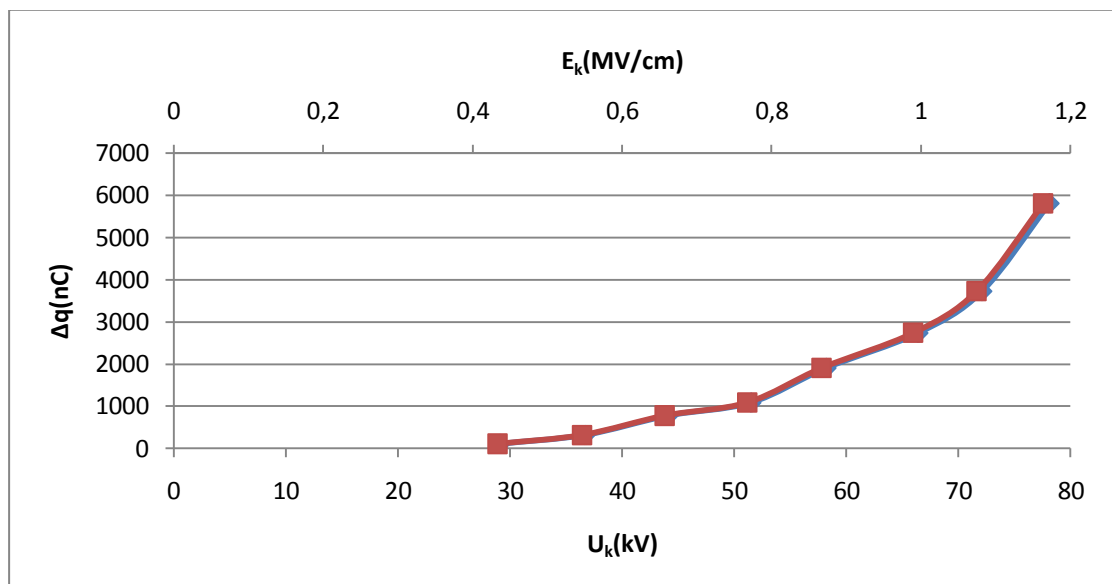
Σχήμα 3.2.19: Χαρακτηριστική $q_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



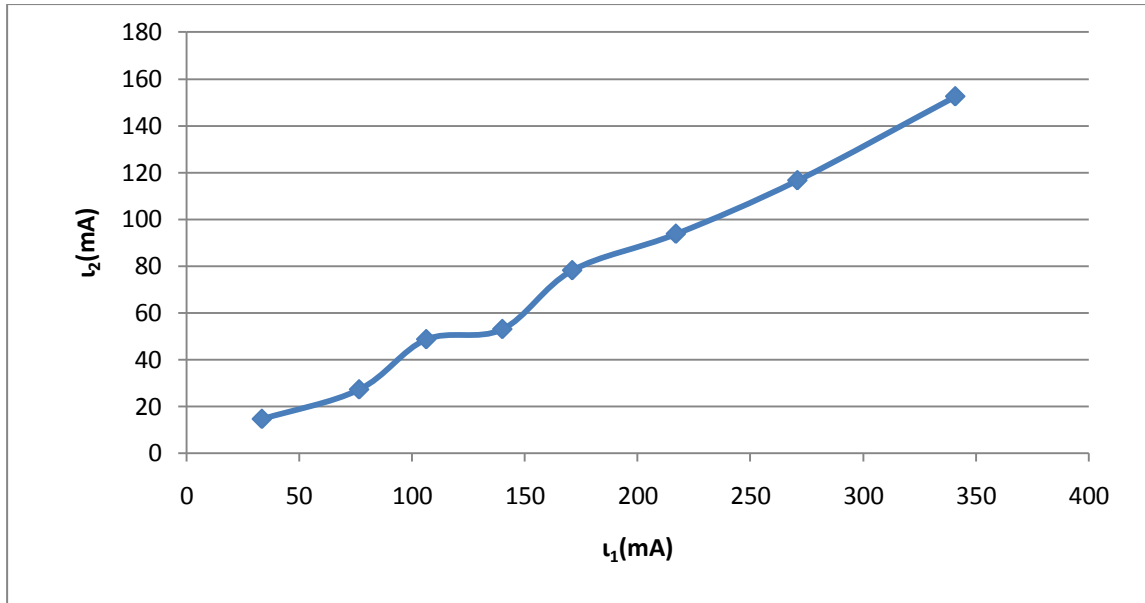
Σχήμα 3.2.20: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



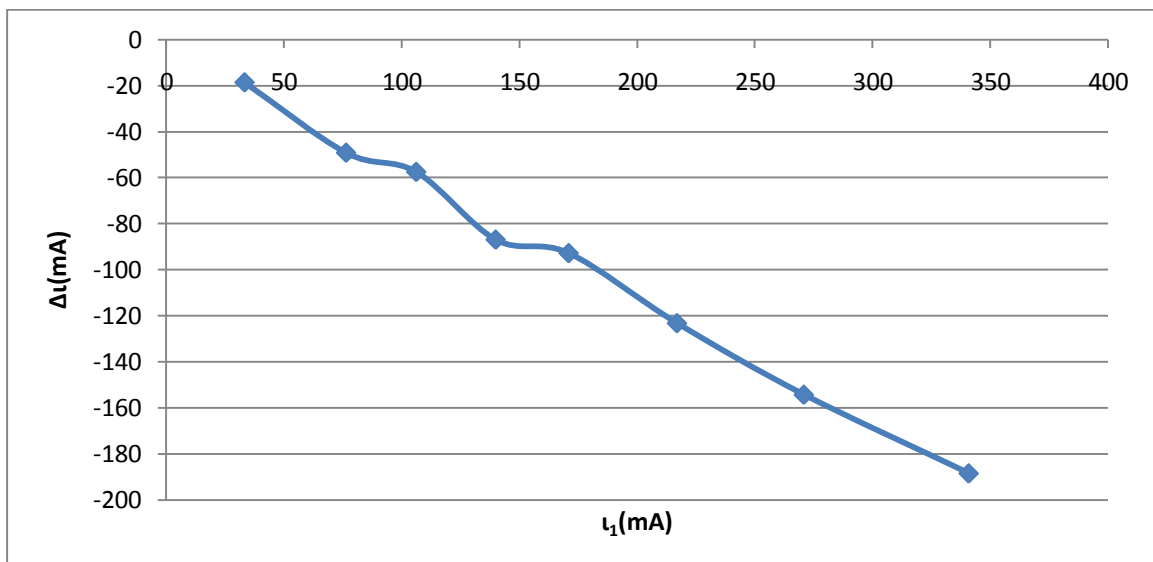
Σχήμα 3.2.21: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(u_{ev},E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



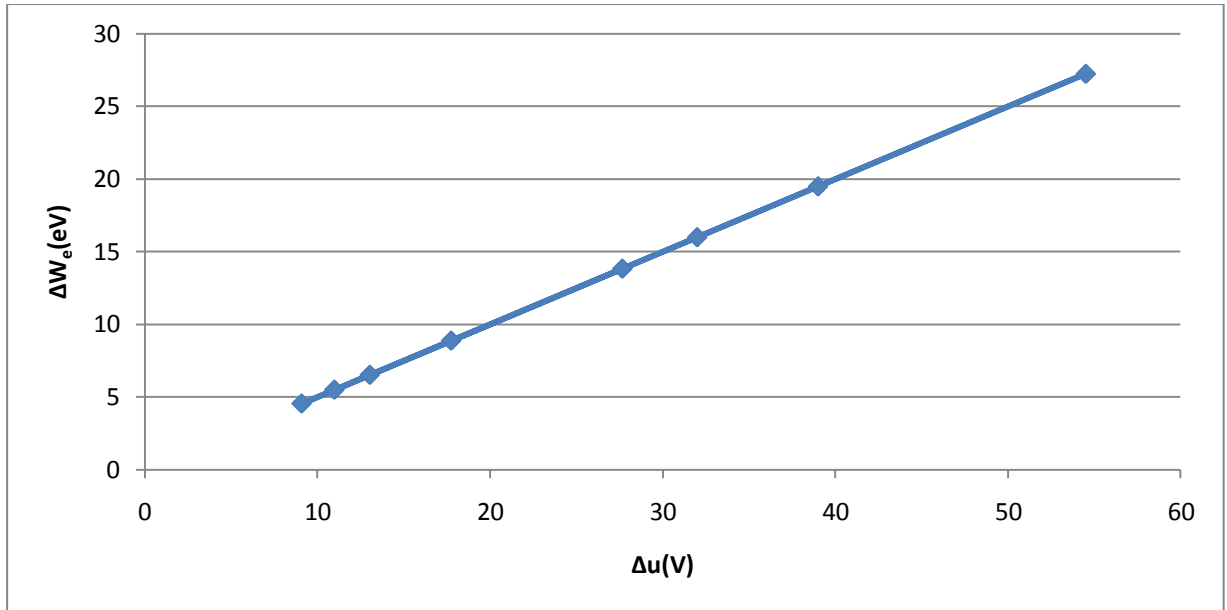
Σχήμα 3.2.22: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(U_k,E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



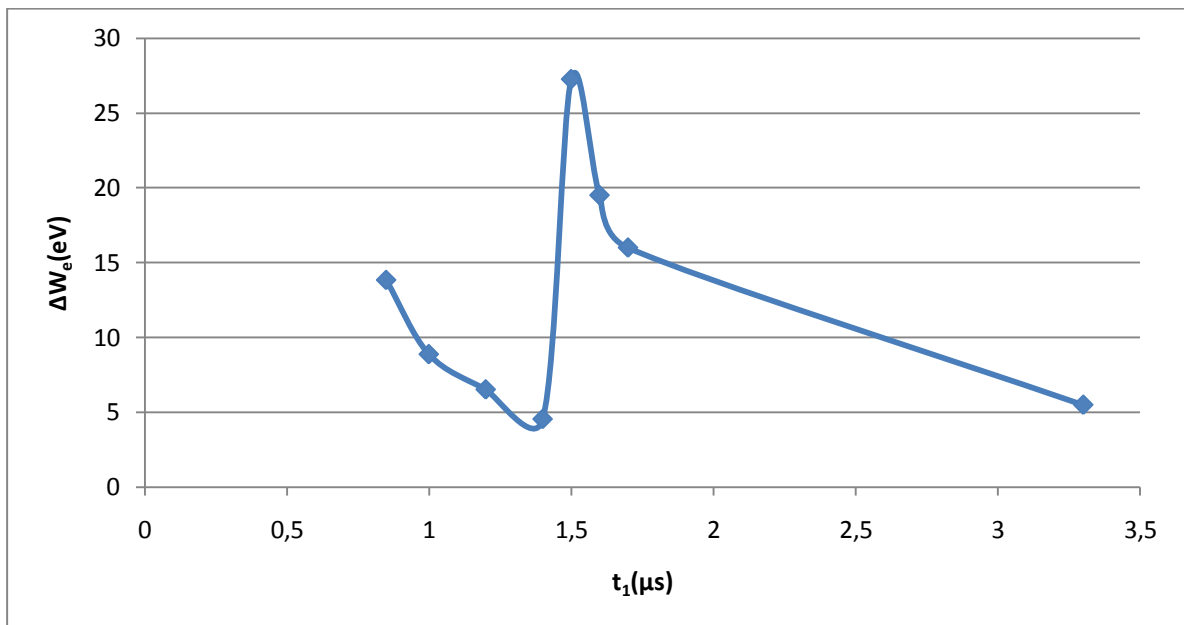
Σχήμα 3.2.23: Χαρακτηριστική $I_2=f(I_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 I_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



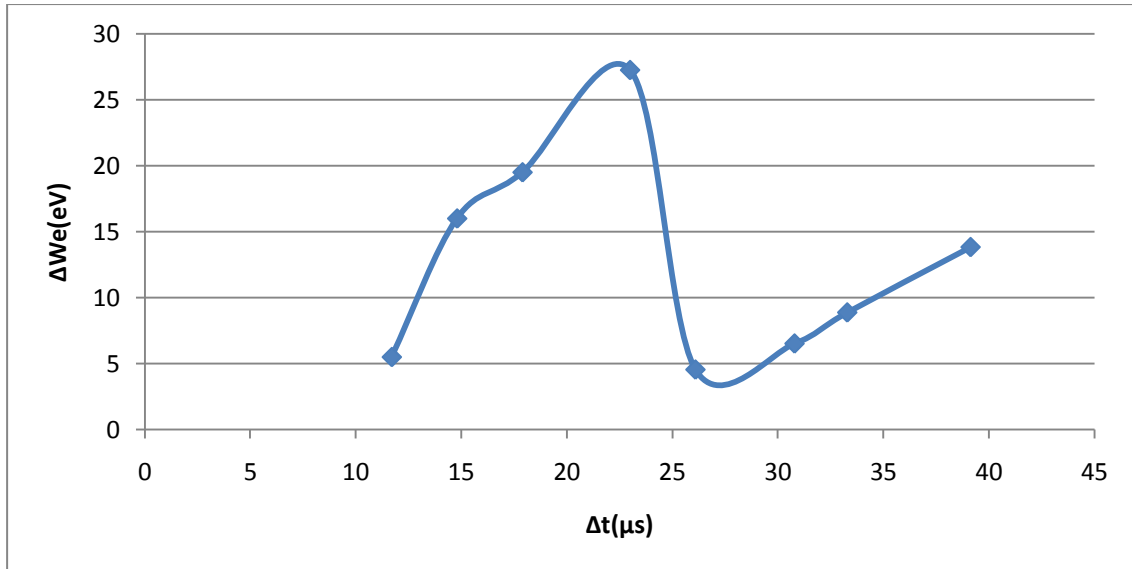
Σχήμα 3.2.24: Χαρακτηριστική $\Delta I=f(I_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 I_1 :στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 ΔI : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



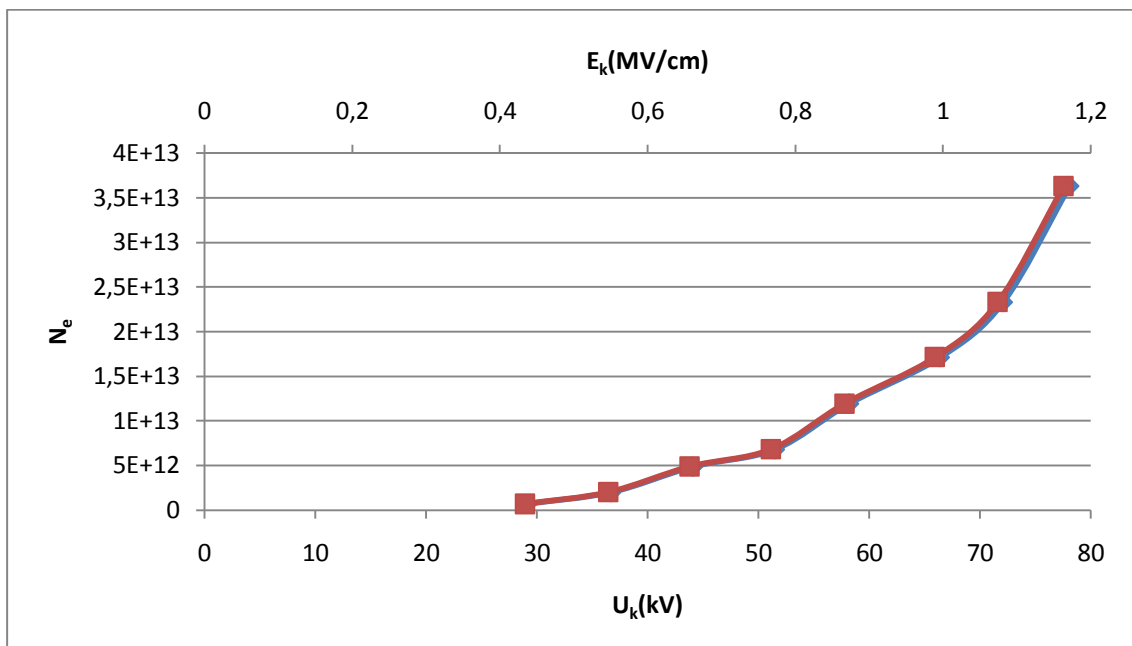
Σχήμα 3.2.25: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(\Delta u)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



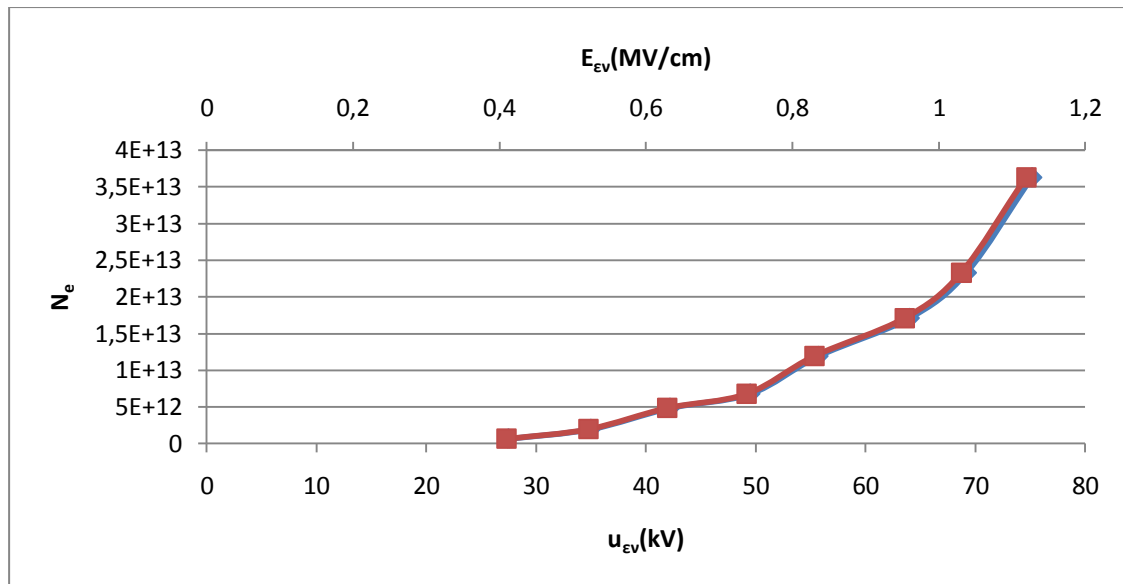
Σχήμα 3.2.26: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



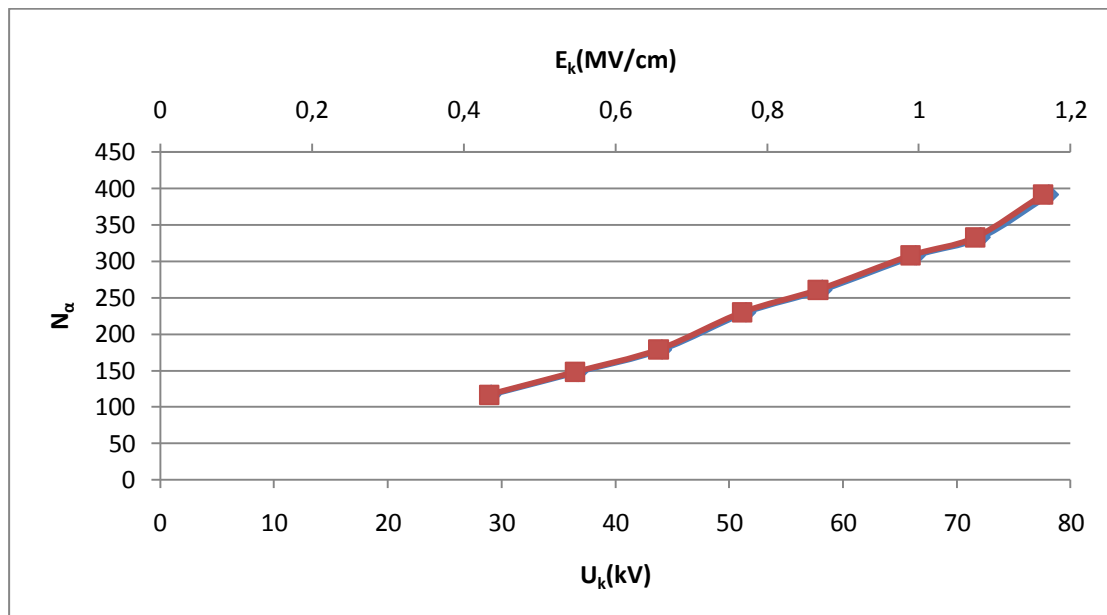
Σχήμα 3.2.27: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(\Delta t)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



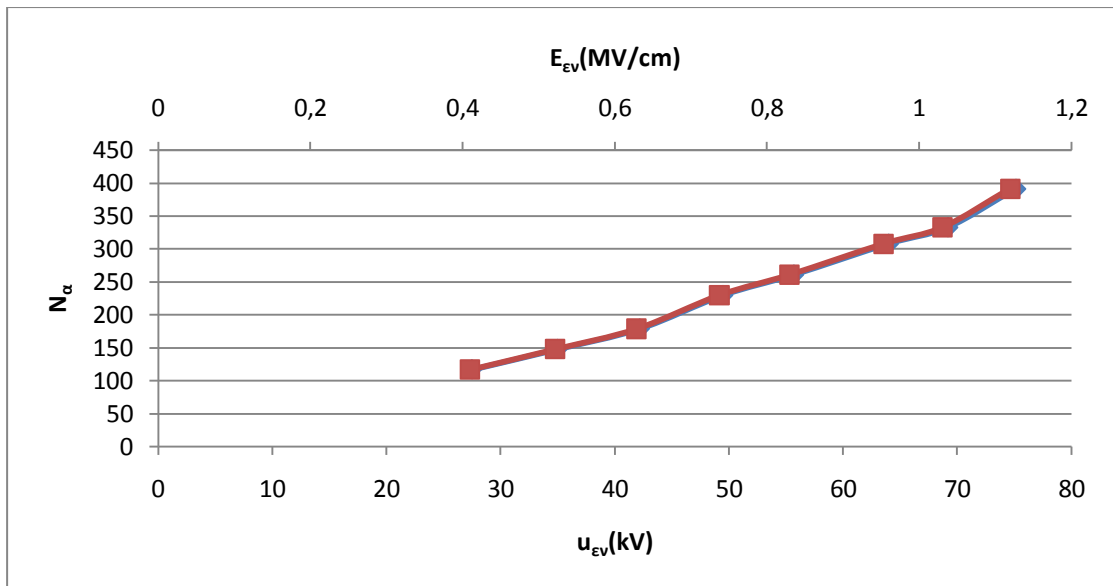
Σχήμα 3.2.28: Χαρακτηριστική $N_e=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.2.29: Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$)-πλάκα Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.2.30: Χαρακτηριστική $N_a = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$)-πλάκα Πάχος δοκιμίου: $d=1\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



Σχήμα 3.2.31: Χαρακτηριστική $N_a = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα Πάχος δοκιμίου: $d=1mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

3.3 ΘΕΤΙΚΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ +1,2/50 μ s - ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ d=2mm

U _k (kV)	E _k (kV/cm)	u _{ev} (kV)	E _{ev} (kV/cm)	C _m (nF)	t ₁ (μ s)	t ₂ (μ s)	Δt (μ s)	N _a
35,4	527,3784696	34 1,74	506,521694	10	3,4	12,1	8,7	87
43,8	652,5191234	42,4 0,00	631,6623478	10	2,1	14,5	12,4	124
50,2	747,8643835	48,7 0,00	725,5178382	10	1,7	15	13,3	133
57	849,1687223	55,4 0,00	825,3324073	10	1,42	19,5	18,08	180,8
65	968,3502974	63,1 0,00	940,0446733	20	1,18	20,5	19,32	193,2
71,4	1063,695557	69,9 0,00	1041,349012	20	1,18	25,5	24,32	243,2
86,5	1288,65078	84,9 0,00	1264,814465	210	1,18	27,1	25,92	259,2
94,3	1404,852816	92,6 0,00	1379,526731	210	1,18	26,5	25,32	253,2
99,7	1485,300379	97,9 0,00	1458,484525	210	1,18	35,1	33,92	339,2
113,8	1695,357905	112 0,00	1668,542051	210	1,18	33,3	32,12	321,2
121,2	1805,600862	118,3 0,00	1762,397541	210	1,18	25,2	24,02	240,2
126	1877,109807	123 0,00	1832,416717	210	1,18	18,2	17,02	170,2
132,7	1976,924376	129,5 0,00	1929,251746	210	1,18	24,2	23,02	230,2

Πίνακας 3.3α: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm)-πλάκα για πάχος δοκιμίου d=2mm

U_k: μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

u_{ev}: τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων

E_{ev}: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

C_m: πυκνωτής μέτρησης

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

N_a: μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης είναι η τυπική απόκλιση

$C_m(\text{nF})$	$u_1(\text{V})$	$u_2(\text{V})$	$\Delta u(\text{V})$	$\Delta W_e(\text{eV})$	$q_1(\text{nC})$	$q_2(\text{nC})$
10	10	21	11	5,5	100	210
10	11	35	24	12	110	350
10	12	40	28	14	120	400
10	16	65	49	24,5	160	650
20	10	49	39	19,5	200	980
20	11,5	60	48,5	24,25	230	1200
210	4,19	8,71	4,52	2,26	879,9	1829,1
210	5,71	10,48	4,77	2,385	1199,1	2200,8
210	5,95	14,76	8,81	4,405	1249,5	3099,6
210	10,29	18,76	8,47	4,235	2160,9	3939,6
210	4,76	14,29	9,53	4,765	999,6	3000,9
210	5,71	13,1	7,39	3,695	1199,1	2751
210	5,95	16,67	10,72	5,36	1249,5	3500,7

Πίνακας 3.3β: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων (ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) ακίδα-πλάκα για πάχος δοκιμίου d=2mm

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δu : συνολικό άλμα δυναμικού

ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

q_1 :φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 :φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

$t_1(\mu s)$	$t_2(\mu s)$	$q_1(nC)$	$q_2(nC)$	$\Delta q(nC)$	N_e	$i_1(mA)$	$i_2(mA)$	$\Delta i(mA)$
3,4	12,1	100	210	110	6,875E+11	29,41176	17,35537	-12,0564
2,1	14,5	110	350	240	1,5E+12	52,38095	24,13793	-28,243
1,7	15	120	400	280	1,75E+12	70,58824	26,66667	-43,9216
1,42	19,5	160	650	490	3,0625E+12	112,6761	33,33333	-79,3427
1,18	20,5	200	980	780	4,875E+12	169,4915	47,80488	-121,687
1,18	25,5	230	1200	970	6,0625E+12	194,9153	47,05882	-147,856
1,18	27,1	879,9	1829,1	949,2	5,9325E+12	745,678	67,49446	-678,184
1,18	26,5	1199,1	2200,8	1001,7	6,26063E+12	1016,186	83,04906	-933,137
1,18	35,1	1249,5	3099,6	1850,1	1,15631E+13	1058,898	88,30769	-970,591
1,18	33,3	2160,9	3939,6	1778,7	1,11169E+13	1831,271	118,3063	-1712,96
1,18	25,2	999,6	3000,9	2001,3	1,25081E+13	847,1186	119,0833	-728,035
1,18	18,2	1199,1	2751	1551,9	9,69938E+12	1016,186	151,1538	-865,033
1,18	24,2	1249,5	3500,7	2251,2	1,407E+13	1058,898	144,657	-914,241

Πίνακας 3.3γ: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό

κρουστικές τάσεις +1,2/50 μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων (ακτίνα
καμπυλότητας $R=0,9mm$) ακίδα-πλάκα για πάχος δοκιμίου $d=2mm$

t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

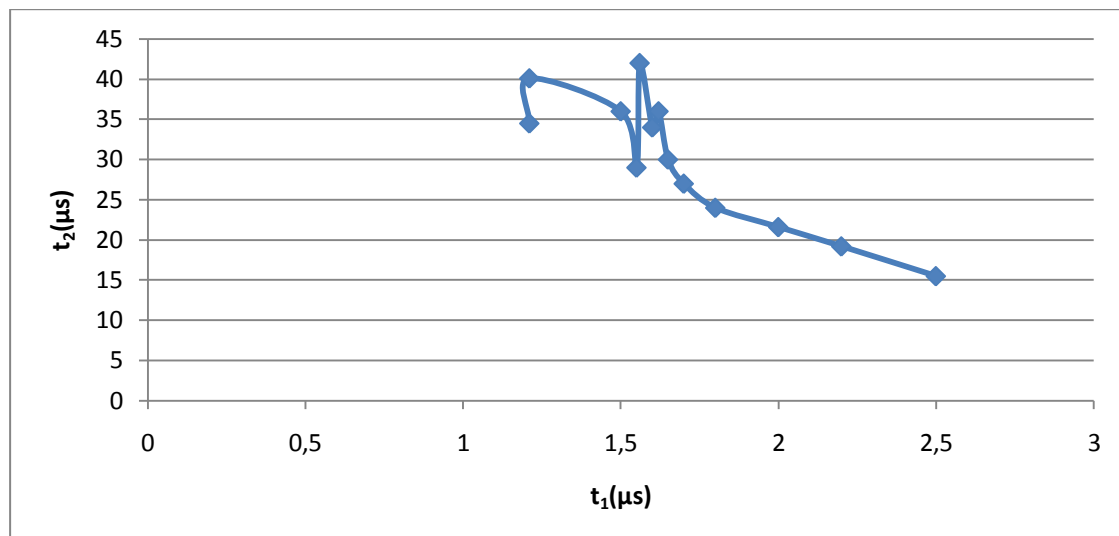
N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων

i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών
εκκενώσεων

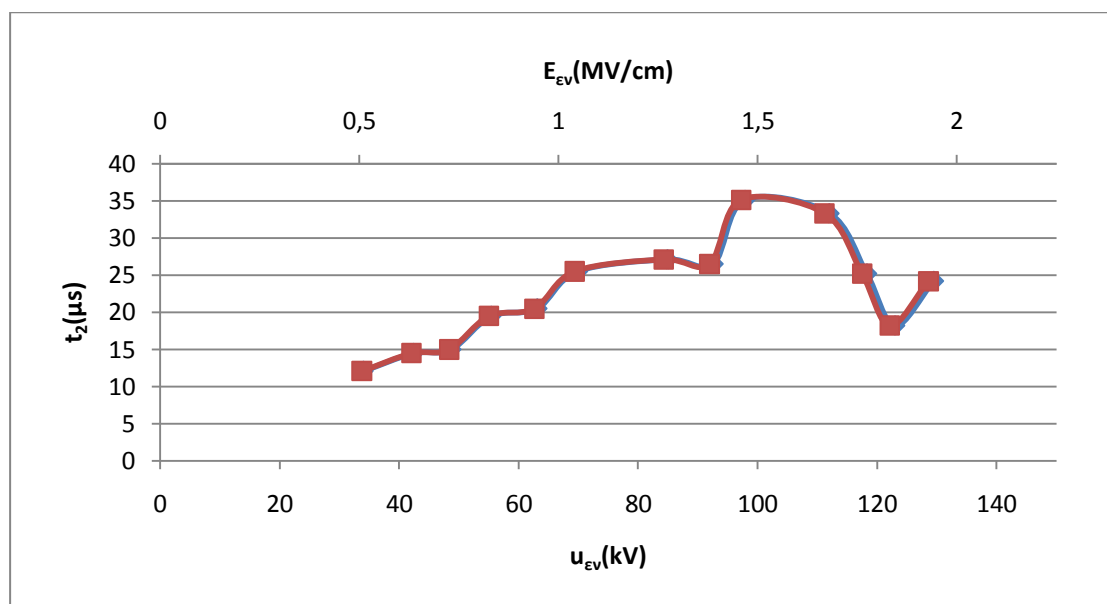
i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των
μερικών εκκενώσεων

Δi : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

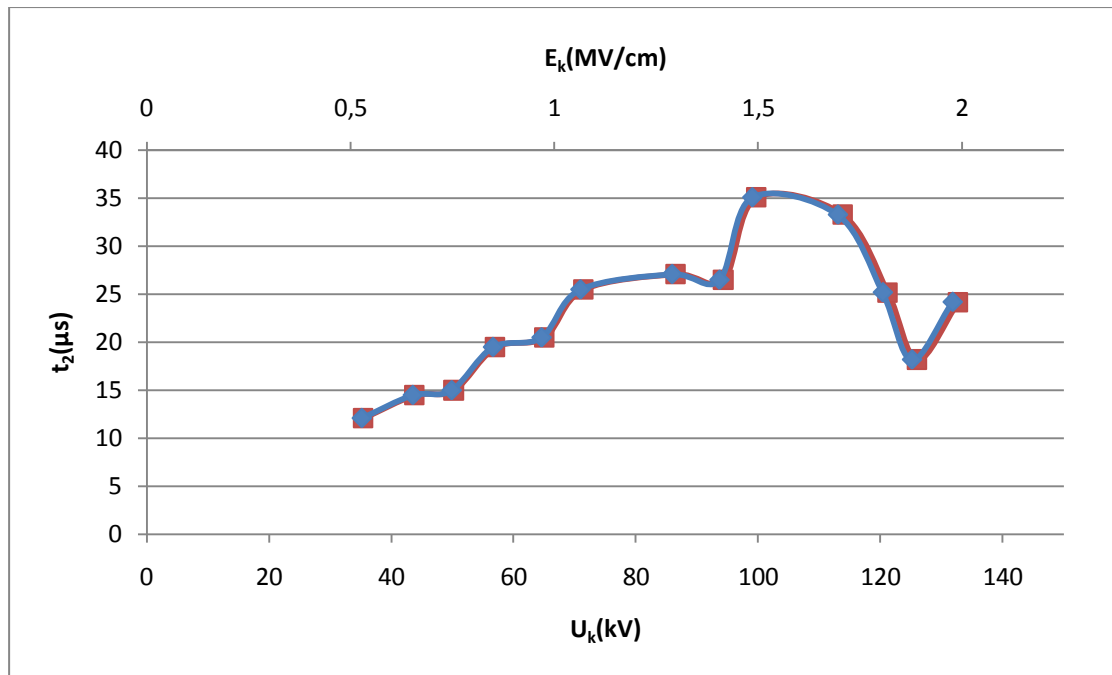
Διαγράμματα



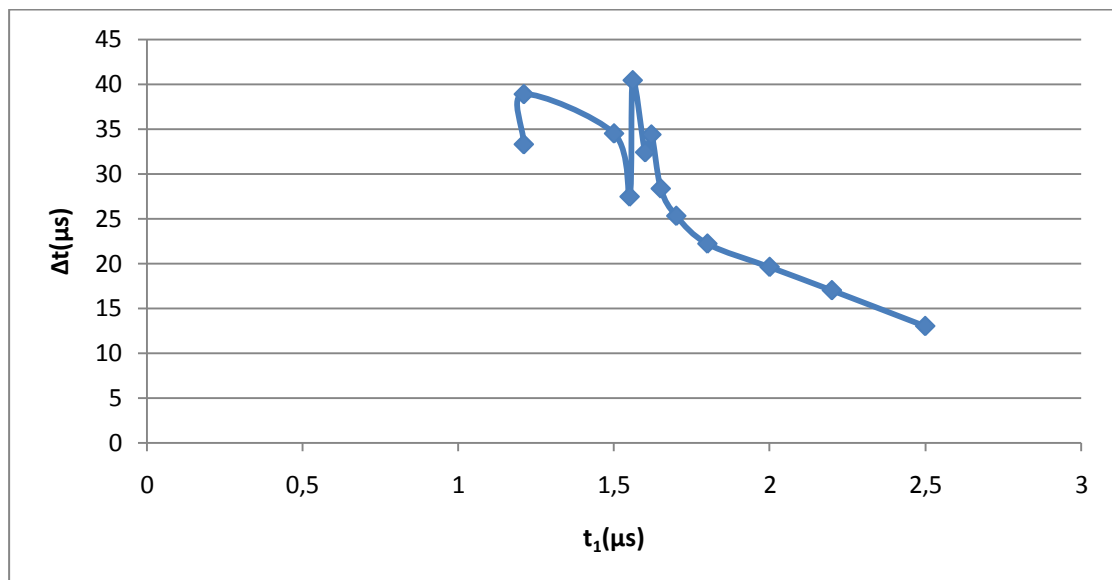
Σχήμα 3.3.1: Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



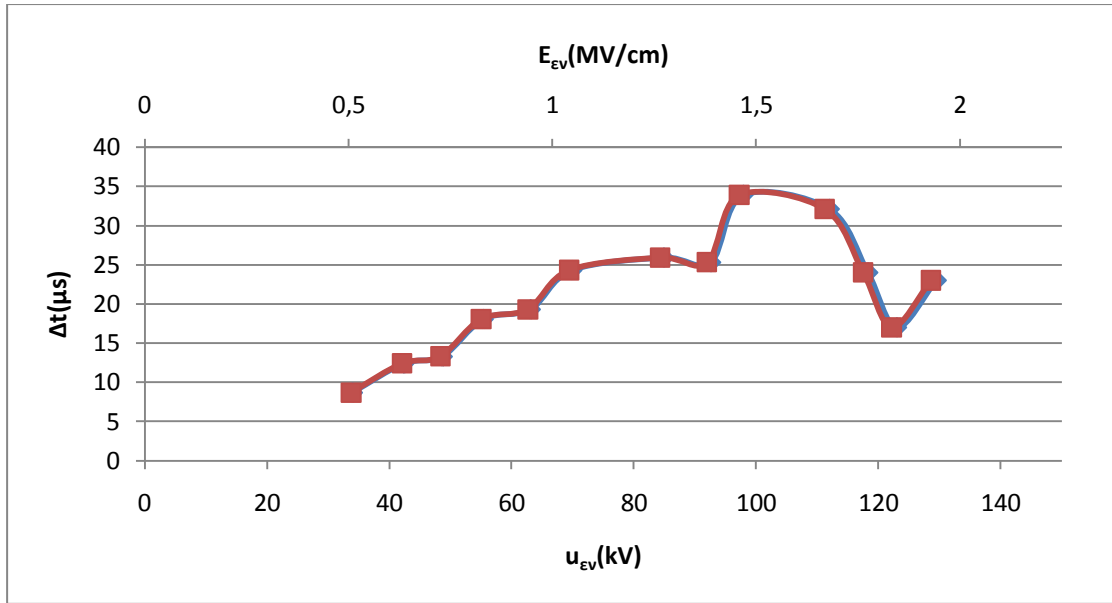
Σχήμα 3.3.2: Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



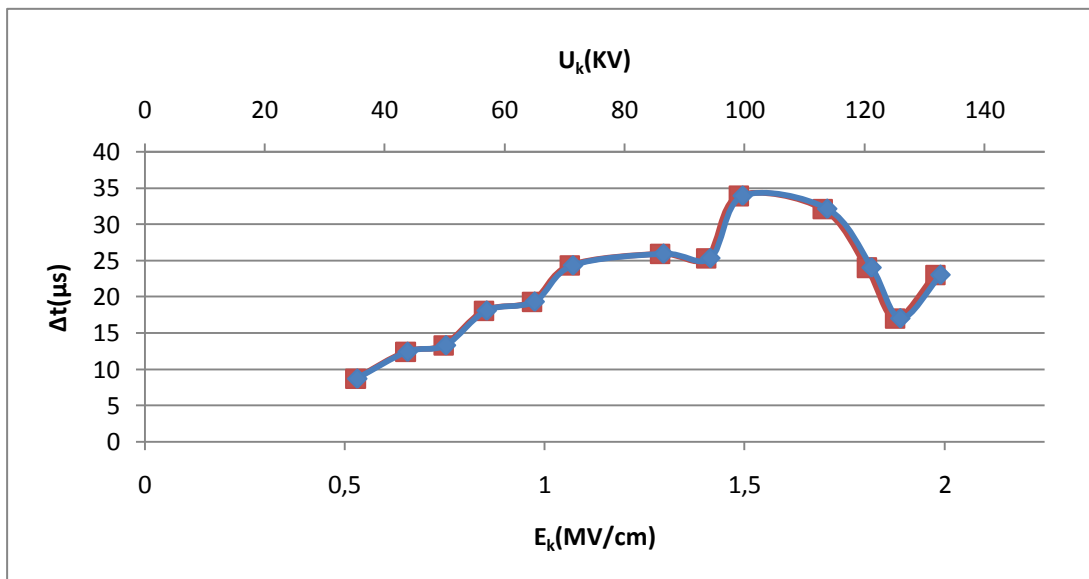
Σχήμα 3.3.3: Χαρακτηριστική $t_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



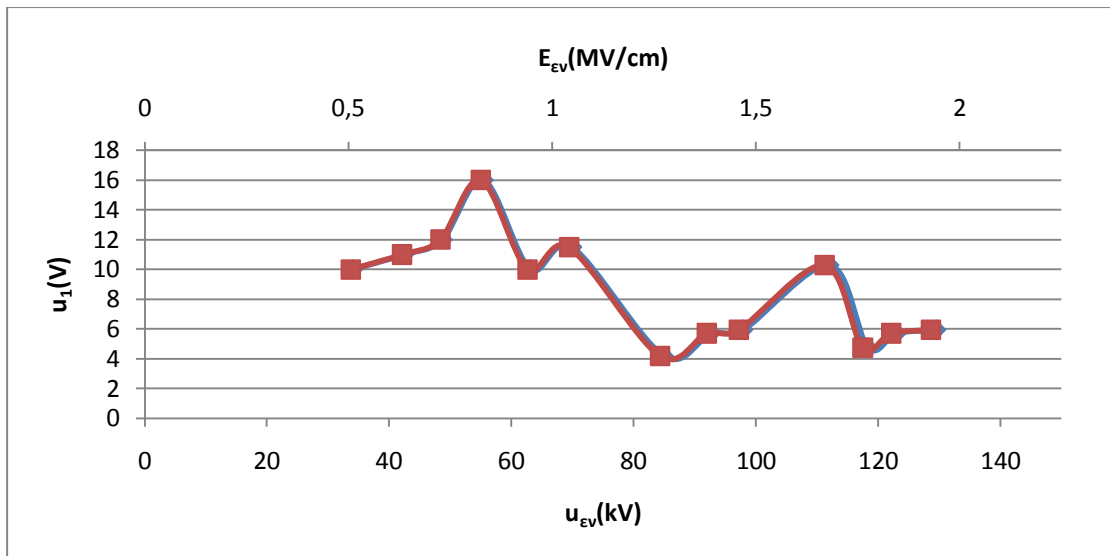
Σχήμα 3.3.4: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$)-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 t_1 :χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 Δt :χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



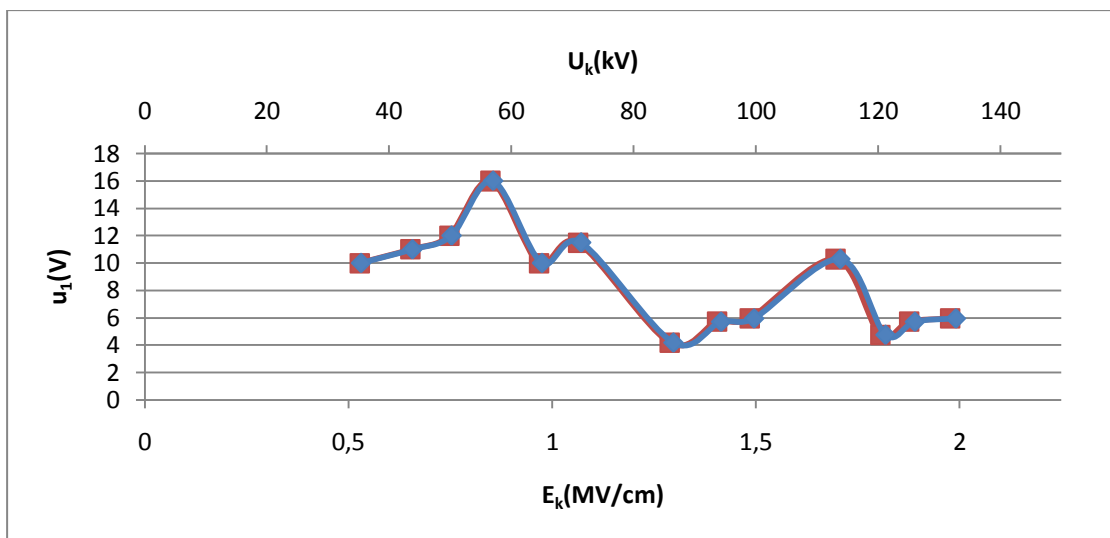
Σχήμα 3.3.5: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{\epsilon\nu}, E_{\epsilon\nu})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 $u_{\epsilon\nu}$: τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 $E_{\epsilon\nu}$: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



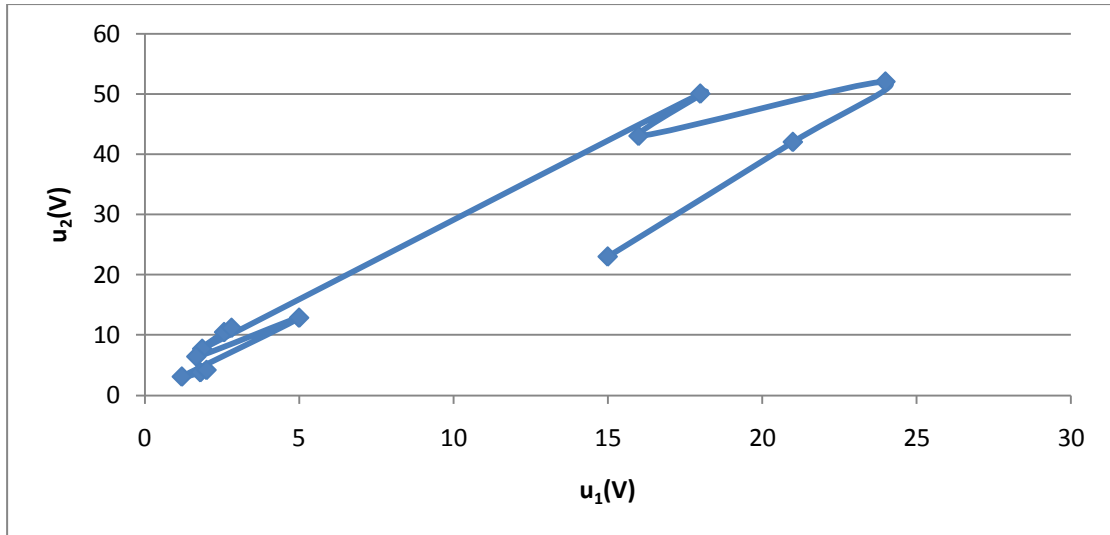
Σχήμα 3.3.6: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



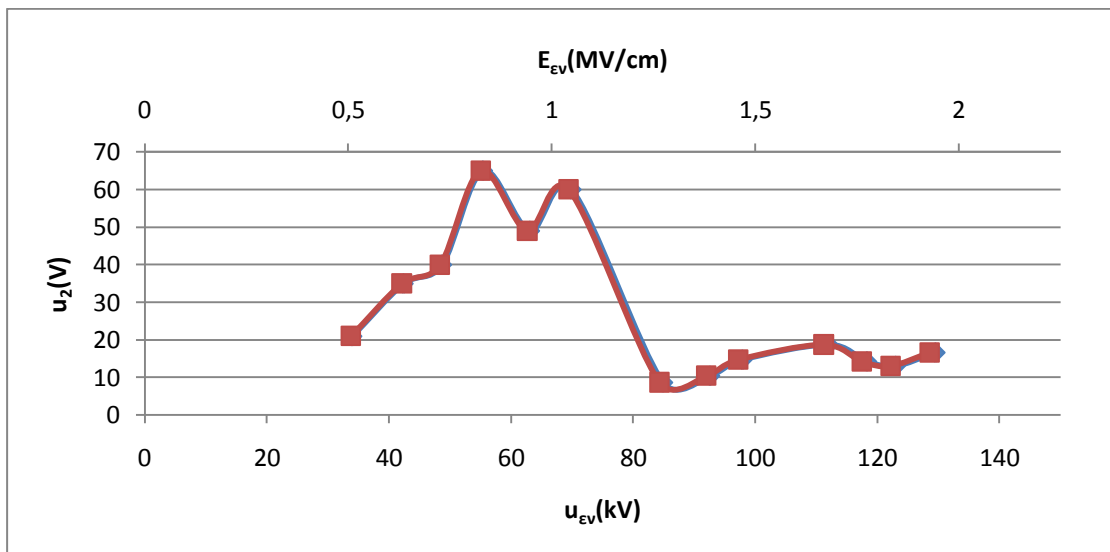
Σχήμα 3.3.7: Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{Ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



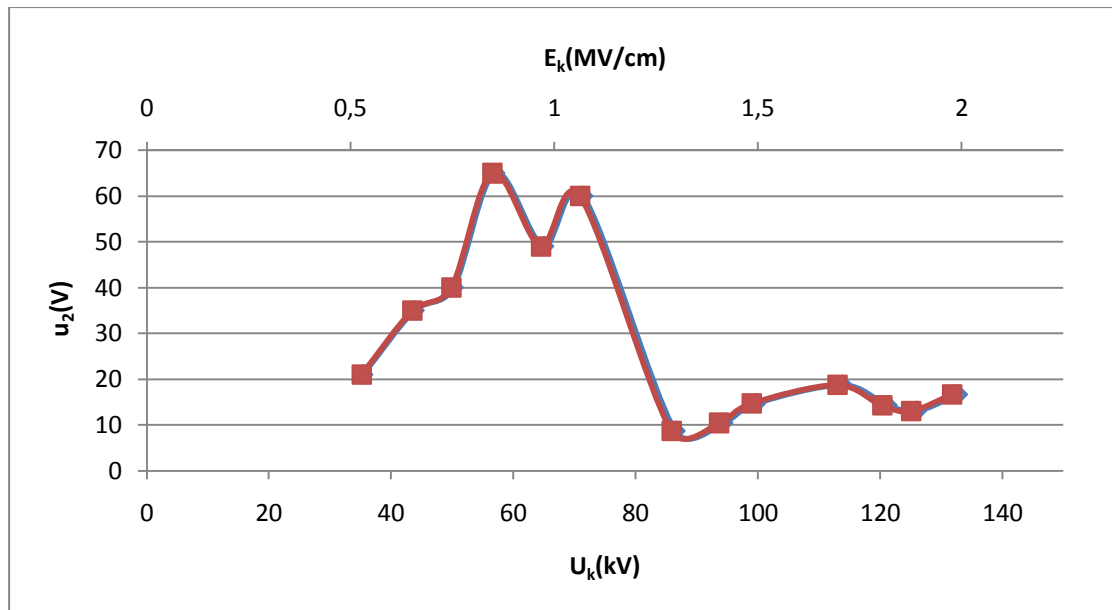
Σχήμα 3.3.8: Χαρακτηριστική $u_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



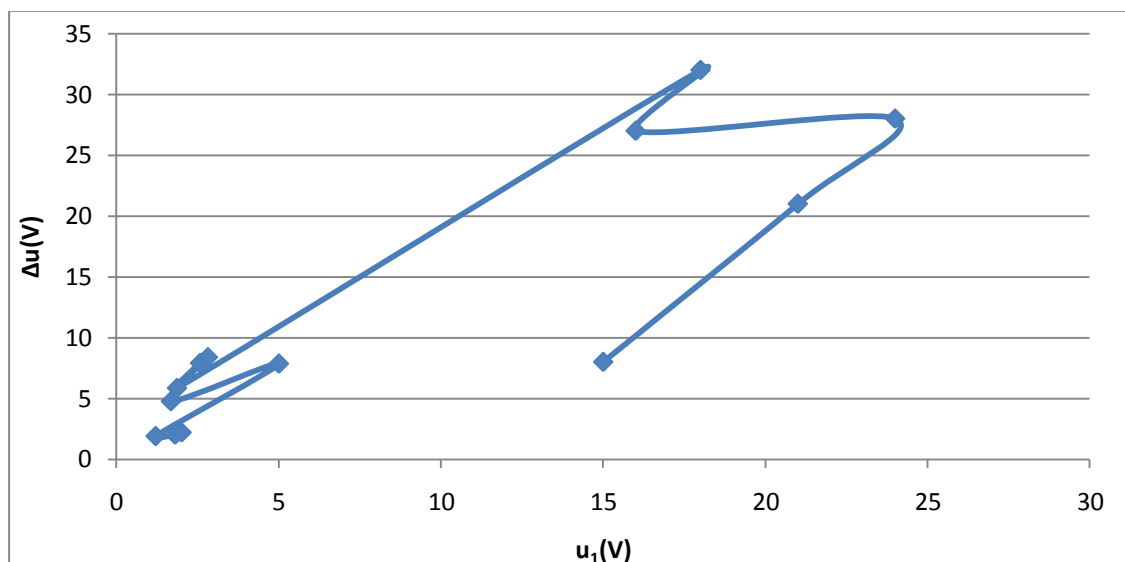
Σχήμα 3.3.9: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



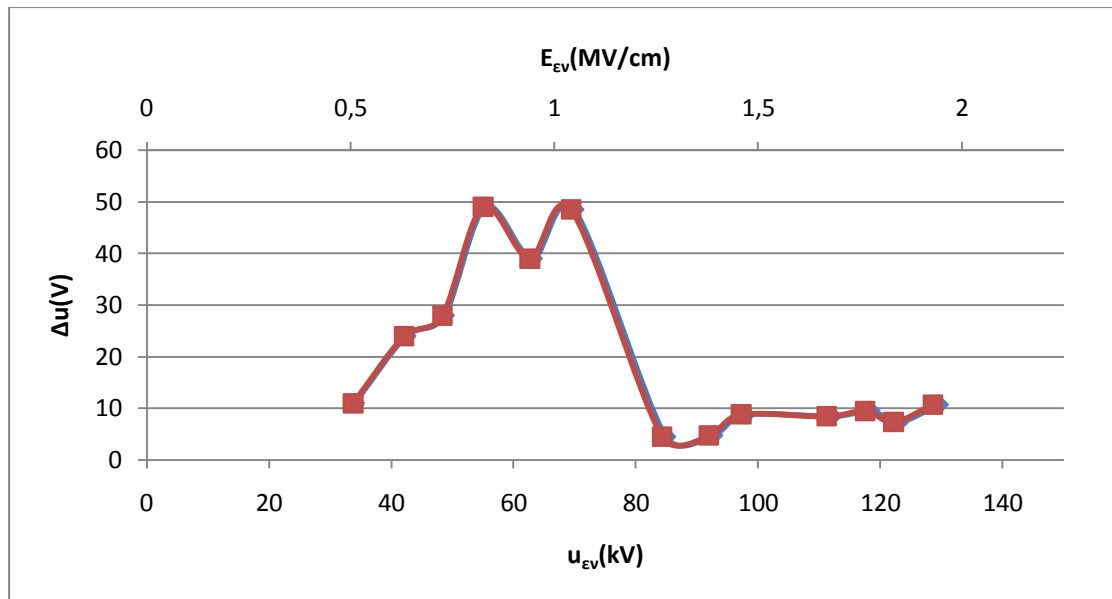
Σχήμα 3.3.10: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



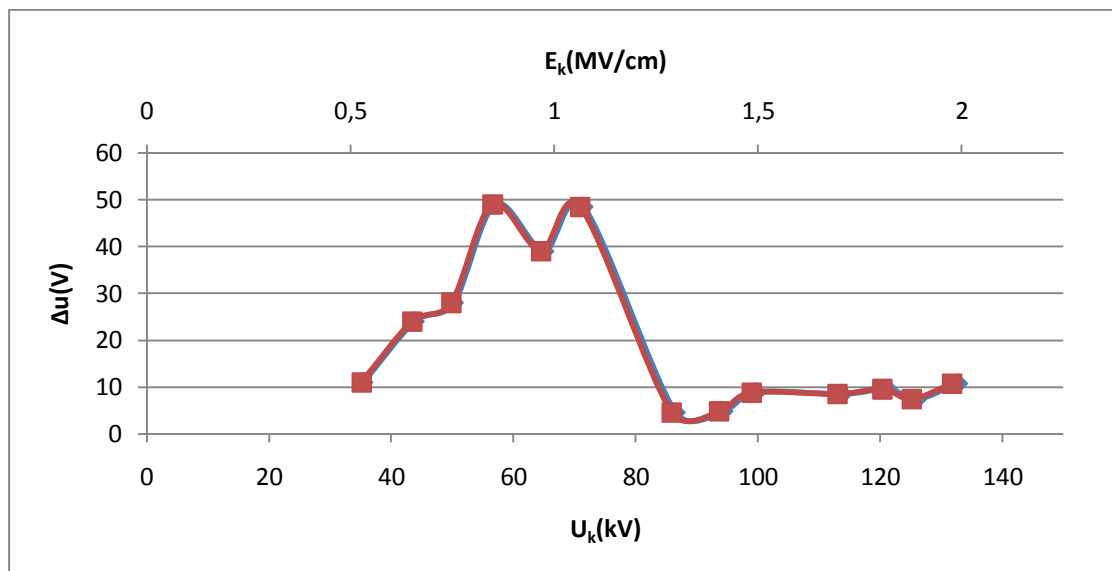
Σχήμα 3.3.11: Χαρακτηριστική $u_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_2 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαιώση των μερικών εκκενώσεων



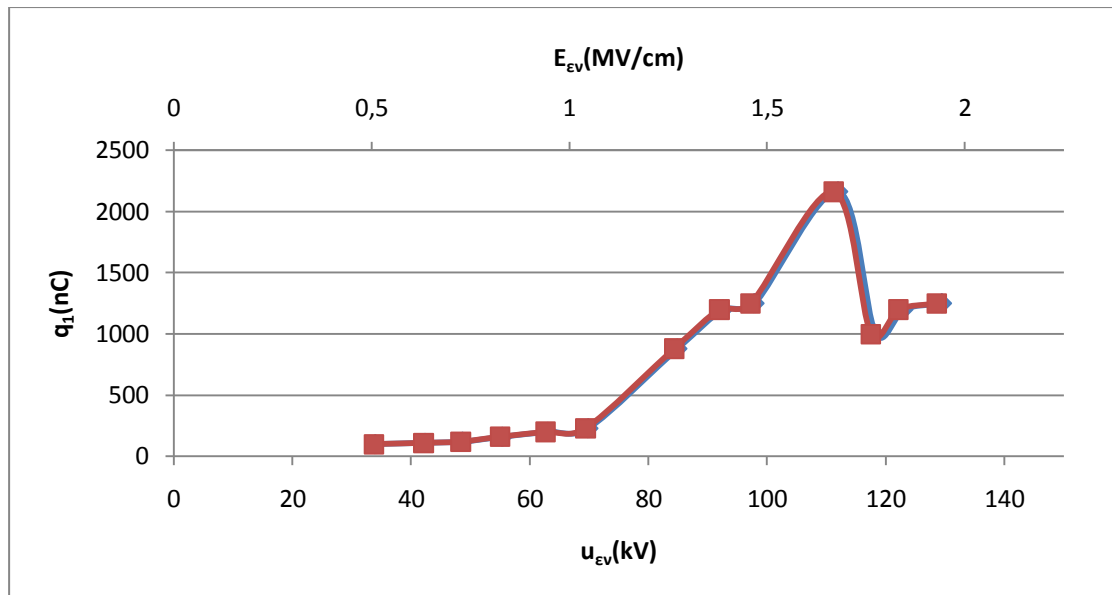
Σχήμα 3.3.12: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



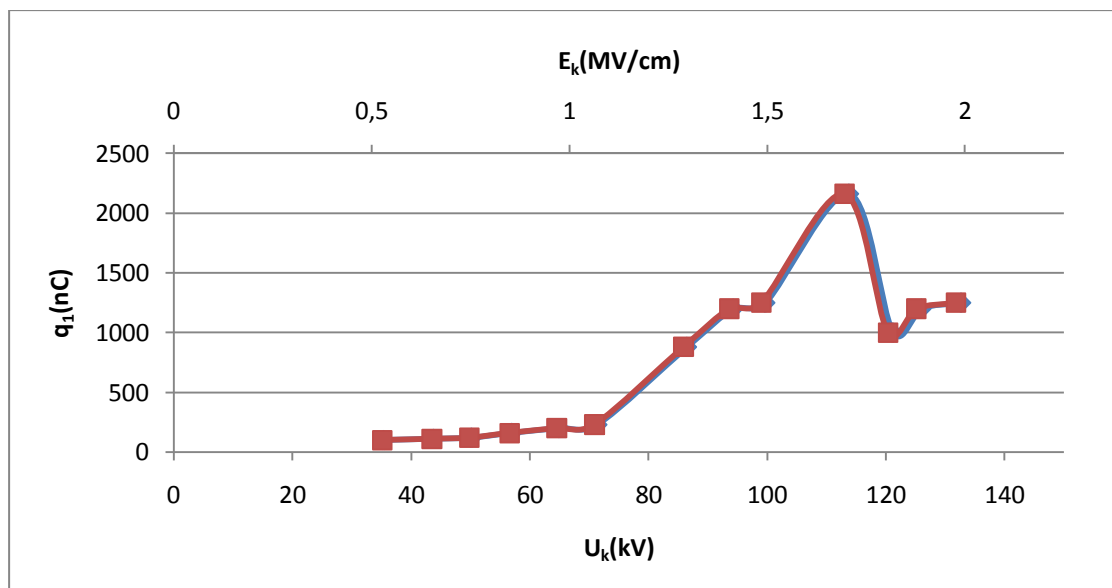
Σχήμα 3.3.13: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



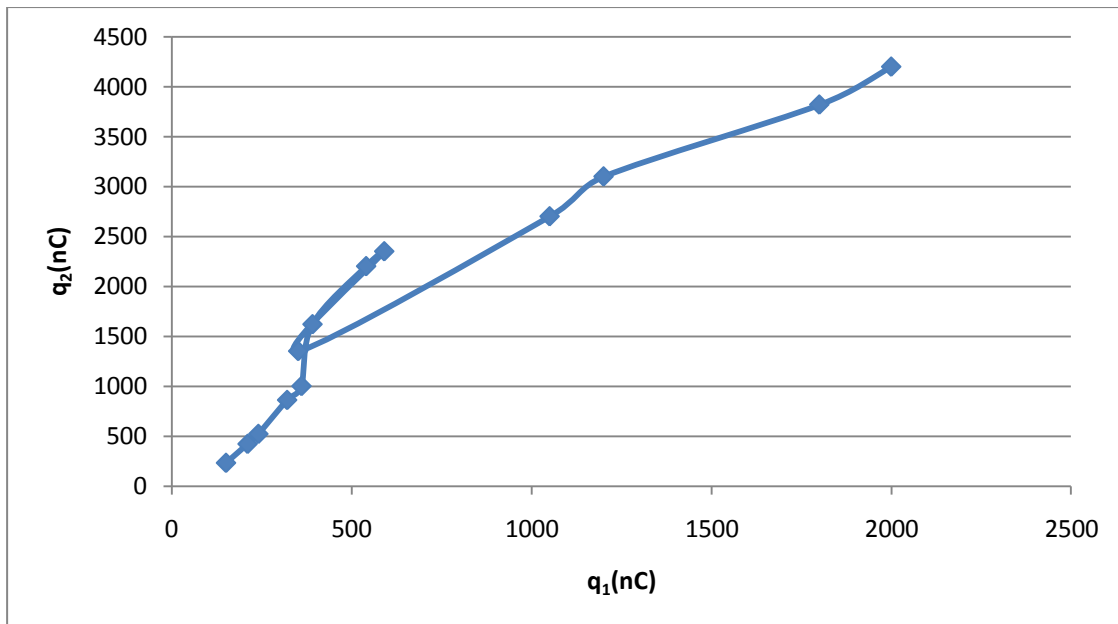
Σχήμα 3.3.14: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



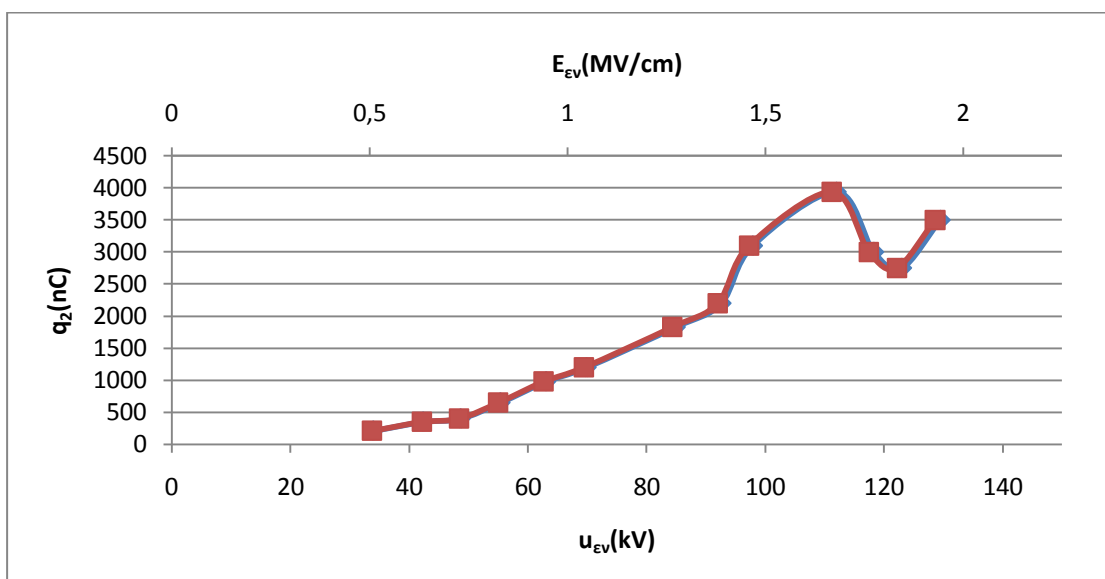
Σχήμα 3.3.15: Χαρακτηριστική $q_1=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



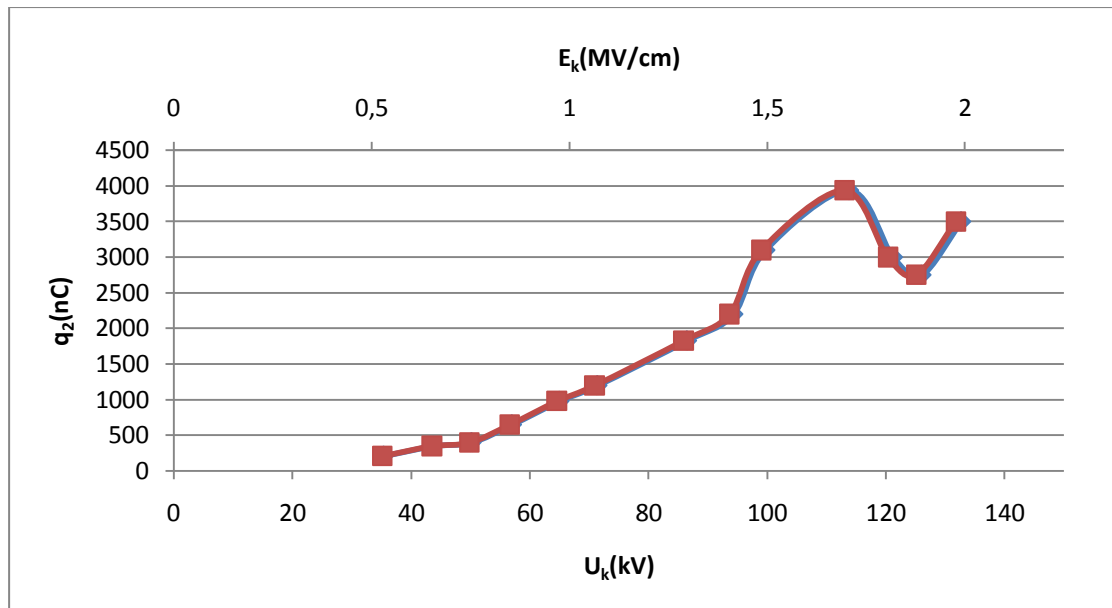
Σχήμα 3.3.16: Χαρακτηριστική $q_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



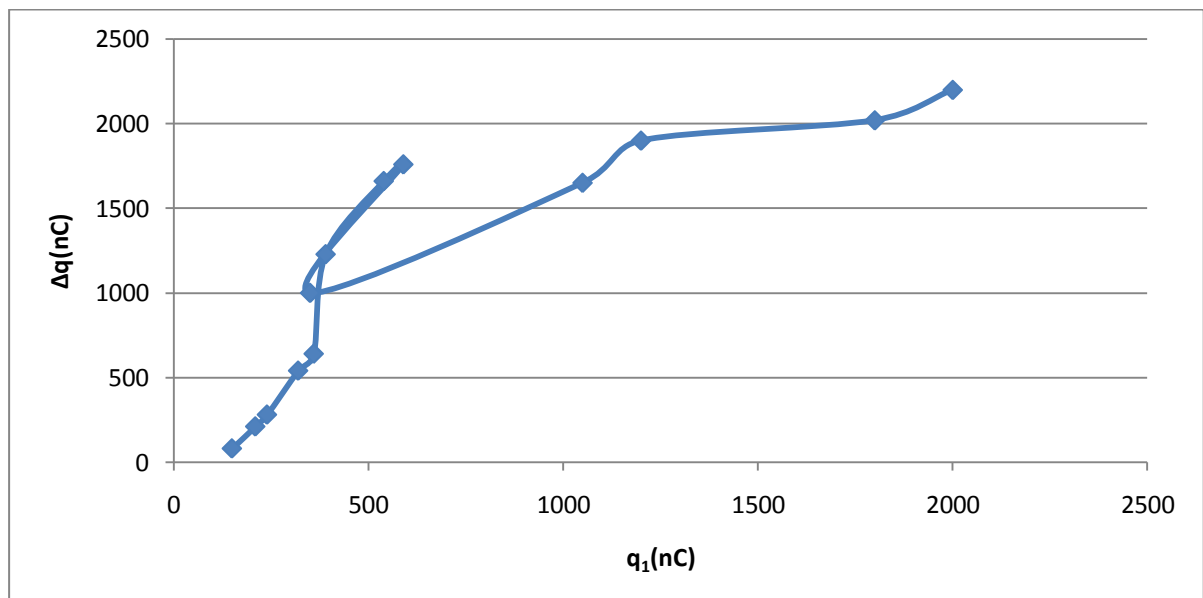
Σχήμα 3.3.17: Χαρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



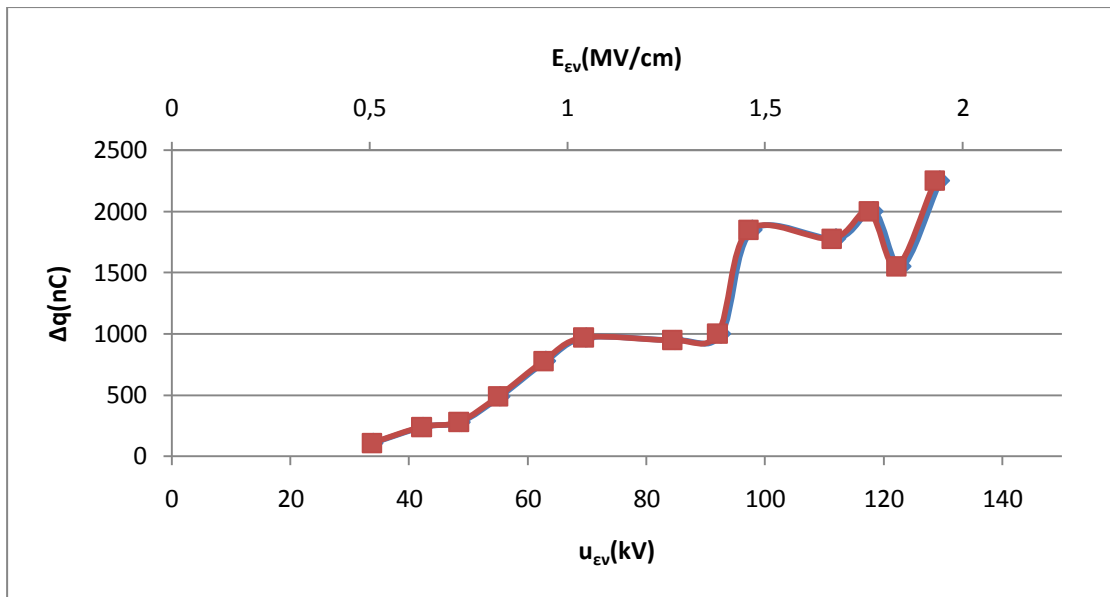
Σχήμα 3.3.18: Χαρακτηριστική $q_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



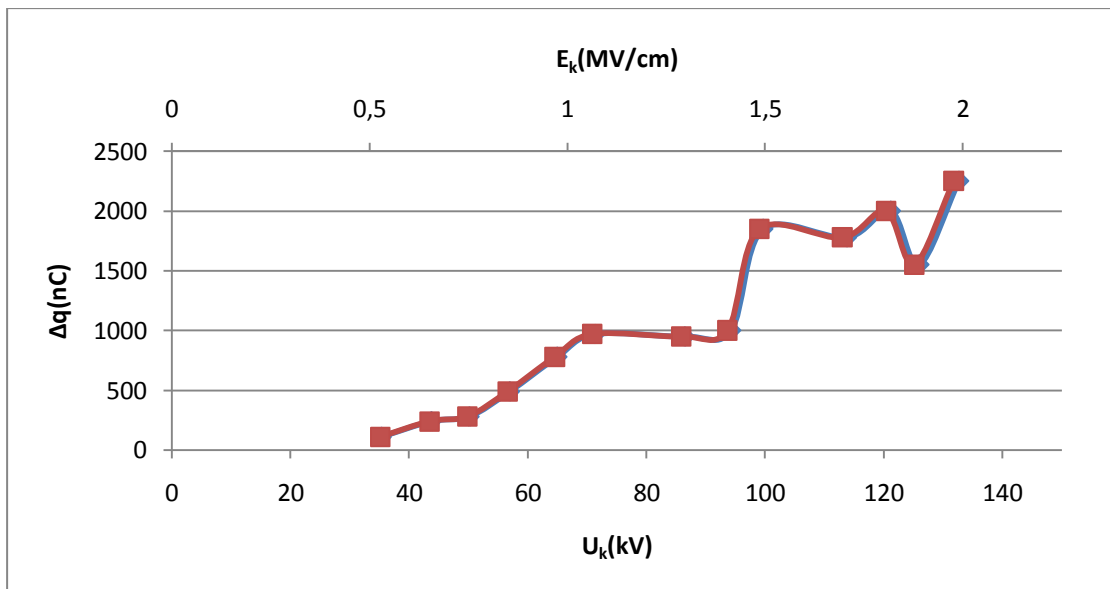
Σχήμα 3.3.19: Χαρακτηριστική $q_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_2 : φορτίο κατά την περαιώση των μερικών εκκενώσεων



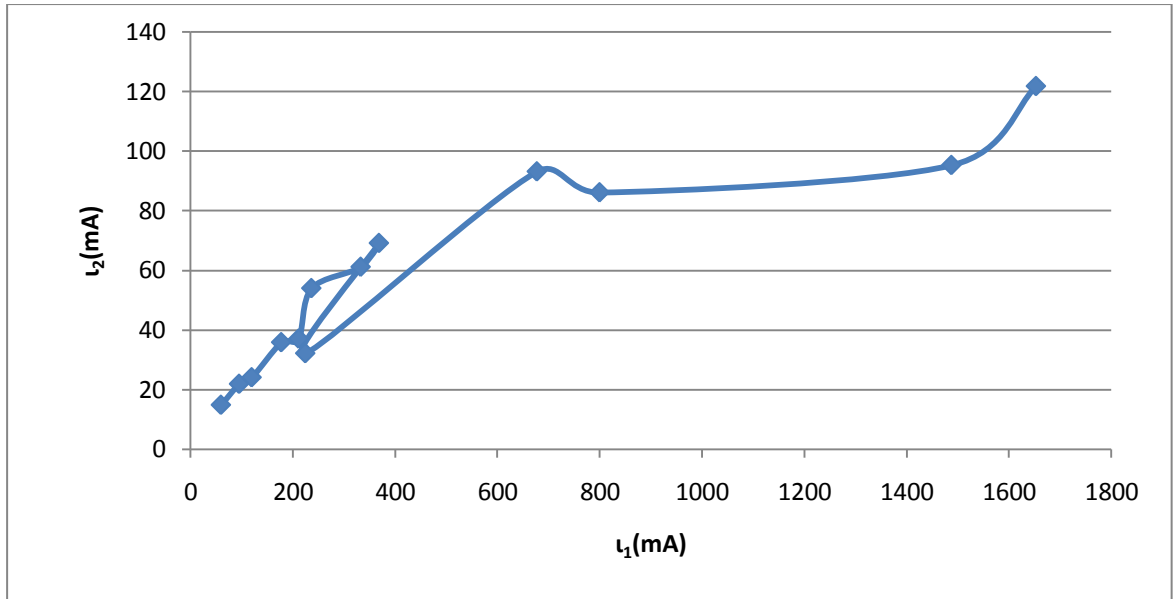
Σχήμα 3.3.20: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



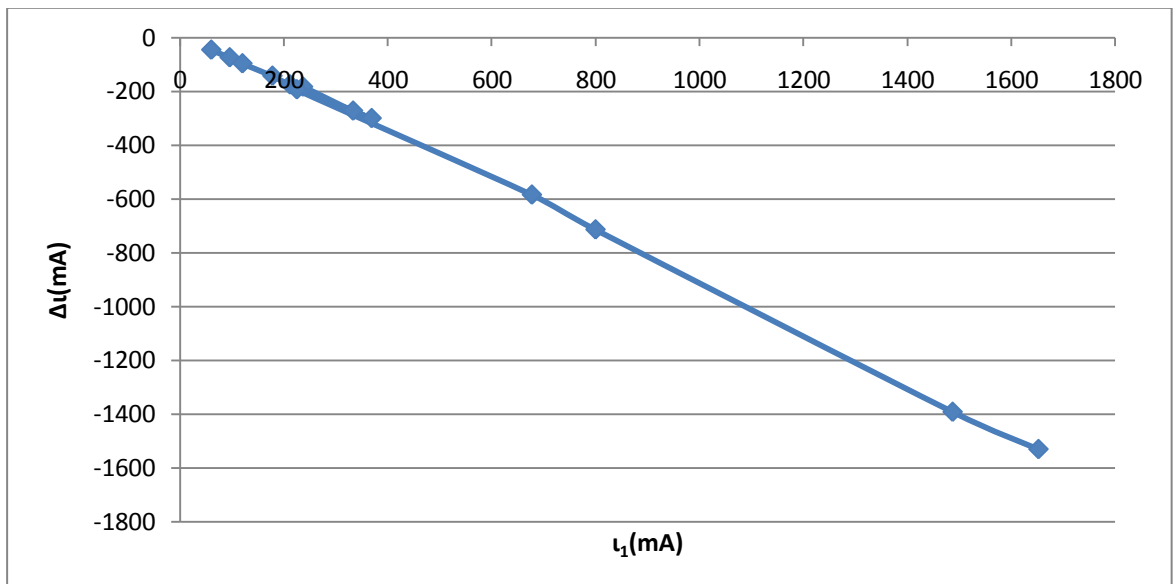
Σχήμα 3.3.21: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



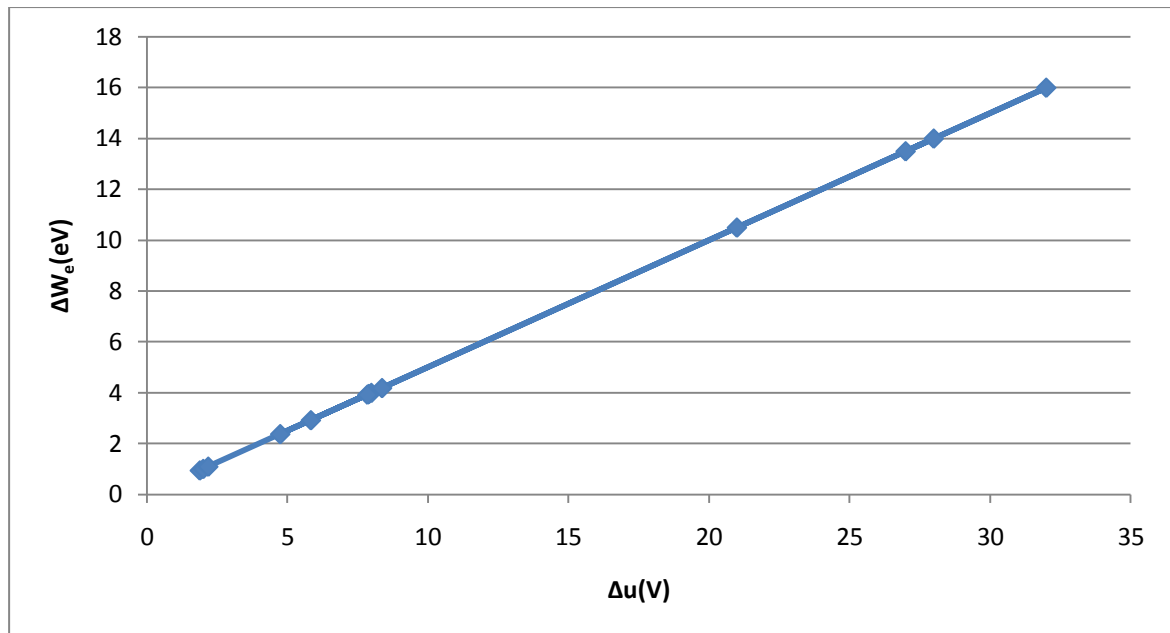
Σχήμα 3.3.22: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



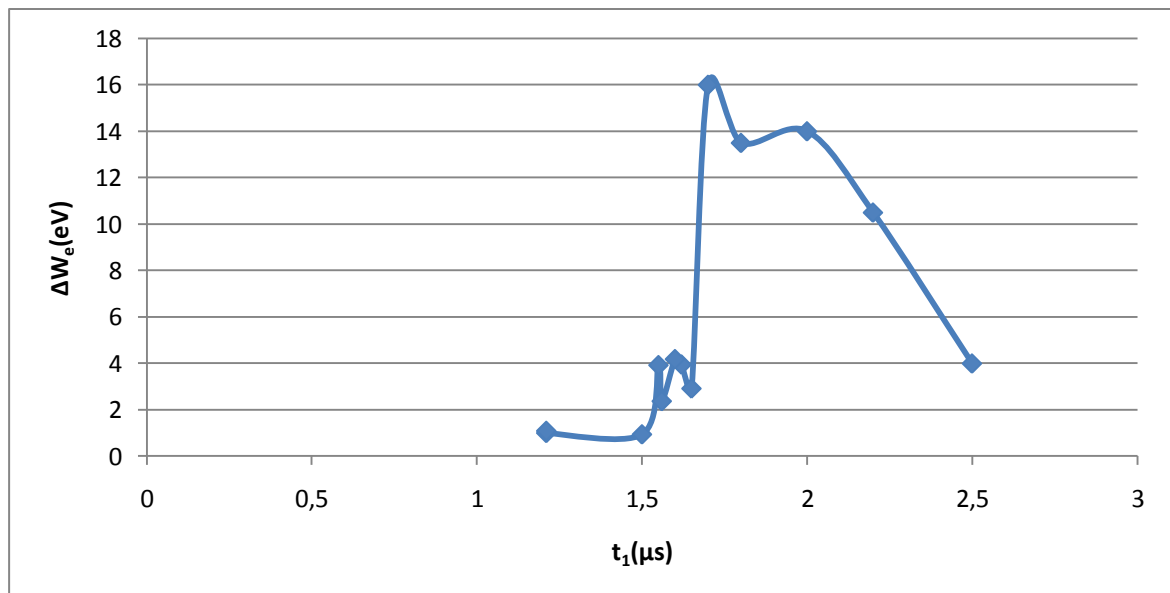
Σχήμα 3.3.23: Χαρακτηριστική $I_2=f(I_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) ακίδα-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 I_1 :στιγμαιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I_2 :στιγμαιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



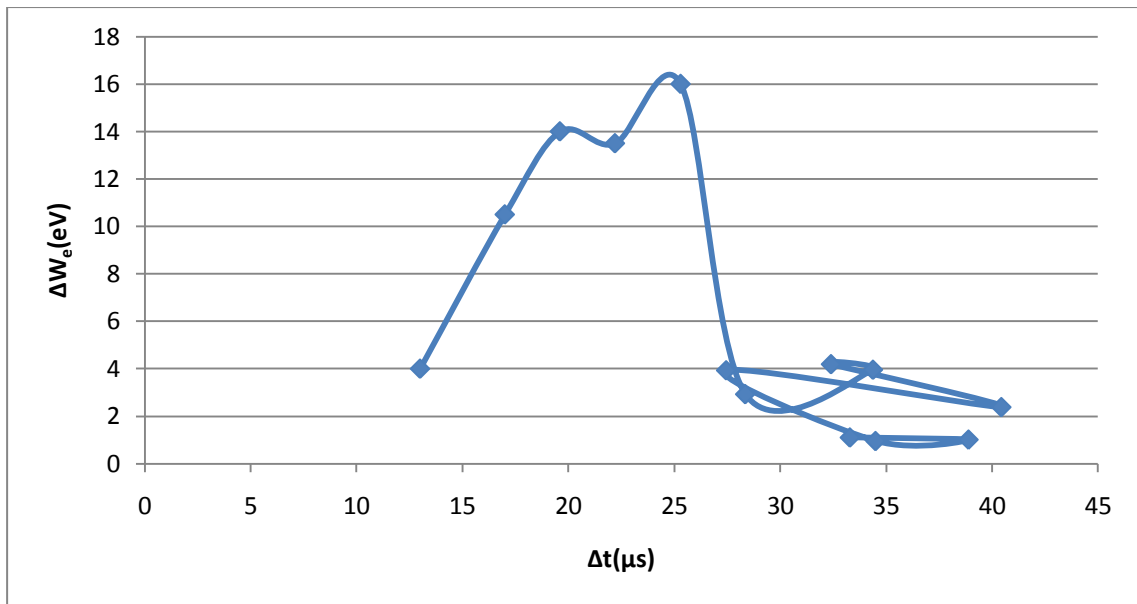
Σχήμα 3.3.24: Χαρακτηριστική $\Delta I=f(I_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) ακίδα-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 I_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 ΔI : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



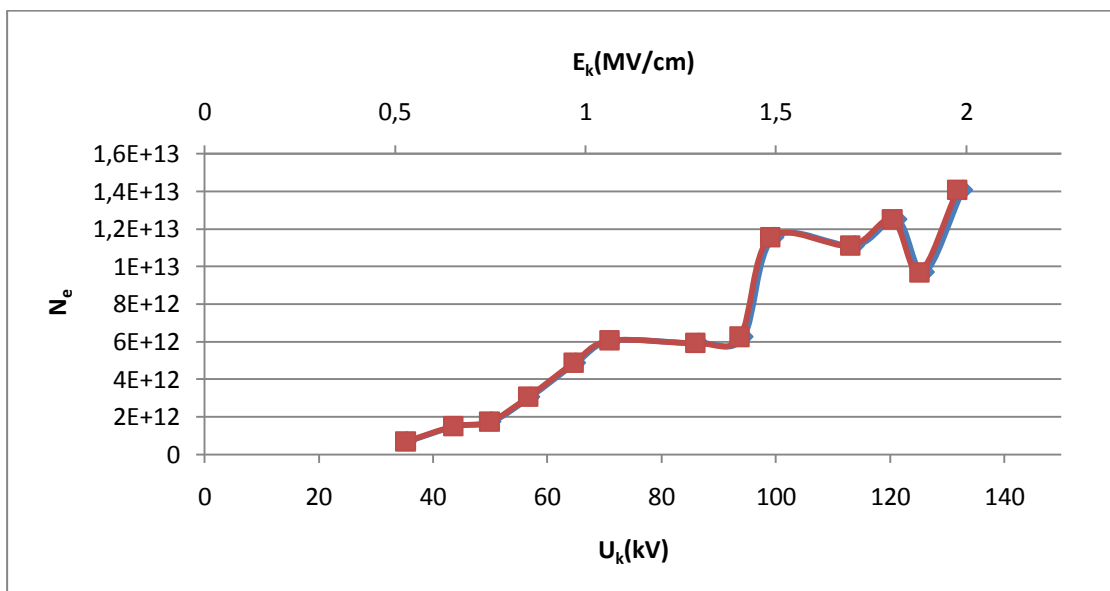
Σχήμα 3.3.25: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(\Delta u)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



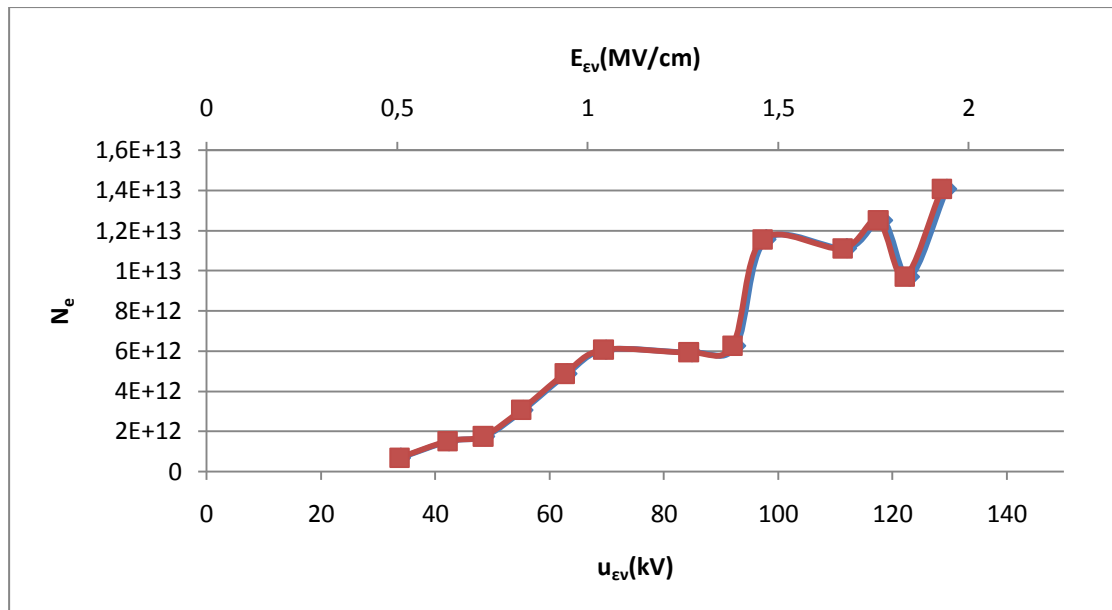
Σχήμα 3.3.26: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $+1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



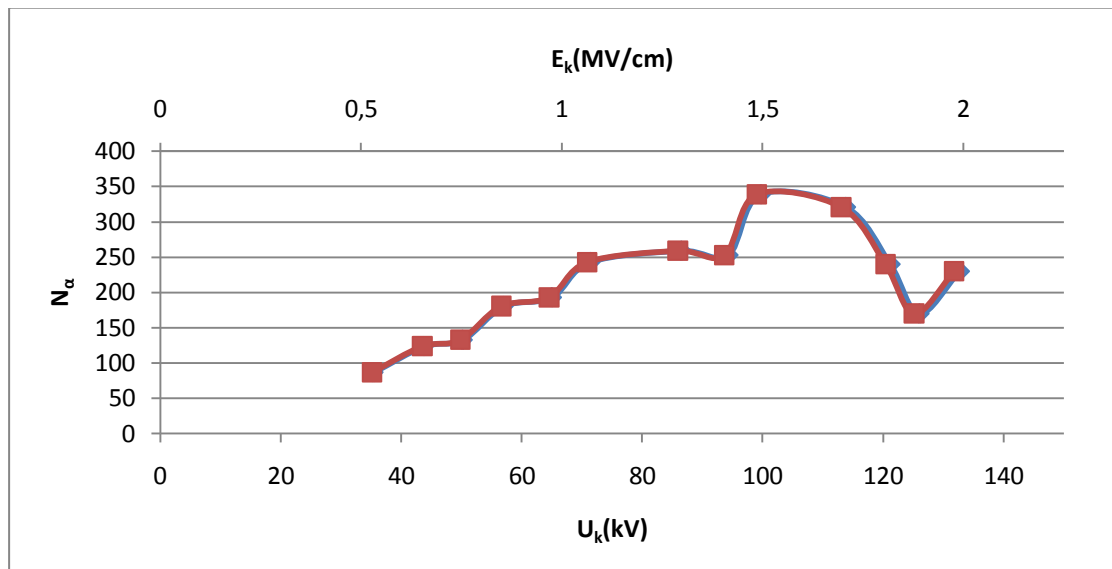
Σχήμα 3.3.27: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(\Delta t)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



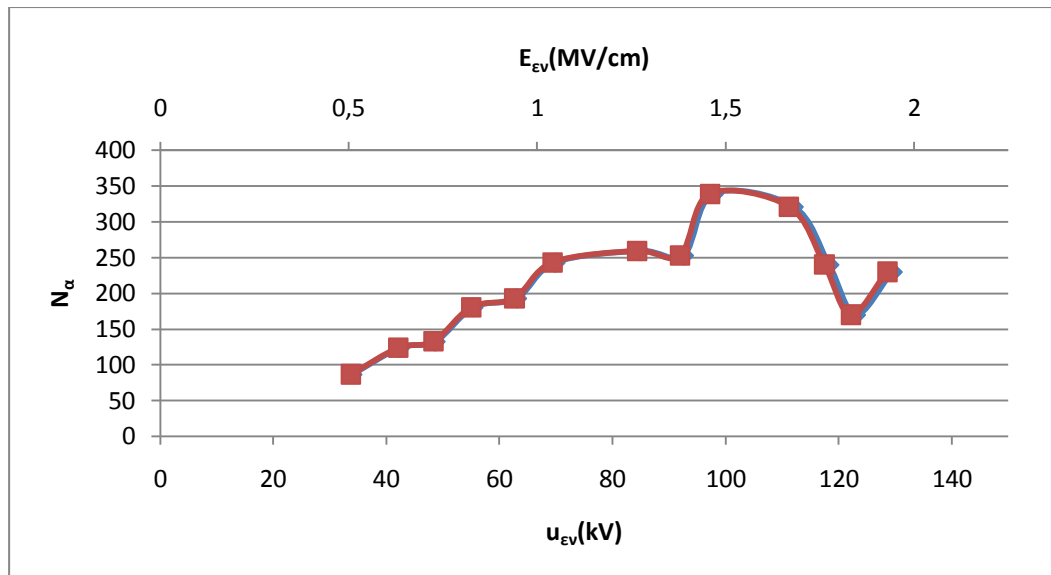
Σχήμα 3.3.28: Χαρακτηριστική $N_e=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50 μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.3.29: Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.3.30: Χαρακτηριστική $N_a = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



Σχήμα 3.3.31: Χαρακτηριστική $N_a = f(u_{\epsilon\nu}, E_{\epsilon\nu})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 $u_{\epsilon\nu}$: τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 $E_{\epsilon\nu}$: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

3.4 ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ -1,2/50 μ s - ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ d=2mm

U _k (kV)	E _k (kV/cm)	u _{ev} (kV)	E _{ev} (kV/cm)	C _m (nF)	t ₁ (μ s)	t ₂ (μ s)	Δ t(μ s)	N _{α}
36,2	539,2966271	35 0,00	521,4193909	10	2,5	15,5	13	130
44,5	662,9475113	43,1 0,00	642,0907356	10	2,2	19,2	17	170
51,2	762,7620804	48,1 0,00	716,57922	10	2	21,6	19,6	196
57,2	852,1482617	55,3 0,00	823,8426376	20	1,8	24	22,2	222
64,7	963,8809883	63,1 0,00	940,0446733	20	1,7	27	25,3	253
73,1	1089,021642	71,1 0,00	1059,226248	210	1,65	30	28,35	283,5
80,1	1193,30552	77,2 0,00	1150,102199	210	1,62	36	34,38	343,8
92	1370,588113	88,6 0,00	1319,935944	210	1,6	34	32,4	324
99,7	1485,300379	97,2 0,00	1448,056137	210	1,56	42	40,44	404,4
106,4	1585,114948	103 0,00	1534,462779	210	1,55	29	27,45	274,5
115,9	1726,643069	113 0,00	1683,439748	1000	1,5	36	34,5	345
121,2	1805,600862	117,5 0,00	1750,479384	1000	1,21	40,1	38,89	388,9
126,6	1886,048425	123 0,00	1832,416717	1000	1,21	34,5	33,29	332,9
134,7	2006,71977	131 0,00	1951,598292	1000	1,21	32,5	31,29	312,9

Πίνακας 3.4α: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) -πλάκα για πάχος δοκιμίου d=2mm

U_k: μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

E_k: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση

u_{ev}: τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων

E_{ev}: ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

C_m: πυκνωτής μέτρησης

t₁: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t₂: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

Δ t: χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

N _{α} : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

Σημείωση: Η δεύτερη τιμή ανά επίπεδο τάσης είναι η τυπική απόκλιση

$C_m(\text{nF})$	$u_1(\text{V})$	$u_2(\text{V})$	$\Delta u(\text{V})$	$\Delta W_e(\text{eV})$	$q_1(\text{nC})$	$q_2(\text{nC})$
10	15	23	8	4	150	230
10	21	42	21	10,5	210	420
10	24	52	28	14	240	520
20	16	43	27	13,5	320	860
20	18	50	32	16	360	1000
210	1,86	7,71	5,85	2,925	390,6	1619,1
210	2,57	10,48	7,91	3,955	539,7	2200,8
210	2,81	11,19	8,38	4,19	590,1	2349,9
210	1,67	6,43	4,76	2,38	350,7	1350,3
210	5	12,86	7,86	3,93	1050	2700,6
1000	1,2	3,1	1,9	0,95	1200	3100
1000	1,8	3,82	2,02	1,01	1800	3820
1000	2	4,2	2,2	1,1	2000	4200
1000	2,4	4,4	2	1	2400	4400

Πίνακας 3.4β: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό

κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu\text{s}$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

C_m : πυκνωτής μέτρησης

u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δu : συνολικό άλμα δυναμικού

ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

$t_1(\mu\text{s})$	$t_2(\mu\text{s})$	$q_1(\text{nC})$	$q_2(\text{nC})$	$\Delta q(\text{nC})$	N_e	$i_1(\text{mA})$	$i_2(\text{mA})$	$\Delta i(\text{mA})$
2,5	15,5	150	230	80	5E+11	60	14,83871	-45,1613
2,2	19,2	210	420	210	1,3125E+12	95,45455	21,875	-73,5795
2	21,6	240	520	280	1,75E+12	120	24,07407	-95,9259
1,8	24	320	860	540	3,375E+12	177,7778	35,83333	-141,944
1,7	27	360	1000	640	4E+12	211,7647	37,03704	-174,728
1,65	30	390,6	1619,1	1228,5	7,67813E+12	236,7273	53,97	-182,757
1,62	36	539,7	2200,8	1661,1	1,03819E+13	333,1481	61,13333	-272,015
1,6	34	590,1	2349,9	1759,8	1,09988E+13	368,8125	69,11471	-299,698
1,56	42	350,7	1350,3	999,6	6,2475E+12	224,8077	32,15	-192,658
1,55	29	1050	2700,6	1650,6	1,03163E+13	677,4194	93,12414	-584,295
1,5	36	1200	3100	1900	1,1875E+13	800	86,11111	-713,889
1,21	40,1	1800	3820	2020	1,2625E+13	1487,603	95,26185	-1392,34
1,21	34,5	2000	4200	2200	1,375E+13	1652,893	121,7391	-1531,15
1,21	32,5	2400	4400	2000	1,25E+13	1983,471	135,3846	-1848,09

Πίνακας 3.4γ: Πίνακας μεγεθών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό

κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu\text{s}$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα

καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) - πλάκα για πάχος δοκιμίου $d=2\text{mm}$

t1: χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων

t2: χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων

q1: φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

q2: φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων

Δq: αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

N_e: αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων

i1: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών

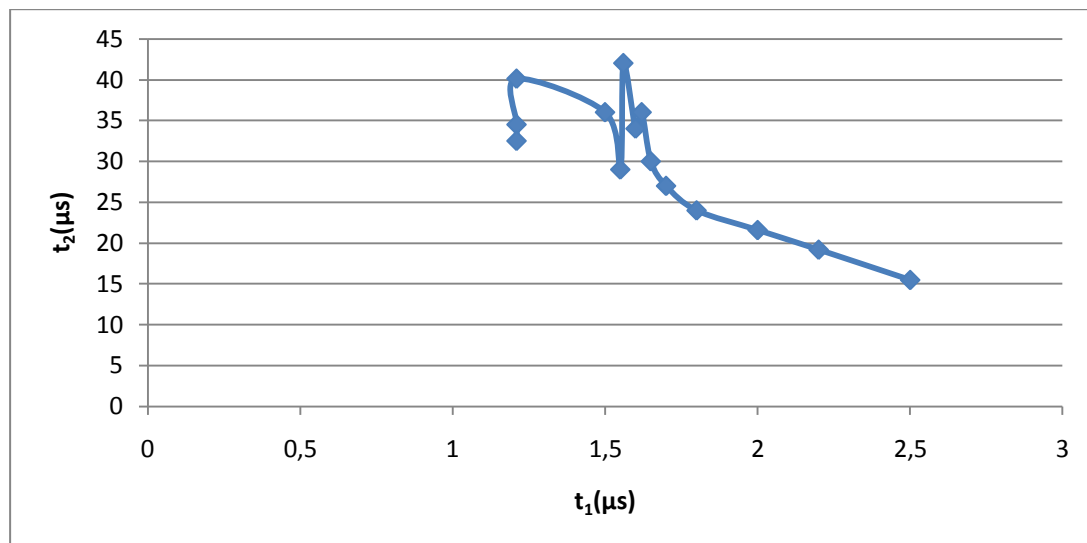
εκκενώσεων

i2: στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των

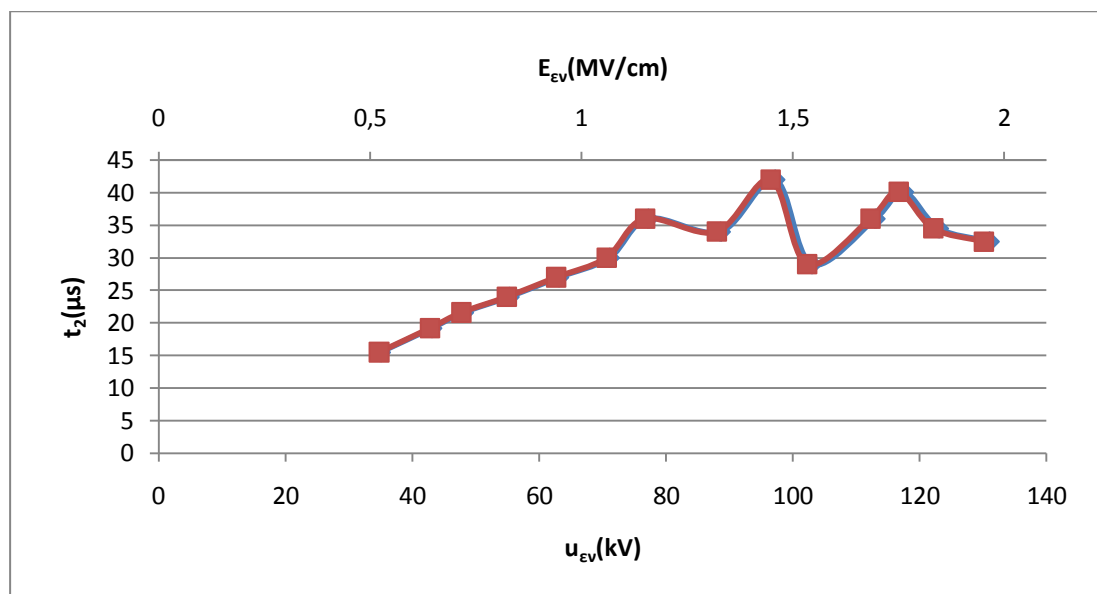
μερικών εκκενώσεων

Δi: μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων

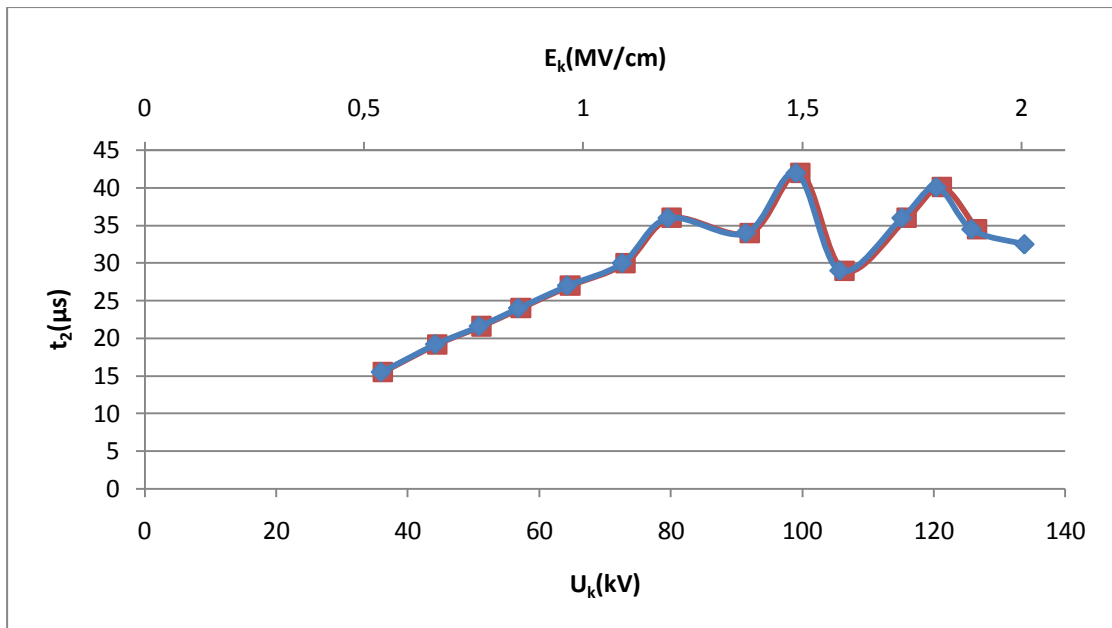
Διαγράμματα



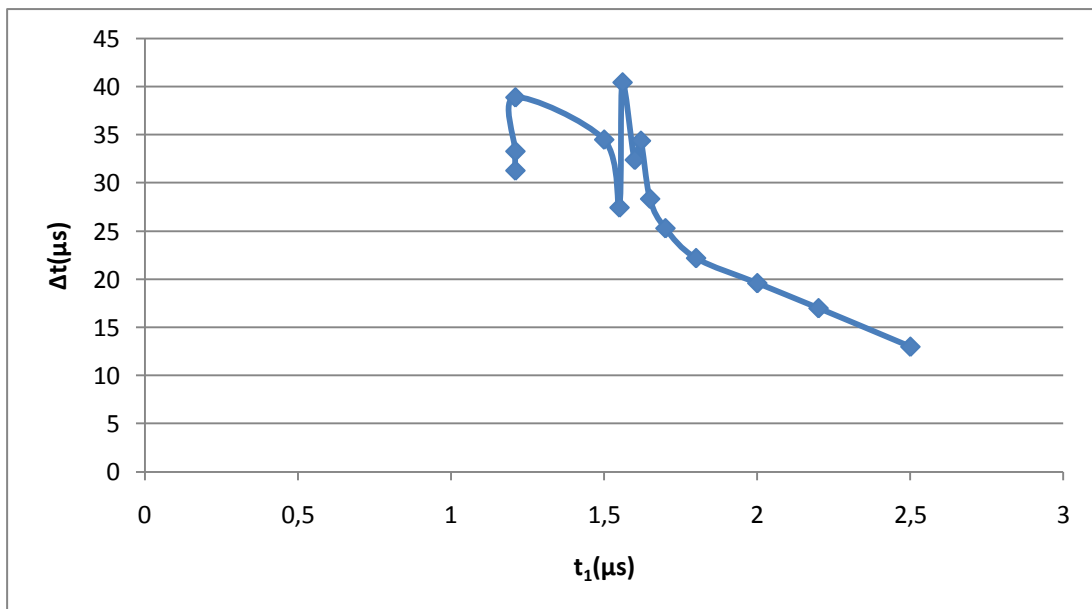
Σχήμα 3.4.1: Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



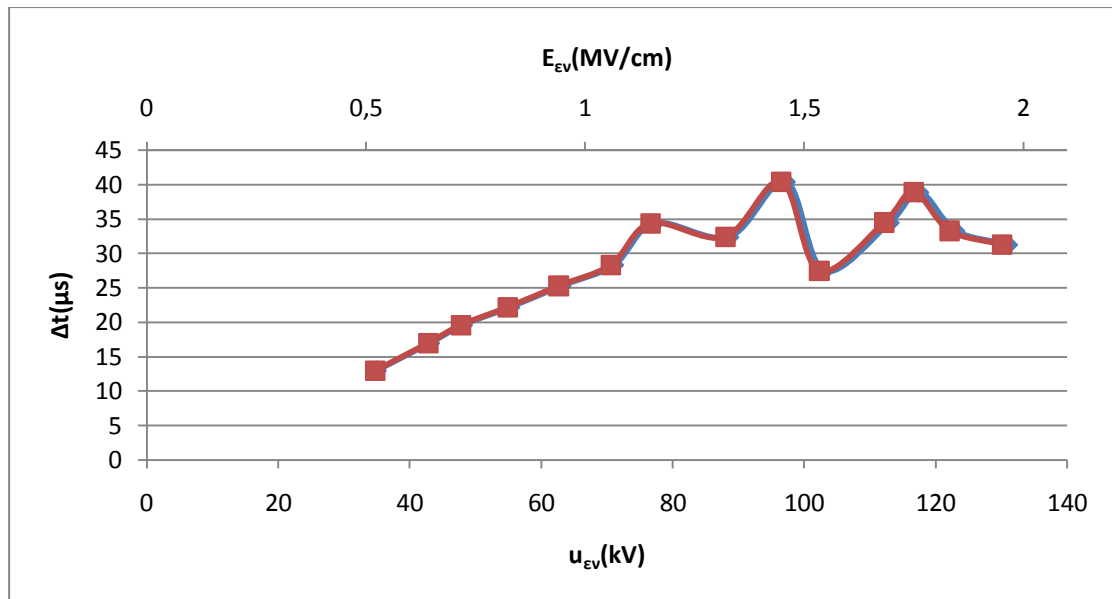
Σχήμα 3.4.2: Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



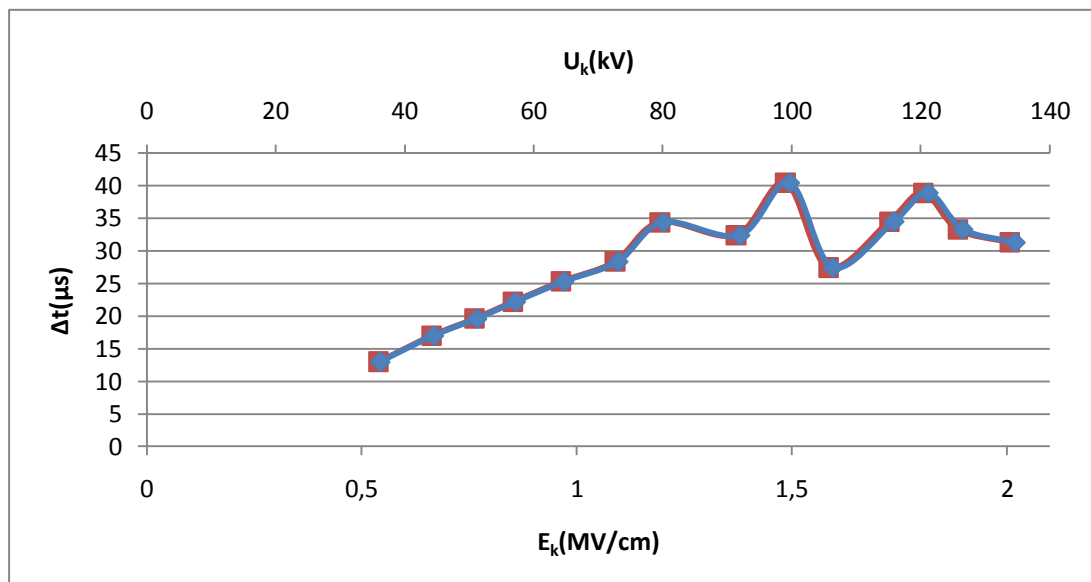
Σχήμα 3.4.3: Χαρακτηριστική $t_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 t_2 : χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων



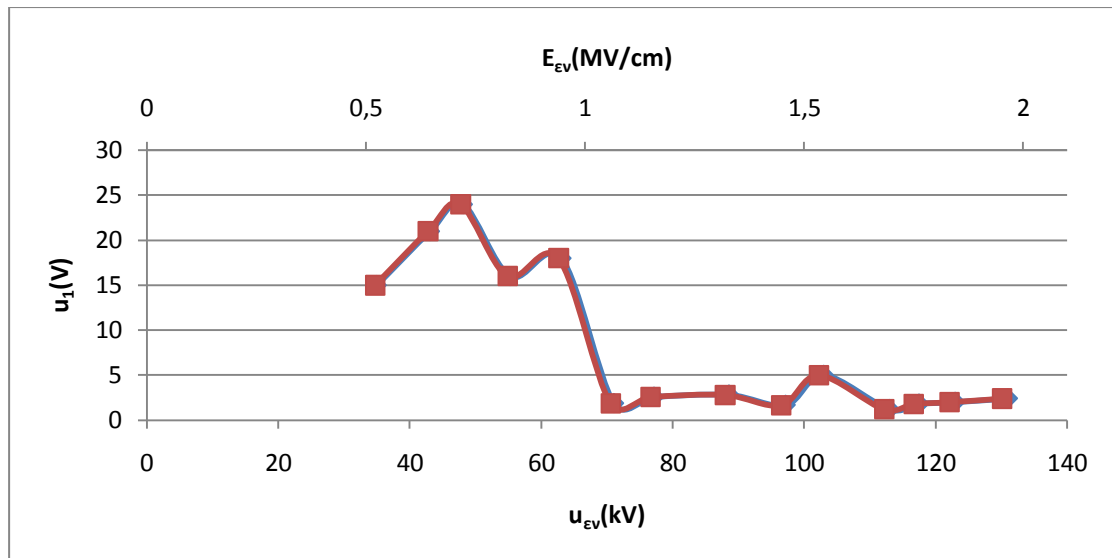
Σχήμα 3.4.4: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50 μ s υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 t_1 :χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 Δt :χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



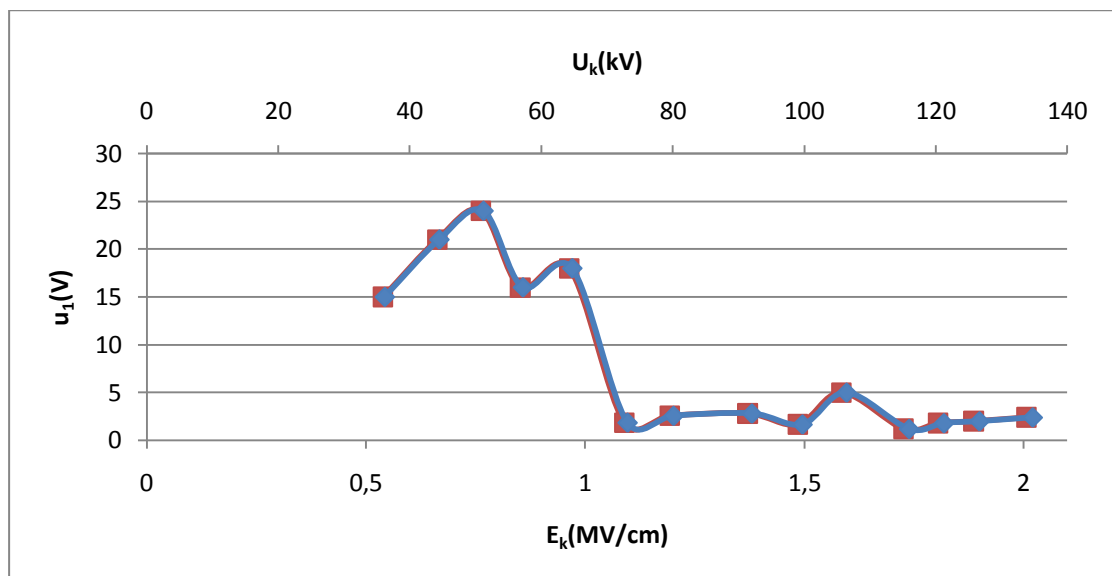
Σχήμα 3.4.5: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



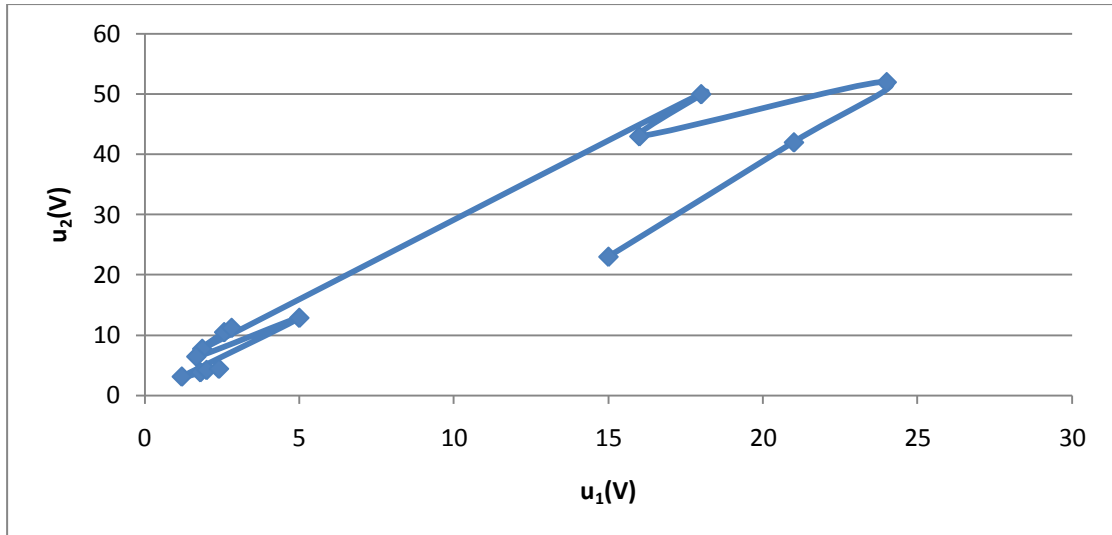
Σχήμα 3.4.6: Χαρακτηριστική $\Delta t=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



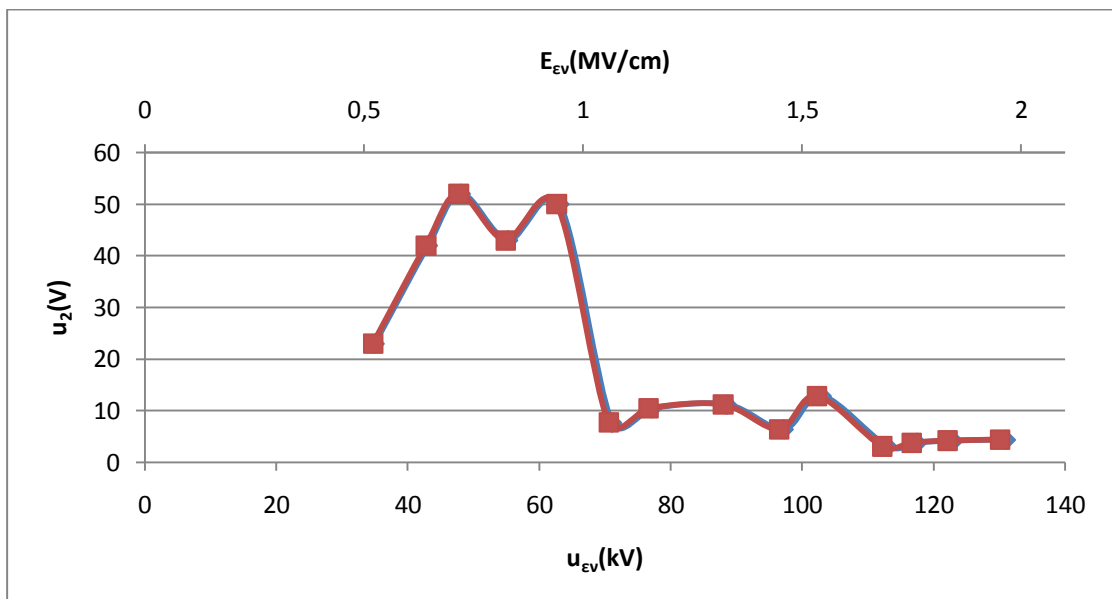
Σχήμα 3.4.7: Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{Ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



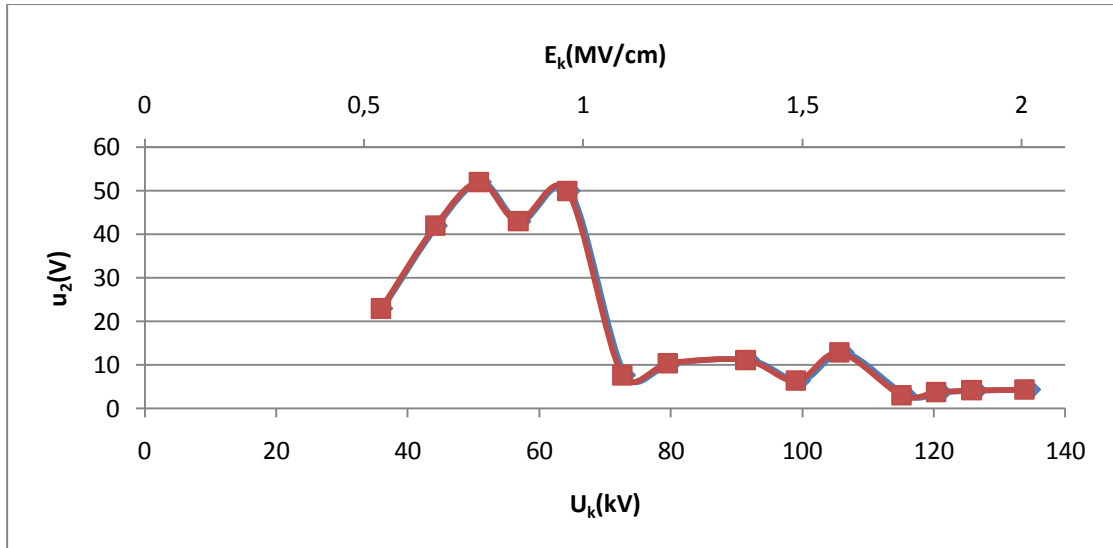
Σχήμα 3.4.8: Χαρακτηριστική $u_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



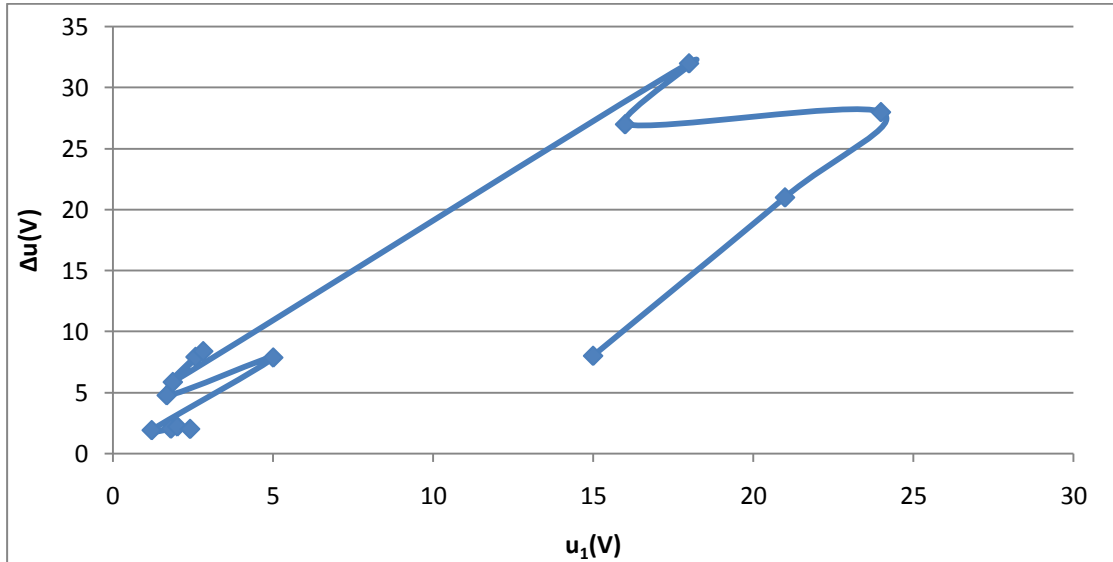
Σχήμα 3.4.9: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) ακίδα-πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_1 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 :στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



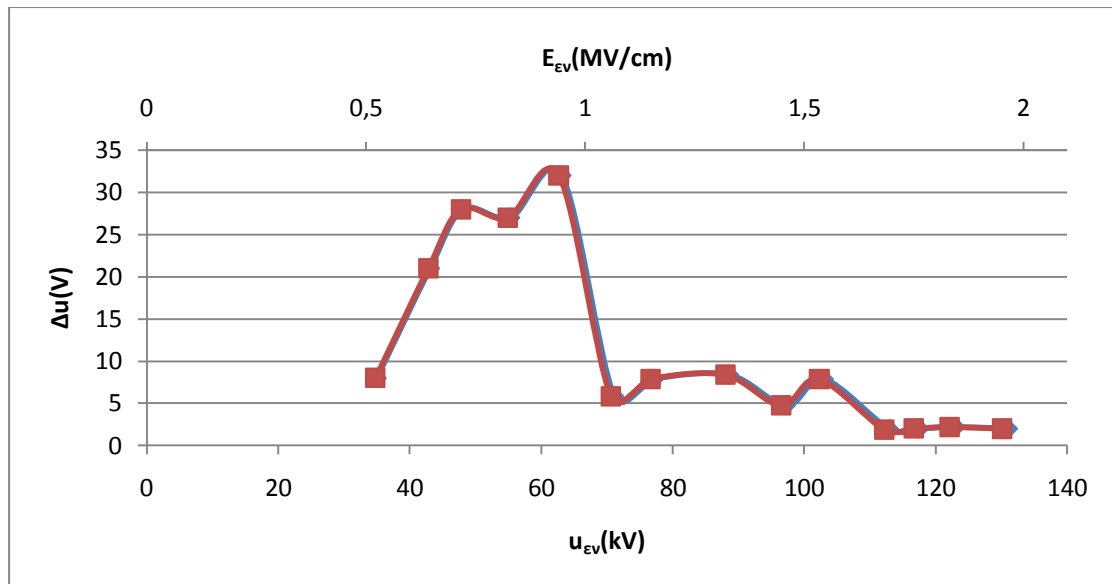
Σχήμα 3.4.10: Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{EV} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



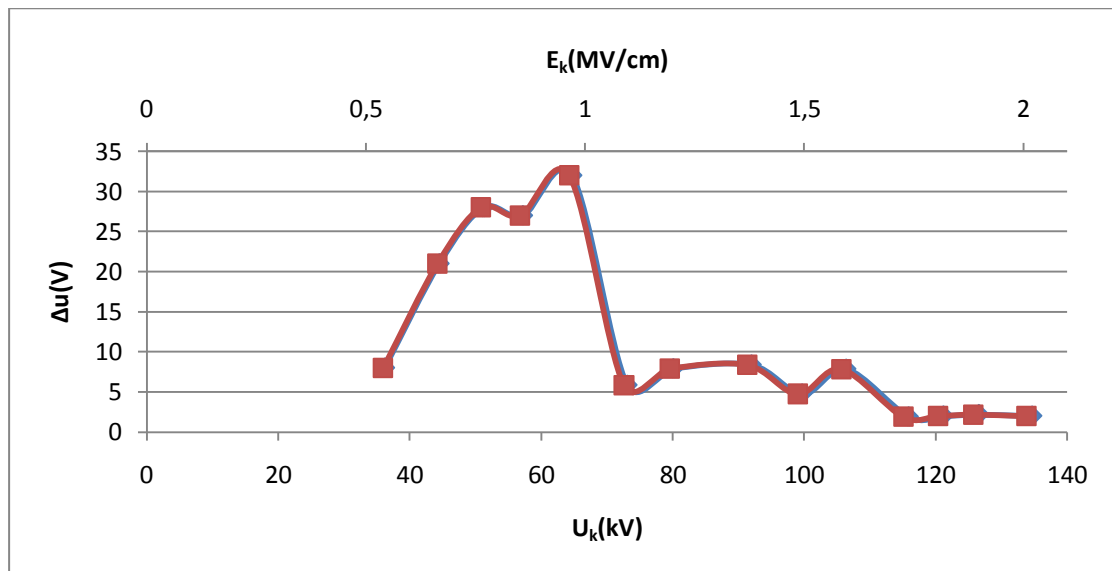
Σχήμα 3.4.11: Χαρακτηριστική $u_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 u_2 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



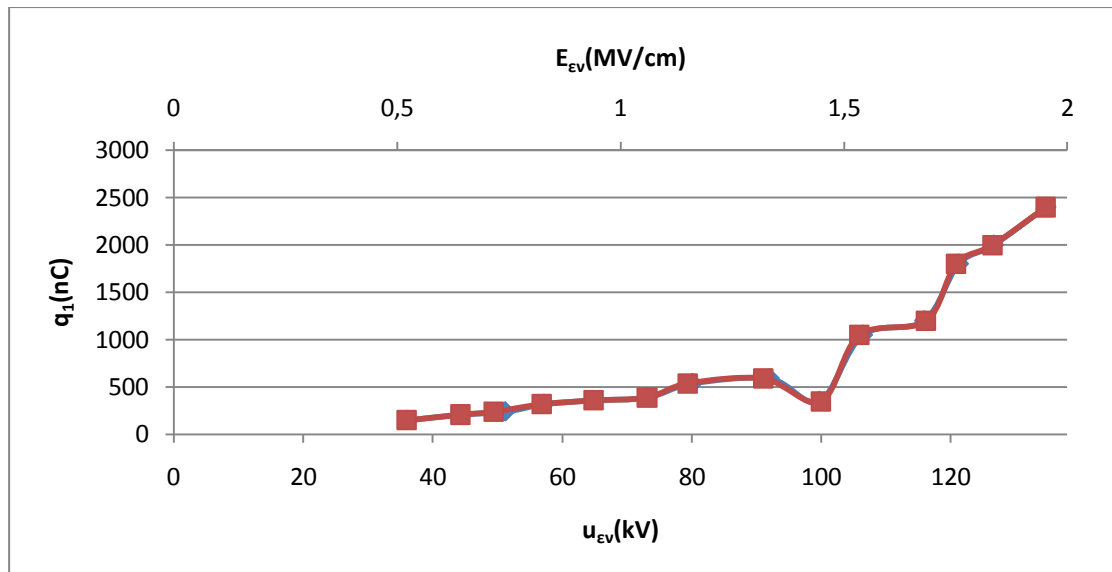
Σχήμα 3.4.12: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_1 : στιγμιαία τιμή της τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



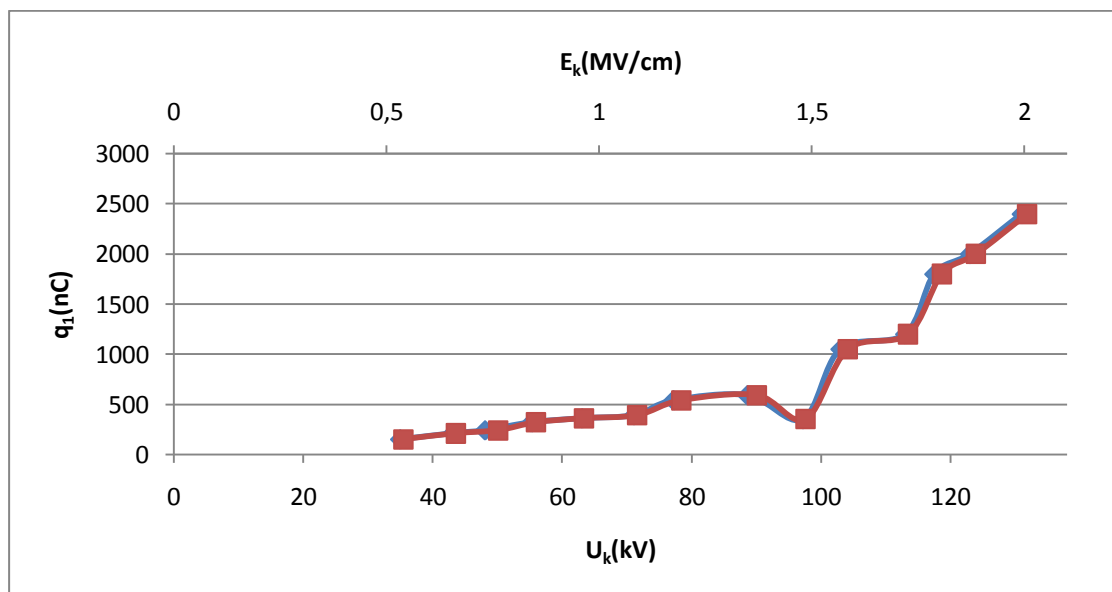
Σχήμα 3.4.13: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δu : άλμα δυναμικού



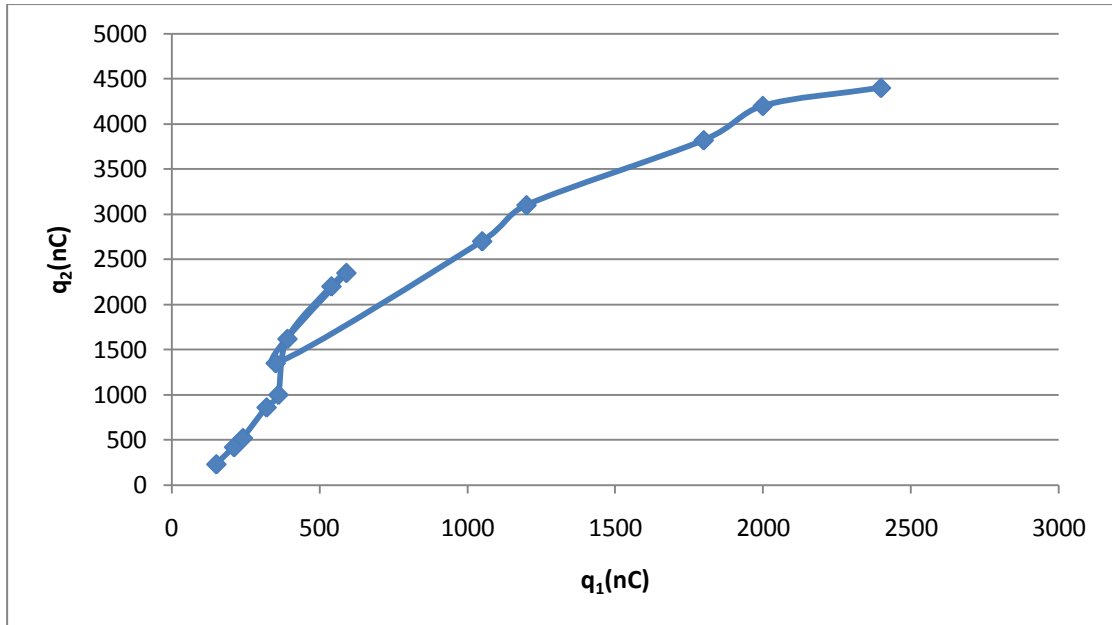
Σχήμα 3.4.14: Χαρακτηριστική $\Delta u=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δu : συνολικό άλμα δυναμικού



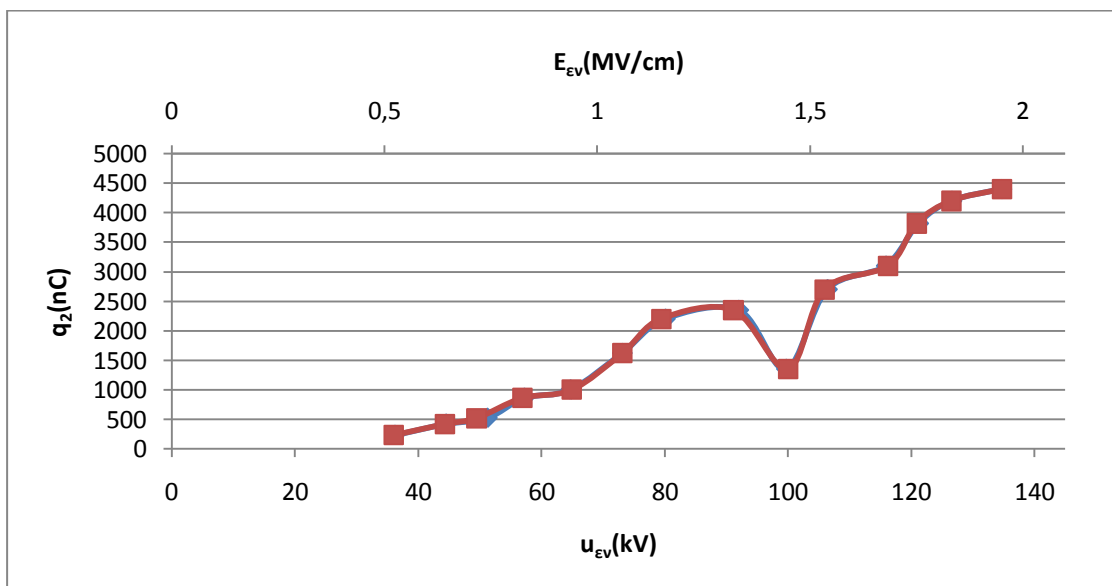
Σχήμα 3.4.15: Χαρακτηριστική $q_1=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



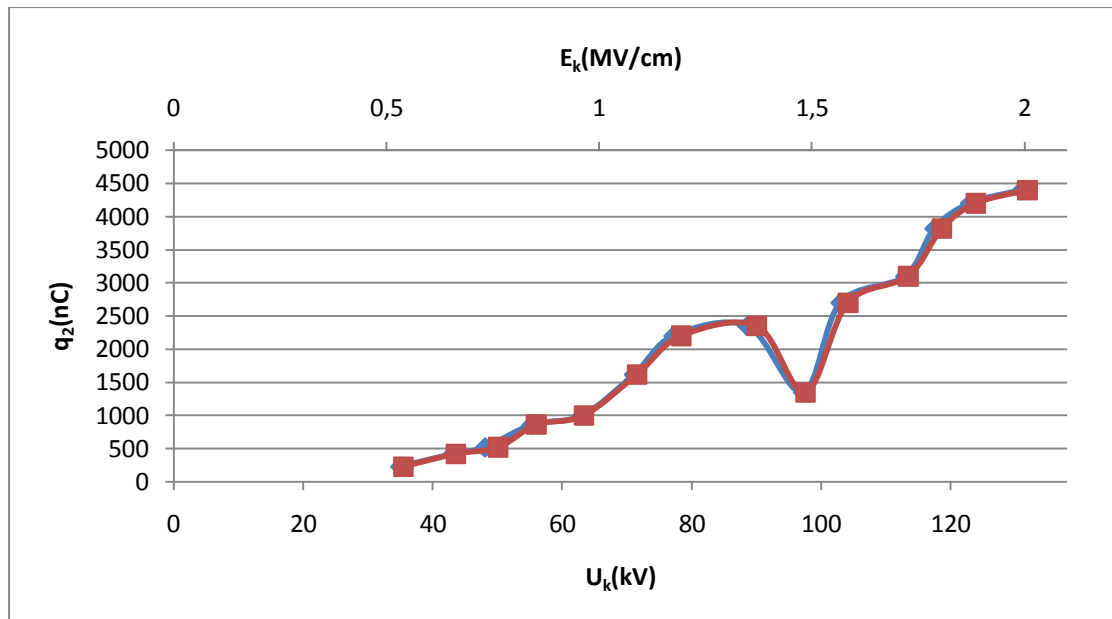
Σχήμα 3.4.16: Χαρακτηριστική $q_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



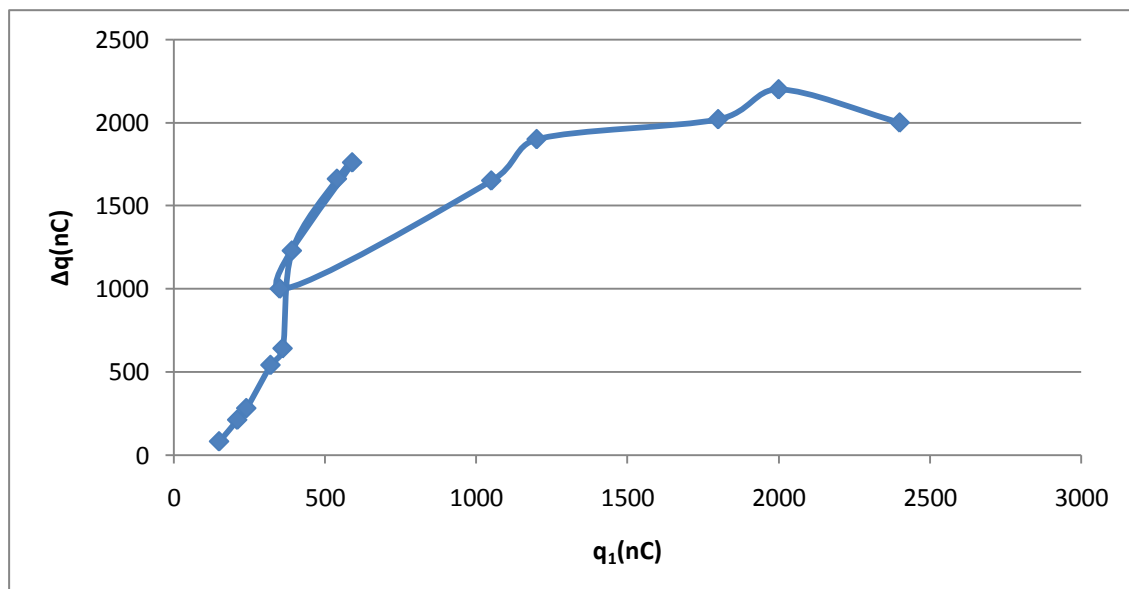
Σχήμα 3.4.17: Χαρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 :φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



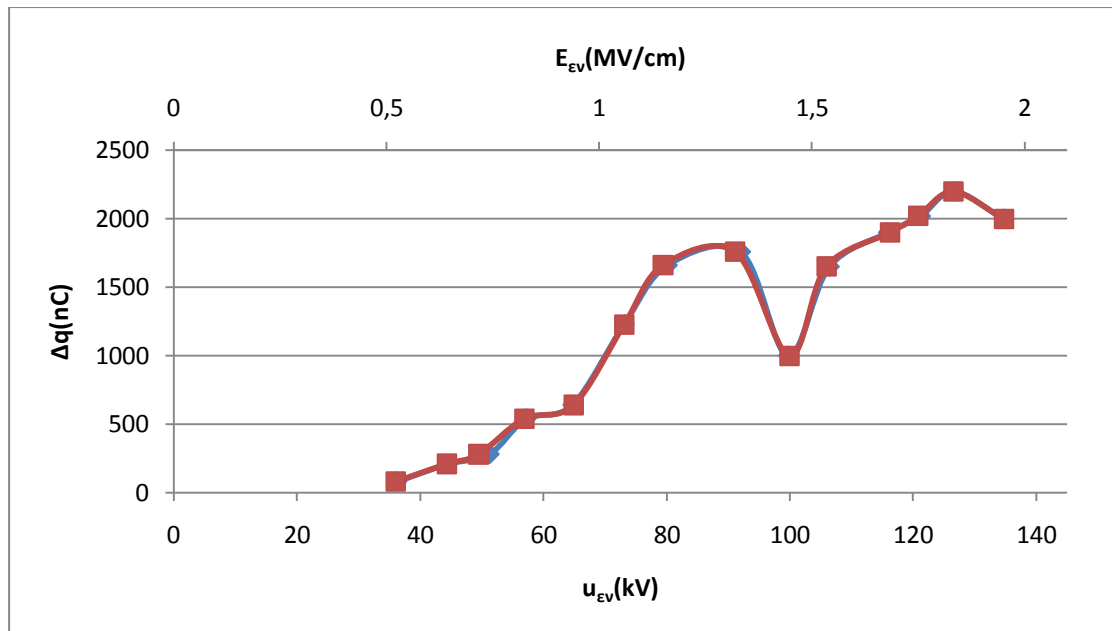
Σχήμα 3.4.18: Χαρακτηριστική $q_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{Ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



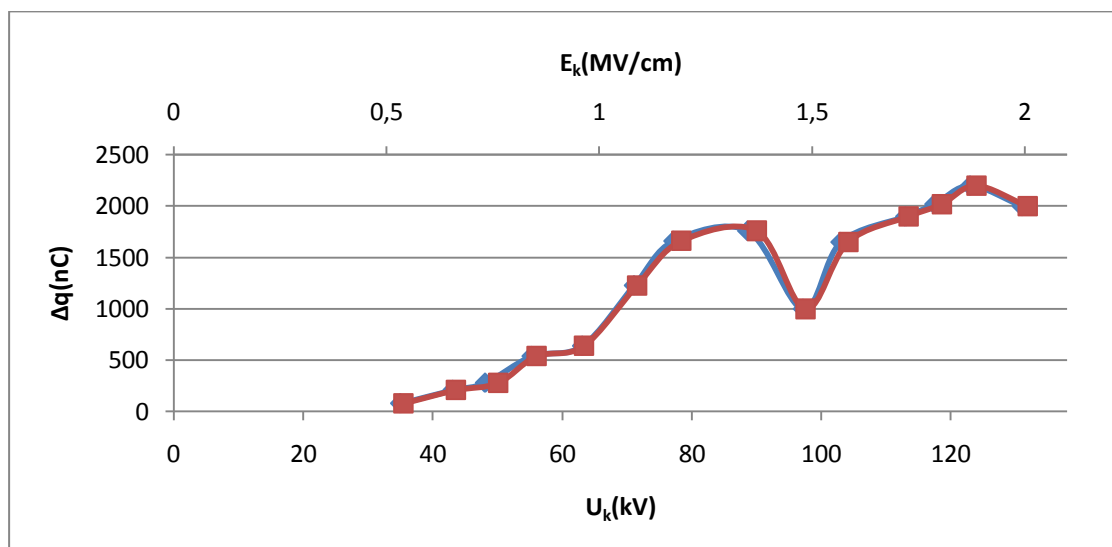
Σχήμα 3.4.19: Χαρακτηριστική $q_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 q_2 : φορτίο κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



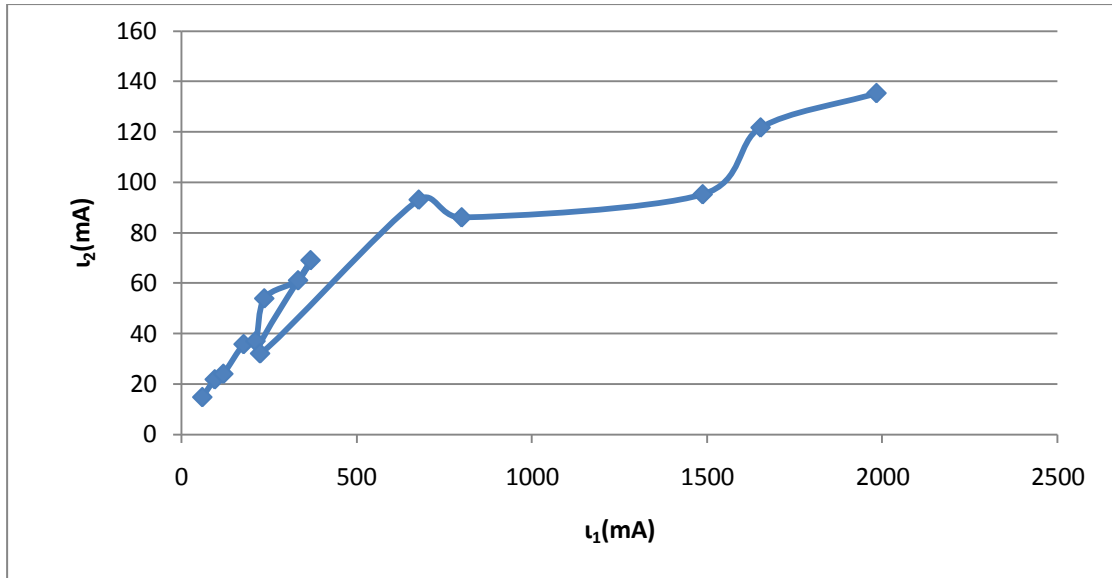
Σχήμα 3.4.20: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 q_1 : φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



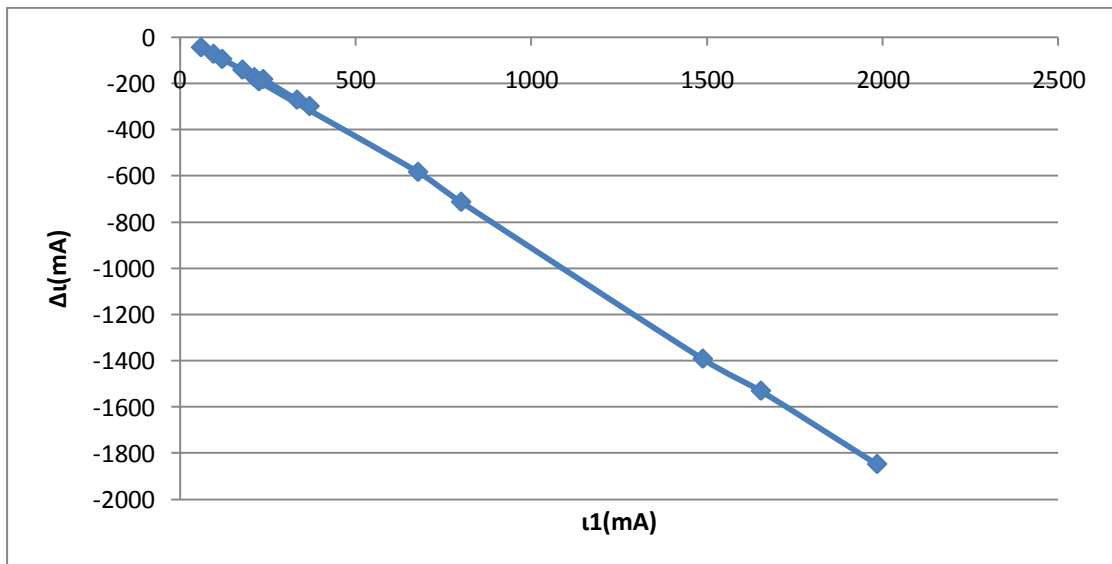
Σχήμα 3.4.21: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(u_{ev},E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



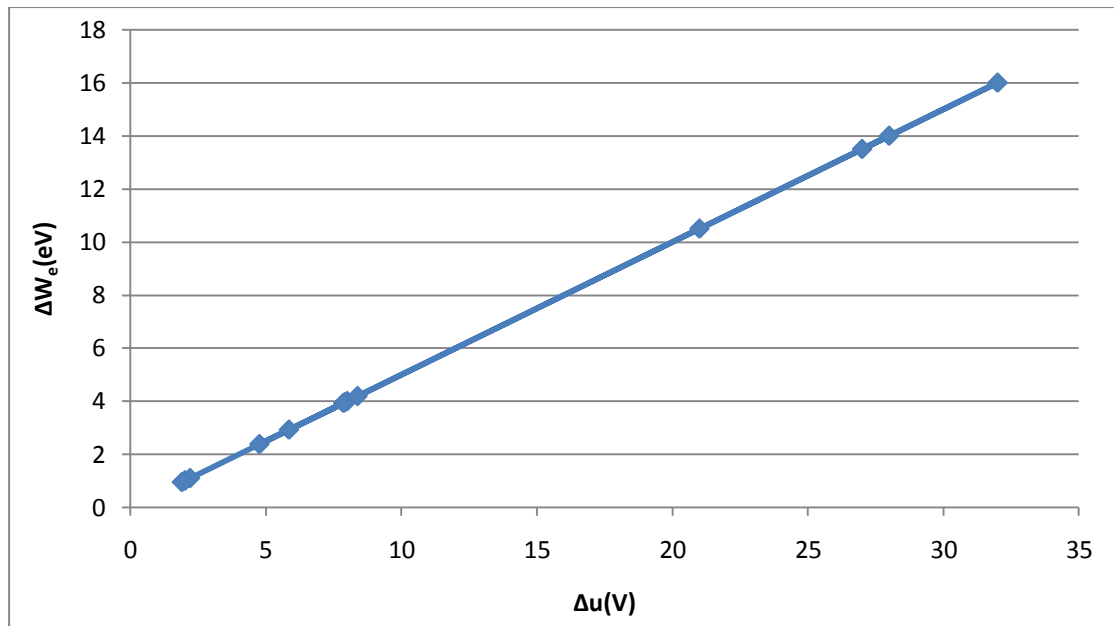
Σχήμα 3.4.22: Χαρακτηριστική $\Delta q=f(U_k,E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 Δq : αύξηση φορτίου στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



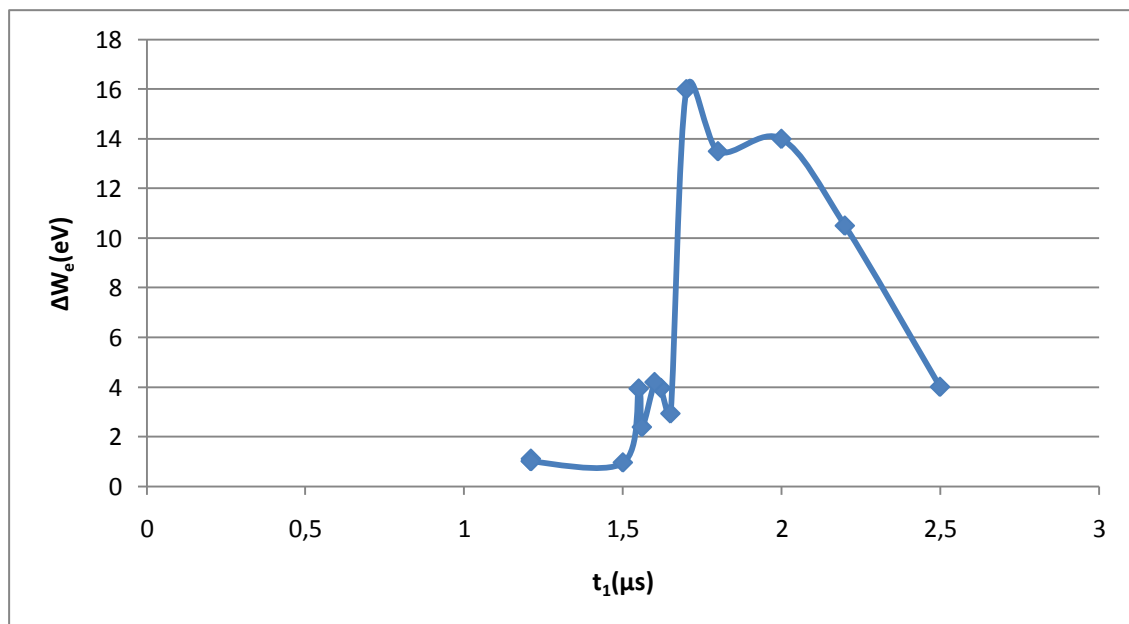
Σχήμα 3.4.23: Χαρακτηριστική $i_2=f(i_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 i_2 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



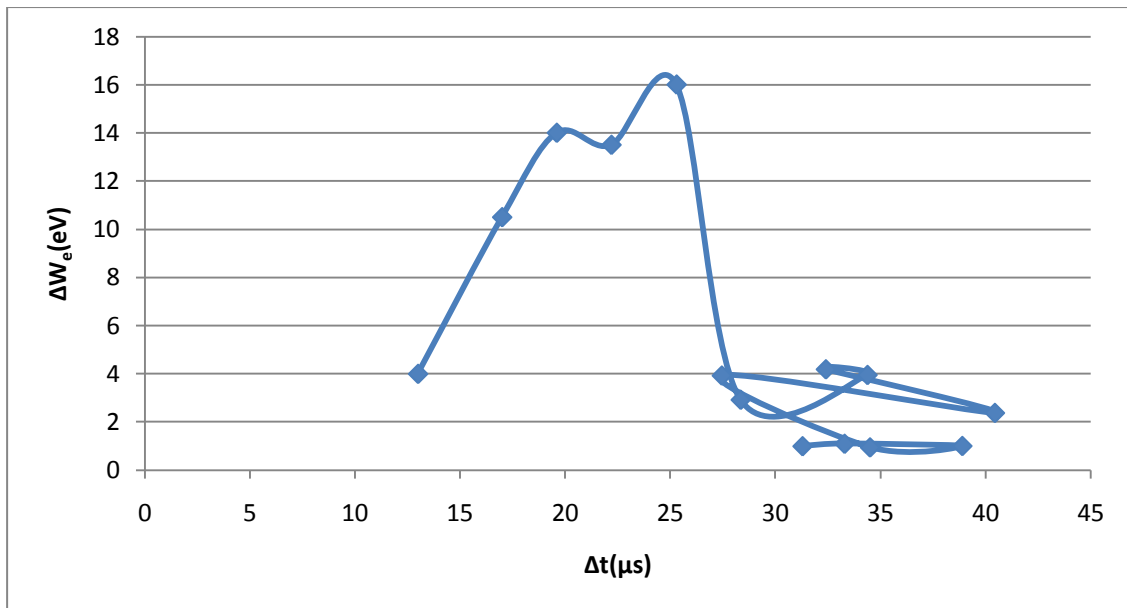
Σχήμα 3.4.24: Χαρακτηριστική $\Delta i=f(i_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 i_1 : στιγμιαία τιμή του ρεύματος κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Δi : μεταβολή του ρεύματος στη διάρκεια των μερικών εκκενώσεων



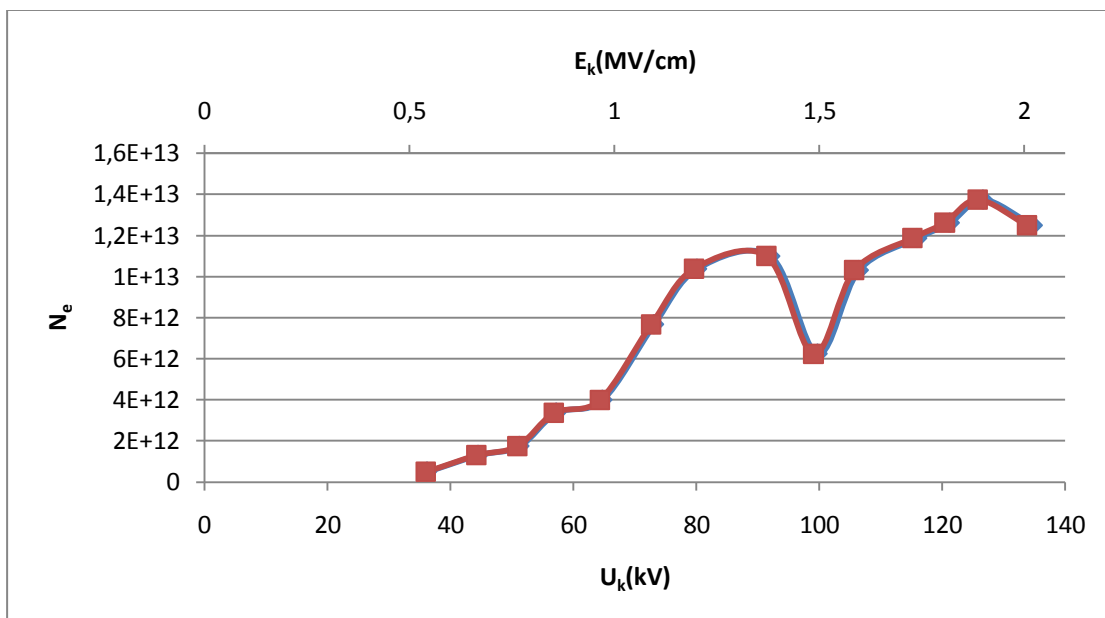
Σχήμα 3.4.25: Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(\Delta u)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα (ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 Δu : άλμα δυναμικού
 ΔW_e : άλμα δυναμικού σε eV



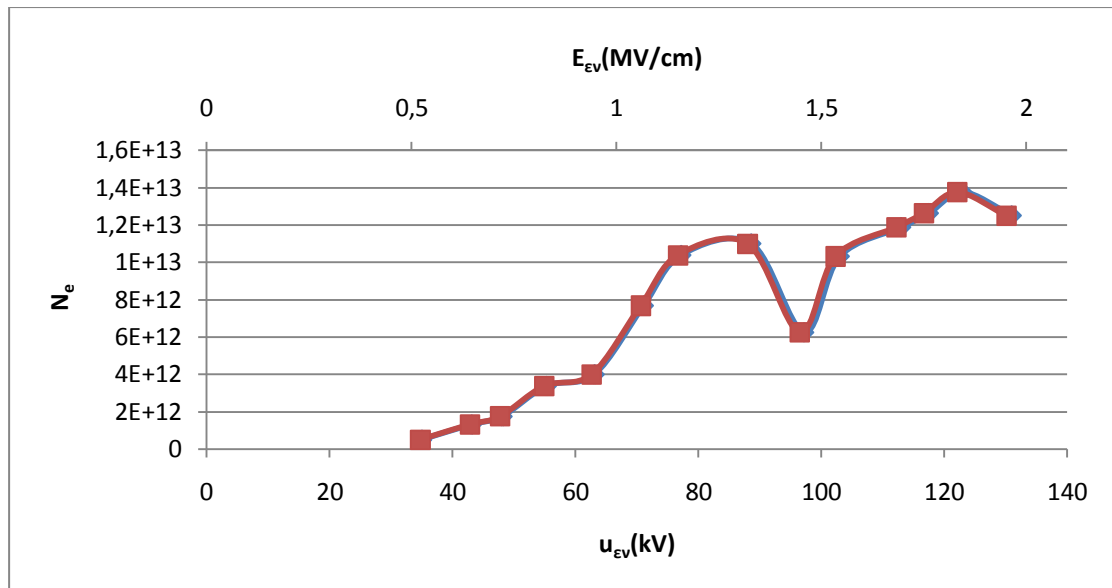
Σχήμα 3.4.26: Χαρακτηριστική $\Delta W_e = f(t_1)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 t_1 : χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



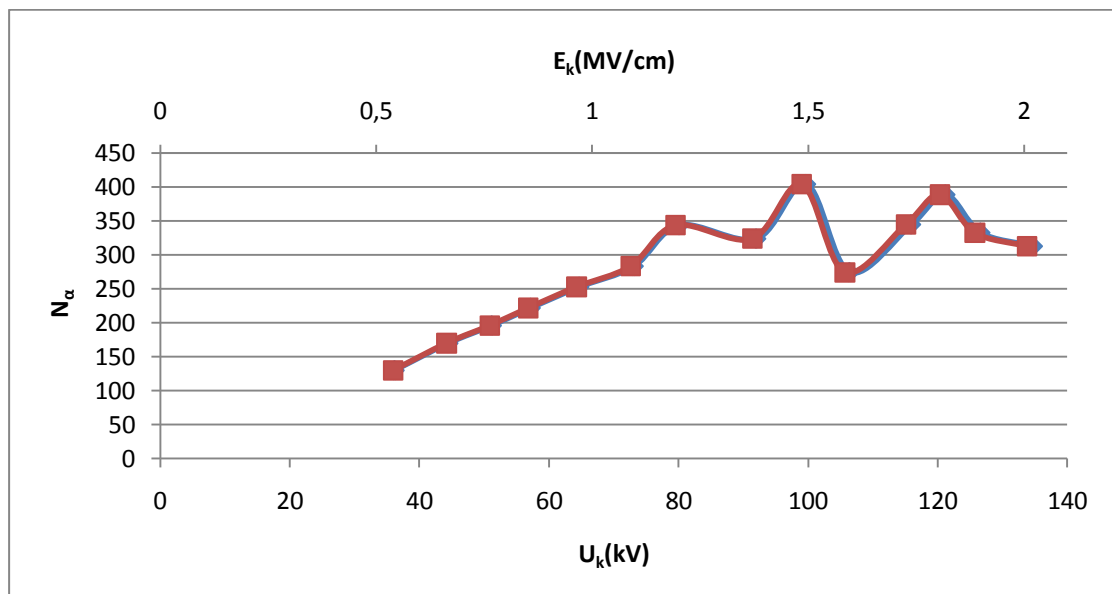
Σχήμα 3.4.27: Χαρακτηριστική $\Delta W_e=f(\Delta t)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 Δt : χρονική διάρκεια των μερικών εκκενώσεων
 ΔW_e : ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την περαίωση των μερικών εκκενώσεων



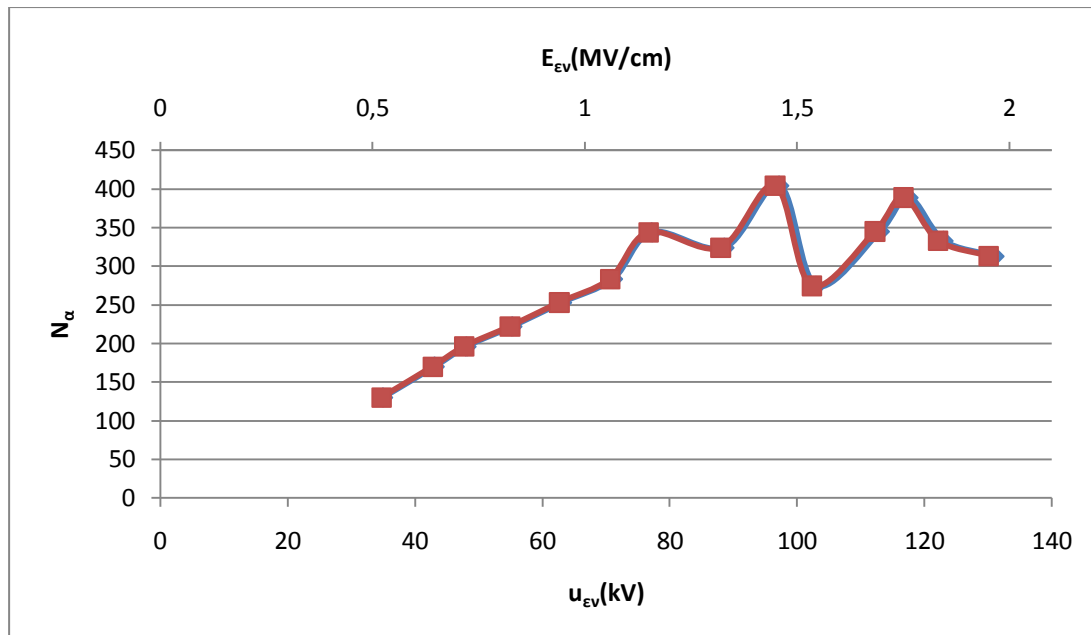
Σχήμα 3.4.28: Χαρακτηριστική $N_e=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.4.29: Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 u_{ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_e : αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων



Σχήμα 3.4.30: Χαρακτηριστική $N_a = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις $-1,2/50\mu s$ υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9mm$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2mm$
 U_k : μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μέγιστη κρουστική τάση
 N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



Σχήμα 3.4.31: Χαρακτηριστική $N_a = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας $R=0,9\text{mm}$) -πλάκα
 Πάχος δοκιμίου: $d=2\text{mm}$
 u_{Ev} : τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : ένταση ηλεκτρικού πεδίου κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 N_a : μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

4. Θεωρητική ανάλυση και συμπεράσματα

4.1 Μαθηματική προσέγγιση των χαρακτηριστικών που υπολογίστηκαν

Παρακάτω δίνονται οι πίνακες με τις μαθηματικές εκφράσεις που προσεγγίζουν καλύτερα τις χαρακτηριστικές που δόθηκαν στην παράγραφο 3.

d=1mm , +1,2/50 μs		
α/α σχ.	χαρακτηριστική	μαθηματική προσέγγιση
3.1.1	t ₂ =f(t ₁)	$y = 16,397x^{-0,738}$
3.1.2	t ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 3,2415e^{0,0023x}$
3.1.3	t ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 2E-12x^5 - 7E-09x^4 + 1E-05x^3 - 0,0077x^2 + 2,7199x - 366,77$
3.1.4	Δt=f(t ₁)	$y = 14,48x^{-0,97}$
3.1.5	Δt=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 9E-12x^5 - 3E-08x^4 + 4E-05x^3 - 0,0275x^2 + 8,9096x - 1128$
3.1.6	Δt=f(U _k ,E _k)	$y = 2E-06x^5 - 0,0005x^4 + 0,0462x^3 - 2,2744x^2 + 54,697x - 508,83$
3.1.7	u ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 1E-11x^5 - 4E-08x^4 + 5E-05x^3 - 0,0347x^2 + 11,202x - 1407,9$
3.1.8	u ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = -1E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0361x^4 + 2,3268x^3 - 82,715x^2 + 1536,4x - 11631$
3.1.9	u ₂ =f(u ₁)	$y = -0,9889x^2 + 12,831x - 0,1944$
3.1.10	u ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 1E-08x^4 - 4E-05x^3 + 0,0343x^2 - 13,977x + 2073,3$
3.1.11	u ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 6E-09x^4 - 2E-05x^3 + 0,0157x^2 - 6,5285x + 987,07$
3.1.12	Δu=f(u ₁)	$y = -0,9889x^2 + 11,831x - 0,1944$
3.1.13	Δu=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 1E-08x^4 - 4E-05x^3 + 0,0346x^2 - 14,191x + 2109,9$
3.1.14	Δu=f(U _k ,E _k)	$y = 6E-09x^4 - 2E-05x^3 + 0,0164x^2 - 6,8958x + 1048,9$
3.1.15	q ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 33,468e^{0,002x}$
3.1.16	q ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = 36,436e^{0,0018x}$
3.1.17	q ₂ =f(q ₁)	$y = 97,369e^{0,015x}$
3.1.18	q ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 30,15e^{0,0049x}$
3.1.19	q ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 37,851e^{0,0044x}$
3.1.20	Δq=f(q ₁)	$y = 58,95e^{0,017x}$
3.1.21	Δq=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 14,967e^{0,0056x}$
3.1.22	Δq=f(U _k ,E _k)	$y = 19,561e^{0,005x}$
3.1.23	l ₂ =f(l ₁)	$y = -0,0005x^2 + 0,4132x + 14,197$
3.1.24	Δl=f(l ₁)	$y = -0,0005x^2 - 0,5868x + 14,197$
3.1.25	ΔW _e =f(Δu)	$y = 0,5x$
3.1.26	ΔW _e =f(t ₁)	$y = -7,9817x^2 + 27,353x - 4,8888$
3.1.27	ΔW _e =f(Δt)	$y = 0,0021x^4 - 0,1349x^3 + 2,7969x^2 - 20,996x + 56,551$
3.1.28	N _e =f(U _k ,E _k)	$y = 1E+11e^{0,005x}$
3.1.29	N _e =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 9E+10e^{0,0056x}$
3.1.30	N _α =f(U _k ,E _k)	$y = 2E-11x^5 - 9E-08x^4 + 0,0001x^3 - 0,1025x^2 + 36,715x - 5088,2$
3.1.31	N _α =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 9E-11x^5 - 3E-07x^4 + 0,0004x^3 - 0,2746x^2 + 89,096x - 11280$

Πίνακας 4.1.1 : Μαθηματική προσέγγιση των χαρακτηριστικών για το συνδυασμό

«βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm)-πλάκα για πάχος δοκιμίου d=1mm

d=1mm , -1,2/50 μs		
α/α σχ.	χαρακτηριστική	μαθηματική προσέγγιση
3.2.1	t ₂ =f(t ₁)	$y = 33,236x^{-0,793}$
3.2.2	t ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 8,2416e^{0,0014x}$
3.2.3	t ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 8,106e^{0,0014x}$
3.2.4	Δt=f(t ₁)	$y = 32,666x^{-0,965}$
3.2.5	Δt=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 1E-05x^2 + 0,9403x + 16,538$
3.2.6	Δt=f(U _k ,E _k)	$y = 13,898x - 3E-12$
3.2.7	u ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = -2E-14x^6 + 1E-10x^5 - 2E-07x^4 + 0,0002x^3 - 0,0989x^2 + 27,395x - 3076,1$
3.2.8	u ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = -2E-07x^6 + 6E-05x^5 - 0,0084x^4 + 0,568x^3 - 21,192x^2 + 412,72x - 3262,5$
3.2.9	u ₂ =f(u ₁)	$y = -0,4743x^2 + 8,65x + 7,9538$
3.2.10	u ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = -2E-11x^5 + 8E-08x^4 - 0,0001x^3 + 0,0892x^2 - 30,4x + 3975,7$
3.2.11	u ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = -2E-11x^5 + 7E-08x^4 - 0,0001x^3 + 0,0864x^2 - 30,829x + 4226,4$
3.2.12	Δu=f(u ₁)	$y = -0,4743x^2 + 7,65x + 7,9538$
3.2.13	Δu=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = -2E-11x^5 + 8E-08x^4 - 0,0001x^3 + 0,0832x^2 - 28,467x + 3727,7$
3.2.14	Δu=f(U _k ,E _k)	$y = -2E-11x^5 + 7E-08x^4 - 0,0001x^3 + 0,0804x^2 - 28,815x + 3955,8$
3.2.15	q ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 67,4e^{0,0014x}$
3.2.16	q ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = 66,533e^{0,0014x}$
3.2.17	q ₂ =f(q ₁)	$y = 43,921e^{0,0166x}$
3.2.18	q ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 45,066e^{0,0045x}$
3.2.19	q ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 43,19e^{0,0043x}$
3.2.20	Δq=f(q ₁)	$y = 19,604e^{0,0194x}$
3.2.21	Δq=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 20,415e^{0,0052x}$
3.2.22	Δq=f(U _k ,E _k)	$y = 19,444e^{0,005x}$
3.2.23	l ₂ =f(t ₁)	$y = 0,451x - 3,3299$
3.2.24	Δl=f(t ₁)	$y = -0,549x - 3,3299$
3.2.25	ΔW _e =f(Δu)	$y = 0,5x$
3.2.26	ΔW _e =f(t ₁)	$y = -6,7879x^2 + 27,082x - 9,6103$
3.2.27	ΔW _e =f(Δt)	$y = -0,0002x^4 + 0,0277x^3 - 1,4469x^2 + 29,38x - 182,29$
3.2.28	N _e =f(U _k ,E _k)	$y = 1E+11e^{0,005x}$
3.2.29	N _e =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 1E+11e^{0,0052x}$
3.2.30	N _α =f(U _k ,E _k)	$y = 2E-09x^4 - 7E-06x^3 + 0,0086x^2 - 3,9288x + 730,53$
3.2.31	N _α =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 3E-09x^4 - 8E-06x^3 + 0,0087x^2 - 3,8135x + 683,55$

Πίνακας 4.1.2 : Μαθηματική προσέγγιση των χαρακτηριστικών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) - πλάκα για πάχος δοκιμίου d=1mm

d=2mm , +1,2/50 μs		
α/α σχ.	χαρακτηριστική	μαθηματική προσέγγιση
3.3.1	t ₂ =f(t ₁)	$y = 28,551x^{-0,81}$
3.3.2	t ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 7E-16x^6 - 5E-12x^5 + 1E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,0173x^2 - 6,9622x + 1124$
3.3.3	t ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 6E-16x^6 - 5E-12x^5 + 1E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,0169x^2 - 7,0259x + 1169$
3.3.4	Δt=f(t ₁)	$y = 28,461x^{-1,057}$
3.3.5	Δt=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 7E-16x^6 - 5E-12x^5 + 1E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,017x^2 - 6,8325x + 1092,6$
3.3.6	Δt=f(U _k ,E _k)	$y = 7E-09x^6 - 3E-06x^5 + 0,0007x^4 - 0,0678x^3 + 3,7005x^2 - 102,61x + 1135$
3.3.7	u ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 5E-16x^6 - 3E-12x^5 + 1E-08x^4 - 1E-05x^3 + 0,0119x^2 - 4,8276x + 777,61$
3.3.8	u ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = 5E-09x^6 - 2E-06x^5 + 0,0005x^4 - 0,0495x^3 + 2,7357x^2 - 76,348x + 849,86$
3.3.9	u ₂ =f(u ₁)	$y = 0,0095x^5 - 0,4757x^4 + 9,0649x^3 - 81,052x^2 + 340,84x - 528,91$
3.3.10	u ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 2E-15x^6 - 1E-11x^5 + 4E-08x^4 - 6E-05x^3 + 0,0467x^2 - 19,332x + 3146,4$
3.3.11	u ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 1E-15x^6 - 1E-11x^5 + 4E-08x^4 - 6E-05x^3 + 0,0489x^2 - 20,809x + 3487,5$
3.3.12	Δu=f(u ₁)	$y = -0,0487x^3 + 1,6355x^2 - 12,883x + 36,456$
3.3.13	Δu=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 1E-15x^6 - 8E-12x^5 + 3E-08x^4 - 4E-05x^3 + 0,0347x^2 - 14,504x + 2368,8$
3.3.14	Δu=f(U _k ,E _k)	$y = 1E-15x^6 - 8E-12x^5 + 3E-08x^4 - 4E-05x^3 + 0,0365x^2 - 15,684x + 2637,7$
3.3.15	q ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 31,007e^{0,0022x}$
3.3.16	q ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = 30,726e^{0,0022x}$
3.3.17	q ₂ =f(q ₁)	$y = 484,59e^{0,0013x}$
3.3.18	q ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 122,33e^{0,0019x}$
3.3.19	q ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 121,09e^{0,0019x}$
3.3.20	Δq=f(q ₁)	$y = 349,58e^{0,0011x}$
3.3.21	Δq=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 89,587e^{0,0018x}$
3.3.22	Δq=f(U _k ,E _k)	$y = 88,549e^{0,0018x}$
3.3.23	l ₂ =f(t ₁)	$y = 29,86e^{0,0011x}$
3.3.24	Δl=f(l ₁)	$y = -0,9308x + 30,83$
3.3.25	ΔW _e =f(Δu)	$y = 0,5x$
3.3.26	ΔW _e =f(t ₁)	$y = -7,769x^2 + 33,819x - 20,329$
3.3.27	ΔW _e =f(Δt)	$y = -3E-05x^6 + 0,0044x^5 - 0,2256x^4 + 5,9649x^3 - 84,787x^2 + 613,73x - 1754,4$
3.3.28	N _e =f(U _k ,E _k)	$y = 6E+11e^{0,0018x}$
3.3.29	N _e =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 6E+11e^{0,0018x}$
3.3.30	N _α =f(U _k ,E _k)	$y = 6296,4x^6 - 46161x^5 + 135873x^4 - 205010x^3 + 166735x^2 - 68875x + 11350$
3.3.31	N _α =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 7E-15x^6 - 5E-11x^5 + 1E-07x^4 - 0,0002x^3 + 0,1702x^2 - 68,325x + 10926$

Πίνακας 4.1.3 : Μαθηματική προσέγγιση των χαρακτηριστικών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις +1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) - πλάκα για πάχος δοκιμίου d=2mm

d=2mm , -1,2/50 μs		
α/α σχ.	χαρακτηριστική	μαθηματική προσέγγιση
3.4.1	t ₂ =f(t ₁)	$y = 50,819x^{-1,148}$
3.4.2	t ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = -6E-09x^3 + 4E-06x^2 + 0,0354x - 3,3773$
3.4.3	t ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = -6E-09x^3 + 4E-06x^2 + 0,0337x - 3,4326$
3.4.4	Δt=f(t ₁)	$y = 51,69x^{-1,319}$
3.4.5	Δt=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = -3E-16x^6 + 2E-12x^5 - 7E-09x^4 + 1E-05x^3 - 0,0079x^2 + 3,2522x - 525,33$
3.4.6	Δt=f(U _k ,E _k)	$y = -3E-09x^6 + 2E-06x^5 - 0,0003x^4 + 0,0319x^3 - 1,7589x^2 + 49,887x - 555,82$
3.4.7	u ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 2E-16x^6 - 2E-12x^5 + 4E-09x^4 - 5E-06x^3 + 0,0029x^2 - 0,6071x + 10,428$
3.4.8	u ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = 2E-09x^6 - 1E-06x^5 + 0,0002x^4 - 0,0163x^3 + 0,6517x^2 - 9,651x + 16,209$
3.4.9	u ₂ =f(u ₁)	$y = -0,0009x^4 + 0,0417x^3 - 0,6037x^2 + 5,0034x - 1,5996$
3.4.10	u ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 9E-16x^6 - 6E-12x^5 + 2E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,0163x^2 - 5,3602x + 648,12$
3.4.11	u ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 7E-16x^6 - 5E-12x^5 + 2E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,0155x^2 - 5,2746x + 657,15$
3.4.12	Δu=f(u ₁)	$y = -0,0017x^3 + 0,0557x^2 + 0,7026x + 2,6376$
3.4.13	Δu=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 6E-16x^6 - 4E-12x^5 + 1E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,0134x^2 - 4,7531x + 637,69$
3.4.14	Δu=f(U _k ,E _k)	$y = 5E-16x^6 - 4E-12x^5 + 1E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,0126x^2 - 4,6268x + 640,95$
3.4.15	q ₁ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 60,028e^{0,0018x}$
3.4.16	q ₁ =f(U _k ,E _k)	$y = 61,384e^{0,0018x}$
3.4.17	q ₂ =f(q ₁)	$y = 657,46e^{0,001x}$
3.4.18	q ₂ =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 150,02e^{0,0018x}$
3.4.19	q ₂ =f(U _k ,E _k)	$y = 153,5e^{0,0018x}$
3.4.20	Δq=f(q ₁)	$y = 409,78e^{0,0009x}$
3.4.21	Δq=f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 80,952e^{0,0019x}$
3.4.22	Δq=f(U _k ,E _k)	$y = 82,931e^{0,0019x}$
3.4.23	l ₂ =f(t ₁)	$y = -2E-11x^4 + 1E-07x^3 - 0,0003x^2 + 0,2875x - 5,3337$
3.4.24	Δl=f(l ₁)	$y = -0,9443x + 29,436$
3.4.25	ΔW _e =f(Δu)	$y = 0,5x$
3.4.26	ΔW _e =f(t ₁)	$y = -46,833x^3 + 237,48x^2 - 376,32x + 191,24$
3.4.27	ΔW _e =f(Δt)	$y = -6E-05x^5 + 0,0075x^4 - 0,371x^3 + 8,6636x^2 - 93,783x + 382,33$
3.4.28	N _e =f(U _k ,E _k)	$y = 5E+11e^{0,0019x}$
3.4.29	N _e =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = 5E+11e^{0,0019x}$
3.4.30	N _α =f(U _k ,E _k)	$y = -3E-15x^6 + 2E-11x^5 - 6E-08x^4 + 1E-04x^3 - 0,0792x^2 + 33,487x - 5558,2$
3.4.31	N _α =f(u _{εν} ,E _{εν})	$y = -3E-15x^6 + 2E-11x^5 - 7E-08x^4 + 1E-04x^3 - 0,079x^2 + 32,522x - 5253,3$

Πίνακας 4.1.4 : Μαθηματική προσέγγιση των χαρακτηριστικών για το συνδυασμό «βακελίτη-μονωτικό λάδι» υπό κρουστικές τάσεις -1,2/50μs υπό διάταξη ηλεκτροδίων ακίδα(ακτίνα καμπυλότητας R=0,9mm) - πλάκα για πάχος δοκιμίου d=2mm

4.2 Φυσική ερμηνεία - Μία Θεωρητική προσέγγιση

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος της εργασίας (και ειδικότερα στην παράγραφο 1.1.1 «Η μακροσκοπική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάτρηση των στερεών μονωτικών»), προ και κατά τη διάτρηση των στερεών μονωτικών επιδρούν τέσσερις βασικοί παράγοντες μείωσης της σταθερότητας των μορίων τους: οι απώλειες Joule, οι δυνάμεις Coulomb, οι μερικές εκκενώσεις, και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Στην υπό εξέταση περίπτωση λόγω της μικρής χρονικής διάρκειας της κρουστικής τάσης δεν υφίσταται πρακτικά η επίδραση των απωλειών Joule και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Επομένως οι παράγοντες γήρανσης και διάσπασης που συνδυάζονται για την καταπόνηση του υλικού είναι οι μερικές εκκενώσεις και οι δυνάμεις Coulomb.

Για την αύξηση του φορτίου (και συνεπώς και την αύξηση όλων των αναλόγων προς αυτό μεγεθών π.χ. N_e) υπάρχει στη βιβλιογραφία φυσική ερμηνεία γνωστή με την επωνυμία «Ιονισμός με κρούσεις» (βλ. παράγραφο 1.1.3.2) σύμφωνα με την οποία το φορτίο (και τα ανάλογα προς αυτό μεγέθη) αυξάνει εκθετικά με την τάση ή την εφαρμοζόμενη πεδιακή ένταση. Από τις χαρακτηριστικές (3.1.15, 3.1.16, 3.1.18, 3.1.19, 3.1.21, 3.1.22, 3.1.28, 3.1.29, 3.2.15 κλπ) διαπιστώνεται αύξηση του φορτίου συναρτήσει της τάσης και της πεδιακής έντασης η οποία όμως δεν έχει ακριβώς εκθετική μορφή αλλά σε κάποια τμήματα των γραφικών παραστάσεων παρατηρείται μείωση του ρυθμού αύξησης του φορτίου και των αναλόγων μεγεθών. Αυτό οφείλεται στην κατανάλωση της ενέργειας του πεδίου από τις δυνάμεις Coulomb, οι οποίες καταπονούν μηχανικά το δοκίμιο, έναντι των μερικών εκκενώσεων που αυξάνουν εκ νέου το φορτίο.

Για τις υπόλοιπες χαρακτηριστικές (όπου τα μεγέθη δεν είναι ανάλογα του φορτίου) δεν υπάρχει διατυπωμένη στη βιβλιογραφία κάποια σχετική θεωρία. Μετά ίσως από ένα μεγάλο αριθμό μετρήσεων με πολλά υλικά μπορεί να προκύψουν αντίστοιχα συμπεράσματα και να αναπτυχθούν θεωρίες ικανές να δικαιολογήσουν τη μορφή αυτών των χαρακτηριστικών.

5. Συμβολή της εργασίας στην έρευνα και τις πρακτικές εφαρμογές

Η συμβολή της παρούσας εργασίας έγκειται στο πεδίο των στατιστικών μετρήσεων των μερικών εκκενώσεων (παράγραφος 1.2). Μελετήθηκε η γήρανση και διάσπαση ενός συνδυασμού στερεού-υγρού μονωτικού υλικού υπό κεραυνική κρουστική τάση. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση ισοδύναμων υλικών ή και μηχανημάτων. Μέσω της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε μπορεί κανείς να παράξει τα παλμογραφήματα εκείνα που θα επιτρέψουν να συγκρίνει την ηλεκτρική συμπεριφορά δύο μονωτικών υλικών ή μηχανημάτων. Προτιμότερο θεωρείται να συμβαίνουν οι μερικές εκκενώσεις πιο μετά χρονικά και σε μεγαλύτερη τάση. Συνδυάζοντας τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από το πείραμα με οικονομικά στοιχεία μπορεί κανείς να οδηγηθεί σε οικονομοτεχνική λύση εκτιμώντας τη διηλεκτρική αντοχή συναρτήσει του κόστους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Π.Δ. Μπούρκας, Κ.Γ. Καραγιαννόπουλος : “Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2003
2. Π.Δ. Μπούρκας : “Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1998
3. Ι.Α. Σταθόπουλος : “Υψηλές τάσεις Ι” , Εκδόσεις Συμεών
4. Ε.Μ.Π. Τομέας Φυσικής, Γενικό Τμήμα : “Εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999
5. S.O. Kasap: “Αρχές Ηλεκτρονικών Υλικών και Διατάξεων”, Δεύτερη έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου

