



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΡΙΚΩΝ
ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ
«ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ ΧΑΡΤΙ – ΛΑΔΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ»
ΣΕ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ $\pm 10/200 \mu s$**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΖΑΦΕΙΡΟΥΛΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέπων : **Καραγιαννόπουλος Γ. Κωσταντίνος**

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2010



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

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΡΙΚΩΝ
ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ
«ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ ΧΑΡΤΙ – ΛΑΔΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ»
ΣΕ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
ΥΠΟ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ $\pm 10/200 \mu s$**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΖΑΦΕΙΡΟΥΛΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : **ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 04/11/2010.

.....
Κ. Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ν. Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π.Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2010

.....

Κωνσταντίνος Ζαφειρούλης

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

Copyright © Κωνσταντίνος Ζαφειρούλης, 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 εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ερευνητικών δραστηριοτήτων, στην περιοχή των φαινομένων γήρανσης και διάσπασης των ηλεκτρομονωτικών υλικών, που γίνονται στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων, υπό την επίβλεψη του καθηγητή Π.Δ. Μπούρκα.

Από τη θέση αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Κ.Γ. Καραγιαννόπουλο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και τον καθηγητή μου Π.Δ. Μπούρκα για την πολύτιμη βοήθειά του και την άριστη συνεργασία μας.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	2
1.1. Η μακροσκοπική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάτρηση των στερεών μονωτικών υλικών.....	3
1.1.1. Απώλειες Joule – Θερμική διάτρηση.....	3
1.1.2. Δυνάμεις Coulomb – Ηλεκτρική διάτρηση.....	4
1.1.3. Διάσπαση λόγω μερικών εκκενώσεων – Ηλεκτροχημική διάτρηση (γήρανση).....	6
1.1.4. Θερμοχημική διάτρηση.....	8
1.1.5. Συνδυασμός των βασικών παραγόντων γήρανσης και διάτρησης.....	9
1.1.6. Στατιστικές μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων.....	10
1.1.7. Το φαινόμενο της πολικότητας σε πολυμερή στερεά μονωτικά κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων.....	11
1.2. Η κβαντομηχανική θεωρία της γήρανσης και της διάσπασης των στερεών μονωτικών υλικών.....	12
1.3. Ένας συνδυασμός της μακροσκοπικής και της κβαντομηχανικής θεωρίας για τα φαινόμενα προ και κατά τη διάσπαση στερεών μονωτικών των πρακτικών εφαρμογών.....	15
2. Σκοπός της εργασίας.....	17
2.1. Διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν.....	17
2.2. Καθορισμός μεγεθών.....	18
3. Οι υπολογισμοί που έγιναν.....	19
3.1. Κρουσική τάση +10/200 μs για διάκενο d=1mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα».....	19
3.2. Κρουσική τάση -10/200 μs για διάκενο d=1mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα».....	36
3.3. Κρουσική τάση +10/200 μs για διάκενο d=2mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα».....	53
3.4. Κρουσική τάση -10/200 μs για διάκενο d=2mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα».....	70
4. Επεξεργασία των μετρήσεων και συμπεράσματα.....	87
4.1. Κρουσική τάση +10/200 μs για διάκενο d=1mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα».....	87
4.1.1. Ανάλυση χρόνου περαίωσης και διάρκειας των μερικών εκκενώσεων.....	87
4.1.2. Ανάλυση της στιγμιαίας τάσης στον πυκνωτή μέτρησης (u_m) κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων.....	89
4.1.3. Ανάλυση της στιγμιαίας τιμής του φορτίου του πυκνωτή μέτρησης κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων.....	93
4.1.4. Ανάλυση της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος στον πυκνωτή μέτρησης κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων.....	97
4.1.5. Ανάλυση της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων (ΔWe) κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων.....	98
4.1.6. Ανάλυση του αριθμού των ελεύθερων ηλεκτρονίων (N_e) και του μέγιστου αριθμού αλμάτων δυναμικού.....	100
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα στερεά ηλεκτρομονωτικά υλικά εξαιτίας της σταθερότητας της μοριακής τους δομής δεν έχουν τη δυνατότητα να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση ύστερα από μία διάσπαση. Η ικανότητα δημιουργίας ιόντων είναι κατά πολύ μικρότερη και η διάτρηση έχει σαν αποτέλεσμα κάποια μόνιμη βλάβη σ' 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, 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.

Τα στερεά μονωτικά χρησιμεύουν στις μονώσεις ηλεκτρικών μηχανών, σε καλώδια, για την κατασκευή μονωτήρων κάθε είδους (όπως μονωτήρες εναέριων γραμμών, διακοπών κ.λ.π.). Επίσης, χρησιμοποιούνται ως διηλεκτρικά υλικά στην κατασκευή των πυκνωτών. Τέλος, πολλές φορές συνδυάζονται με υγρά μονωτικά, όπως ο συνδυασμός χαρτί-λάδι. Ο συνδυασμός στερεού με υγρό μονωτικό αποσκοπεί κυρίως στον εμποτισμό του στερεού μονωτικού με το υγρό, ώστε να αποφεύγονται οι θύλακες αέρα

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) Την κβαντομηχανική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών

Σύμφωνα με τη “ μακροσκοπική θεωρία ”, τα αποτελέσματα των ερευνών βασίζονται 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 επιβράδυνσή τους στα ηλεκτρόδια. Πρόκειται, δηλαδή, για μια συσχέτιση των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση, με το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται.

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

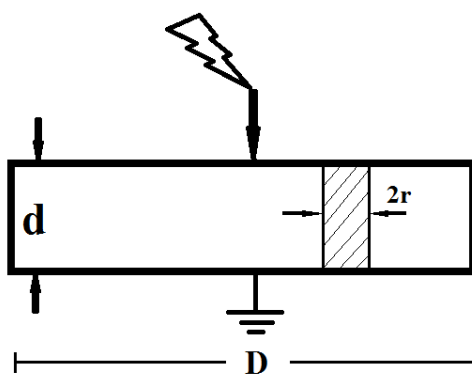
1.1.1. Απώλειες Joule – Θερμική διάτρηση

Η μορφή της διάτρησης αυτής συναντάται κυρίως σε χαμηλές τάσεις, όταν το στερεό μονωτικό καταπονείται θερμικά μόνο από τις απώλειες Joule (π.χ. κακή απαγωγή 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, στα σημεία που οι απώλειες Joule είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Ο σχετός διάτρησης δημιουργείται, όταν η ειδική αγωγιμότητα σε κάποια θέση του υλικού έχει αποκτήσει την απαιτούμενη, για τη διάτρηση, οριακή τιμή σ_1 . Οπότε, έχουμε τη σχέση:

$$\sigma_1 = \sigma_0 e^{\beta \theta}$$

Σχέση 1.1.1-1

σ_0 Η αρχική ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα
 β Ένας συντελεστής του υλικού (π.χ. για το presspan $\beta \approx 0,02$)



Σχήμα 1.1.1-1 : Απλοποιημένη παράσταση του σχετού διάτρησης λόγω των απωλειών Joule του στερεού μονωτικού.

D : διάμετρος δοκιμίου
d : πάχος του μονωτικού
2r : διάμετρος του σχετού διάτρησης

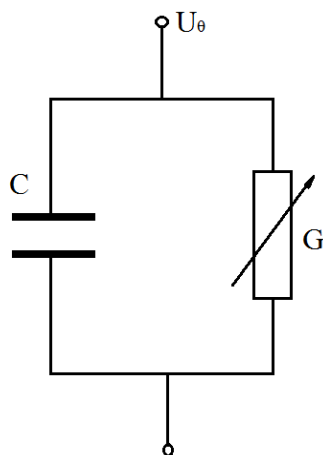
Την αύξηση των απωλειών Joule του στερεού μονωτικού κατά την εφαρμογή της εναλλασσόμενης τάσης με ενεργό τιμή U_θ ,

$$U_\theta = d \sqrt{\frac{2\kappa}{e\beta\sigma_0 r}}$$

Σχέση 1.1.1-2

κ Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

μπορεί να παραστήσει κανείς με ένα ισοδύναμο κύκλωμα, κατά το σχήμα 1.1.1-2, όπου η αύξηση των απωλειών Joule συμβολίζεται με μια μεταβλητή αγωγιμότητα G. Η διάτρηση στην τιμή U_θ συμβαίνει, όταν η αγωγιμότητα αποκτήσει (λόγω αύξησης της ειδικής αγωγιμότητας από σ_0 στην τιμή σ_1 : σχέση 1.1.1-1) μια οριστική τιμή G_{\max} .



Σχήμα 1.1.1-2 : Ισοδύναμο κύκλωμα του στερεού μονωτικού λόγω αύξησης των απωλειών Joule.

$$G = G_0 \dots G_{\max}$$

G_0 : αγωγιμότητα του ιδανικού μονωτή

G_{\max} : αγωγιμότητα για τη διάτρηση

C : χωρητικότητα του ιδανικού μονωτή

1.1.2. Δυνάμεις Coulomb – 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 μια τιμή της τάσης και μετά, η διάτρηση του υλικού αποδίδεται κυρίως στις δυνάμεις Coulomb. Θεωρείται, ότι η διάτρηση οφείλεται σε:

- αυτοσυντηρούμενο ιονισμό με κρούσεις
- μηχανική τάνυση του υλικού (διαχωρισμό του σε αρνητικούς και θετικούς φορείς, υπό την επίδραση των δυνάμεων του ηλεκτρικού πεδίου)
- 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 στο ηλεκτρικό πεδίο) και εκείνη υπό μορφή οχετού κατά τη διεύθυνση του πεδίου (ηλεκτρομηχανική).

Η δενδροειδής διάτρηση είναι ένα θερμικό φαινόμενο μικρότερης χρονικής διάρκειας από εκείνο της θερμικής διάτρησης, γιατί, λόγω της μεγαλύτερης τιμής της τάσης και επομένως της πεδιακής έντασης, δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια με κρούσεις. Η εικόνα του υλικού μετά τη διάτρηση σχετίζεται με θερμική καταπόνηση στα ίχνη του δενδρίτη. Η διάτρηση συμβαίνει όταν μια διακλάδωση του δενδρίτη ολοκληρώνει την πλήρη αγωγή σύνδεση των ηλεκτροδίων.

Η διάτρηση υπό μορφή οχετού (ή ηλεκτρομηχανική διάτρηση) οφείλεται στην πολύ μεγαλύτερη τιμή της πεδιακής έντασης, από ότι κατά την δενδροειδή διάτρηση. Στα πολυμερή υλικά, τα μόρια διαχωρίζονται σε αρνητικούς και θετικούς φορείς. Η διάτρηση συμβαίνει, κυρίως, από τις δυνάμεις Coulomb, που εξασκούνται μεταξύ ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων και ηλεκτροδίων. Η χρονική διάρκεια του φαινομένου είναι μερικά μs . Η εικόνα, που παρουσιάζει το υλικό, είναι το αποτέλεσμα μιας ακαριαίας εξάσκησης

δυνάμεων, στην περιοχή όπου η πεδιακή ένταση είναι ιδιαίτερα μεγάλη (μηχανική τάση, υπό την επίδραση των δυνάμεων του πεδίου).

Κατά την καταπόνηση οργανικών στερεών μονωτικών με κρουστικές τάσεις έχει διαπιστωθεί, ότι πάνω από μία μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης $U_{\text{κρίσιμη}}$, που εφαρμόζεται στο δοκίμιο, συμβαίνει η διάτρηση με μία κρούση υπό μορφή οχέτου, αν και η τιμή της πεδιακής έντασης είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη κατά την ηλεκτρομηχανική διάτρηση υπό εναλλασσόμενη τάση καταπόνησης. Η μορφή της διάτρησης αυτής χαρακτηρίζεται επίσης ως ηλεκτρομηχανική. Το φαινόμενο έχει αποδοθεί στην απότομη μεταβολή της πεδιακής έντασης, λόγω της οποίας δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα την ηλεκτρομηχανική διάτρηση από τις δυνάμεις Coulomb μεταξύ του αρνητικού ηλεκτροδίου και των θετικών ηλεκτρικών φορέων, που συγκεντρώνονται στο πλέγμα των μορίων.

Για τη διάτρηση στη μέγιστη τιμή $\hat{U}_{\text{κρίσιμη}}$ μιας κρουστικής τάσης ισχύει αντίστοιχα:

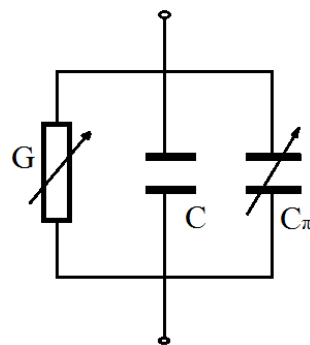
$$\hat{U}_{\text{κρίσιμη}} = \sqrt{d} \sqrt{\frac{C_0 \theta}{\sigma_2 A T_s}}$$

Σχέση 1.1.2-1

- σ_2 η ειδική αγωγιμότητα σε κάποια ανομοιογένεια (λόγω της οποίας η πεδιακή ένταση έγινε ιδιαίτερα μεγάλη στην περιοχή εκείνη του υλικού)
- T_s η διάρκεια του μετώπου της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης.

Η παραπάνω σχέση δίνει μια ικανοποιητική ερμηνεία σε πειράματα που έχουν γίνει. Πράγματι, όσο αυξάνει ο χρόνος T_s μιας κρουστικής τάσης, τόσο μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή. Κατά την καταπόνηση με εναλλασσόμενη τάση ισχύει περίπου η αναλογία $U_n = f(1/\sqrt{T_s})$.

Μια ερμηνεία της ηλεκτρικής διάτρησης, μέσω ενός ισοδύναμου κυκλώματος, μπορεί να δοθεί στο σχήμα 1.1.2-1. Όταν από την αύξηση των ηλεκτρικών φορέων, λόγω κάποιας ανομοιογένειας (δεν υπάρχουν πρακτικά ιδανικοί μονωτές), η ειδική αγωγιμότητα έχει αποκτήσει μια κρίσιμη για το υλικό τιμή σ_2 , η πόλωση του υλικού είναι αρκετή για να συμβεί η διάτρηση από τις δυνάμεις Coulomb μεταξύ ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων και ηλεκτροδίων. Η πόλωση αυτή του υλικού στην περιοχή, όπου θα συμβεί η διάτρηση, μπορεί να παρασταθεί στο παραπάνω ισοδύναμο κύκλωμα, ως αύξηση της χωρητικότητας από την παράλληλη σύνδεση ενός μεταβλητού πυκνωτή C_π (που συμβολίζει την πόλωση) προς την ιδανική χωρητικότητα C .



Σχήμα 1.1.2-1 : Ισοδύναμο κύκλωμα του στερεού μονωτικού κατά την ηλεκτρική διάτρηση.

C : ιδανική χωρητικότητα

$C_\pi=0$

C_{max} : χωρητικότητα, που συμβολίζει την πόλωση του στερεού μονωτικού στη θέση, όπου συμβεί η διάτρηση.

$G=0$

G_{max} : αγωγιμότητα, λόγω αύξησης των ηλεκτρικών φορέων, στη θέση όπου θα συμβεί η διάτρηση.

Όταν η αγωγιμότητα G και ο πυκνωτής C_{π} έχουν αποκτήσει, μόλις προ της διάτρησης, τις τιμές G_{\max} και C_{\max} (που αντιστοιχούν στην κρίσιμη ειδική αγωγιμότητα σ_2 , λόγω κάποιας ανομοιογένειας), τότε συμβαίνει η διάτρηση.

1.1.3. Διάσπαση λόγω μερικών εκκενώσεων – Ηλεκτροχημική διάτρηση (γήρανση)

Σε μια δεδομένη διάταξη δύο ηλεκτροδίων τα χωρικά φορτία συγκεντρώνονται προ του ηλεκτροδίου με την αντίθετη προς αυτά πολικότητα και σχηματίζουν έτσι ένα νέφος χωρικών φορτίων. Το πεδίο είναι ηλεκτροστατικό όταν τα χωρικά φορτία του νέφους είναι αμετακίνητα. Υποθέτουμε ότι μέχρι μια τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης (ή της εφαρμοζόμενης πεδιακής έντασης) συμβαίνει μια κατάσταση ισορροπίας μεταξύ των εξασκούμενων δυνάμεων Coulomb, ώστε το πεδίο να εξακολουθεί να είναι χωρικό. Όταν μετά την παραπάνω τιμή του πεδίου καταστρέφεται η κατάσταση ισορροπίας (χωρίς να συμβαίνει η διάσπαση) τότε εκδηλώνονται περιορισμένης έκτασης εκκενώσεις, που ονομάζονται μερικές εκκενώσεις. Οι μερικές εκκενώσεις στον όγκο ενός στερεού μονωτικού χαρακτηρίζονται ως εσωτερικές μερικές εκκενώσεις και εκείνες στην επιφάνεια του ως εξωτερικές μερικές εκκενώσεις.

1) Γενικά περί 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 επιφάνειά του (εξωτερικές εκκενώσεις). Οι μερικές εκκενώσεις θεωρείται ότι είναι ο κυρίαρχος παράγοντας γήρανσης και διάσπασης των μονώσεων στην πράξη. Μεταξύ των εξωτερικών και εσωτερικών μερικών εκκενώσεων, προεξέχοντα ρόλο έχουν οι τελευταίες, γιατί σχετίζονται με χημικές μεταβολές στον όγκο του υλικού (οι εξωτερικές μερικές εκκενώσεις από ξένες επικαθίσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν με προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης).

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 αγωγίμες. Πρόκειται για ένα *ηλεκτροχημικό φαινόμενο*, που σε κάποιο απροσδιόριστο χρονικό διάστημα οδηγεί στη διάσπαση του στερεού μονωτικού. Στην περιοχή, δηλαδή, όπου συμβαίνουν οι μερικές εκκενώσεις, το υλικό αλλάζει, λόγω των χημικών διεργασιών, τις φυσικές του ιδιότητες σε βάρος της διηλεκτρικής αντοχής του, ώστε τελικά να πρόκειται για ένα “άλλο” μονωτικό.

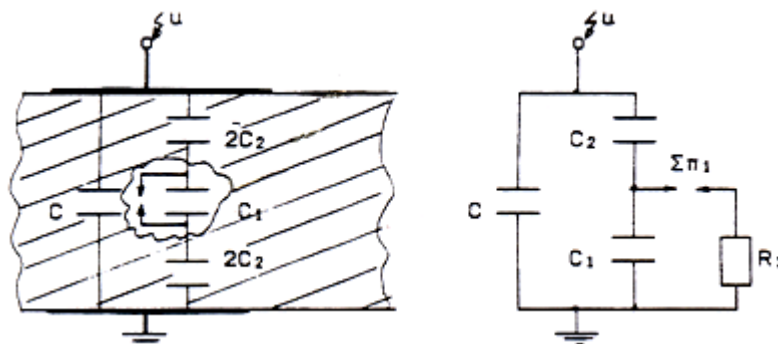
Συγκριτικά με τις άλλες μορφές διάσπασης, η ηλεκτροχημική διάσπαση προκαλεί *βαθμιαία μείωση της ηλεκτρικής αντοχής*, ανάλογα με το ρυθμό αύξησης της χημικής μεταβολής και είναι συνήθως μακροπρόθεσμη. Γι' αυτό ονομάζεται και *γήρανση* του μονωτικού υλικού. Από πειράματα, που έχουν γίνει με κρουστικές τάσεις της μορφής $1,2/50\mu\text{s}$ και $10/200\mu\text{s}$, σε τιμές \dot{U}_k πλησίον της περιοχής διάτρησης, έχει διαπιστωθεί ότι εκτός από τη θερμική καταπόνηση, δημιουργούνται μικρά θραύσματα στη θέση προσεχούς διάσπασης.

2) Η τεχνητή γήρανση

Κατά την καταπόνηση ενός στερεού μονωτικού υλικού με κάποια μορφή τάσης (εναλλασσόμενη, συνεχή ή κρουστική), 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 δε μπορεί να είναι διαφορετικοί από τους πραγματικούς.

3) Τα ισοδύναμα κυκλώματα των μερικών εκκενώσεων

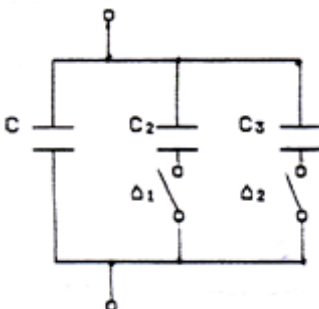


Σχήμα 1.1.3-1 : Σχηματική παράσταση και ισοδύναμο κύκλωμα ενός στερεού μονωτικού με φυσαλίδα αερίου στον όγκο του (κατά Gemant και Philipoff).
α : σχηματική παράσταση
β : ισοδύναμο κύκλωμα
C : ιδανική χωρητικότητα της διάταξης
C₁ : χωρητικότητα της φυσαλίδας
C₂ : χωρητικότητα του υπόλοιπου υγιούς τμήματος του στερεού μονωτικού
R₁ : αντίσταση του τόξου του σπινθηριστή Σπ₁

Η ανάγκη για τη φυσική εξήγηση και τη μαθηματική ανάλυση του φαινομένου των μερικών εκκενώσεων μέσα στον όγκο του στερεού μονωτικού, οδήγησε τους Gemant και Philipoff στο ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 1.1.3-1, γιατί διατυπώθηκε η άποψη ότι οι εσωτερικές μερικές εκκενώσεις οφείλονται σε φυσαλίδες αερίου.

Η ύπαρξη των εσωτερικών εκκενώσεων παριστάνεται στο ισοδύναμο κύκλωμα με την αύξηση της χωρητικότητας, η οποία επιτυγχάνεται κατά τη διάσπαση της φυσαλίδας (C₁). Με τον τρόπο αυτό, δηλαδή, γίνεται παράλληλη σύνδεση του υπόλοιπου “υγιούς τμήματος” του μονωτικού (C₂) προς την ιδανική χωρητικότητα C. Ο σπινθηριστής Σπ₁ στο ισοδύναμο κύκλωμα διασπάται όταν διασπάται η αντίστοιχη θέση διαταραχής. Έτσι, μέσω της αντίστασης του τόξου που σχηματίζεται (R₁) γίνεται η εκφόρτιση του πυκνωτή διαταραχής (C₁).

Η εκδήλωση των μερικών εκκενώσεων κατά το ισοδύναμο κύκλωμα Gemant και Philipoff σημαίνει αύξηση της τάσης στους ακροδέκτες της διάταξης, στο ρυθμό που διασπώνται χρονικά οι διάφορες θέσεις διαταραχής. Μπορούμε, δηλαδή, να υποθέσουμε, ότι οι θέσεις ανομοιογένειας επενεργούν ως ένα είδος διακόπτη. Με βάση την υπόθεση αυτή, συναντά κανείς συχνά στη βιβλιογραφία το ισοδύναμο κύκλωμα των μερικών εκκενώσεων κατά το σχήμα 1.1.3-2 (όπου έχουν ληφθεί υπόψη και οι επιφανειακές μερικές εκκενώσεις).



Σχήμα 1.1.3-2 : Ισοδύναμο κύκλωμα των μερικών εκκενώσεων (παραλλαγή του ισοδύναμου κυκλώματος Gemant και Philipoff)
 C : ιδανική χωρητικότητα της διάταξης
 C₂: χωρητικότητα του υγιούς στον όγκο του μονωτικού
 C₃: χωρητικότητα του υγιούς στην επιφάνεια του μονωτικού
 Δ₁, Δ₂ : διακόπτες, που όταν κλείνουν συμβολίζουν τη διάσπαση αντίστοιχα των εσωτερικών και των εξωτερικών μερικών εκκενώσεων.

1.1.4. Θερμοχημική διάτρηση

Η μείωση της διηλεκτρικής αντοχής είναι δεδομένη κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μέσου, γιατί η παραγωγή ελευθέρων ηλεκτρικών φορέων γίνεται μεγαλύτερη. Στα πολυμερή μονωτικά υλικά μπορούμε να υποθέσουμε ότι εξασθενούν οι δεσμοί των μορίων και επομένως η ενέργεια εξόδου των ελευθέρων 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 μια τιμή της τάσης, η θερμοχημική διάτρηση δεν αντιμετωπίζεται με αύξηση του πάχους της μόνωσης.

Η τάση αυτή ονομάζεται *θερμική τάση ανατροπής* και ισούται με:

$$U_a = \sqrt{a \frac{\kappa \cdot \theta}{\sigma_0}}$$

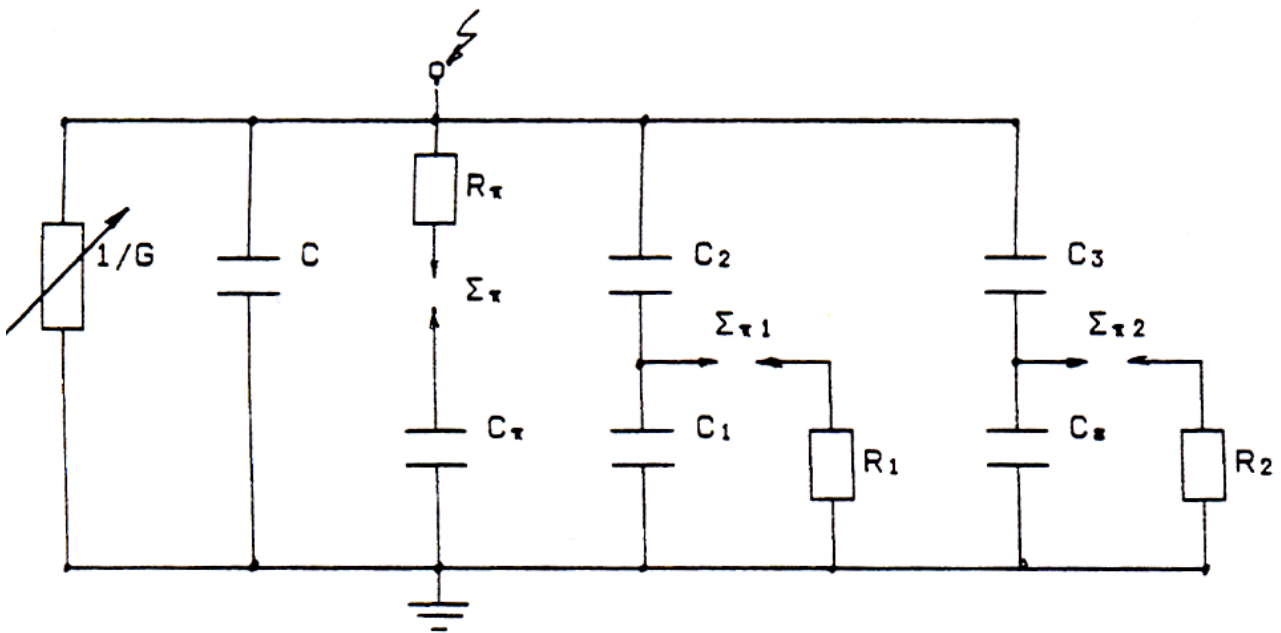
Σχέση 1.1.4-1

α : σταθερά του υλικού που εξαρτάται από τη μορφή της τάσης.
 α=2,83 για καταπόνηση με συνεχή τάση
 α=1,88 για καταπόνηση με εναλλασσόμενη τάση

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 τάξης του 1MV.

1.1.5. Συνδυασμός των βασικών παραγόντων γήρανσης και διάτρησης

Από πρόσφατες πειραματικές έρευνες έχει προταθεί ένα ισοδύναμο κύκλωμα, που αποδίδει ικανοποιητικά την ηλεκτρομηχανική διάτρηση και τις μερικές εκκενώσεις (σχήμα 1.1.5-1). Όπως φαίνεται, πρόκειται ουσιαστικά για μια παράλληλη σύνδεση ενός πυκνωτή C_{π} , προς το ισοδύναμο κύκλωμα των Gemant και Philipoff. Ο πυκνωτής αυτός εκφράζει την πόλωση του υλικού, λόγω της οποίας συμβαίνει η μηχανική τάνυσή του από τις δυνάμεις του πεδίου. Η διαδρομή εκκένωσης εκφράζεται στην περίπτωση αυτή με τον σπινθηριστή Σ_{π} και την αντίσταση του τόξου R_{π} (υποτίθεται ότι ο Σ_{π} διασπάται ταυτόχρονα με τον πυκνωτή C_{π}). Για να αποδίδει το ισοδύναμο αυτό κύκλωμα το συνδυασμό όλων των παραγόντων γήρανσης και διάσπασης (κατά τη μακροσκοπική θεωρία), φαίνεται ότι θα πρέπει να γίνει η παράλληλη σύνδεση μιας μεταβλητής αγωγιμότητας, που θα εκφράζει τις θερμικές απώλειες (απώλειες Joule και ενίσχυσή τους από τις μερικές εκκενώσεις) και την καταπόνηση του υλικού από τη θερμότητα του περιβάλλοντος.

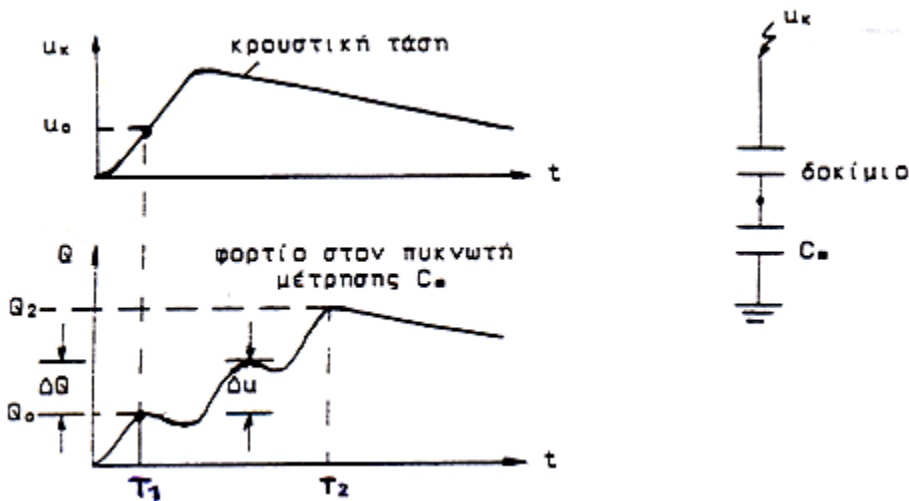


Σχήμα 1.1.5-1 : Ένα ισοδύναμο κυκλώματος συνδυασμού όλων των παραγόντων γήρανσης και διάτρησης

- C : Ιδανική χωρητικότητα της διάταξης
- C_1 : Χωρητικότητα, που παριστάνει τις εσωτερικές θέσεις διαταραχών (κυρίως φυσαλίδες αερίων)
- C_2 : Χωρητικότητα, που παριστάνει το υπόλοιπο υγιές τμήμα του στερεού μονωτικού
- C_e : Χωρητικότητα, που παριστάνει τις εξωτερικές θέσεις διαταραχών
- C_3 : Χωρητικότητα, που παριστάνει το υπόλοιπο υγιές τμήμα του επιφανειακού φιλμ
- C_{π} : Χωρητικότητα, που παριστάνει την πόλωση του υλικού για τη διάτρηση από τις δυνάμεις του πεδίου
- R_1 : Αντίσταση του τόξου του σπινθηριστή $\Sigma_{\pi 1}$
- R_2 : Αντίσταση του τόξου του σπινθηριστή $\Sigma_{\pi 2}$
- R_{π} : Διαδρομή εκκένωσης κατά τη διάσπαση του C_{π}
- Σ_{π} : Διαδρομή εκκένωσης κατά τη διάσπαση του C_{π}
- R_{π} : αντίσταση του τόξου του σπινθηριστή Σ_{π}
- G : αγωγιμότητα λόγω των απωλειών του διηλεκτρικού, καθώς και την ενίσχυσή τους από τις μερικές εκκενώσεις και τη θερμότητα του περιβάλλοντος

1.1.6. Στατιστικές μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων

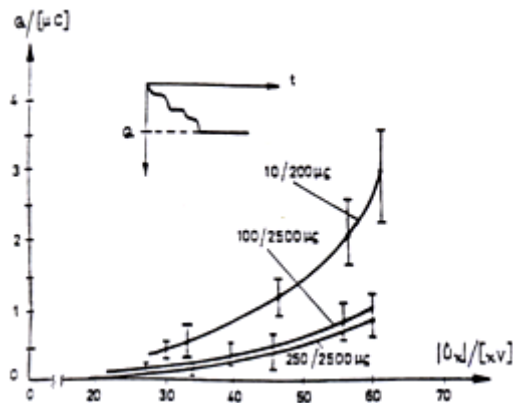
Για την πειραματική έρευνα των μερικών εκκενώσεων, μέσω παλμογραφημάτων (ή μετρήσεων των κυματομορφών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω αναλογικού-ψηφιακού μετατροπέα), έχουν προταθεί διάφορες έννοιες, όπως π.χ. στο σχήμα 1.1.6-1 για μετρήσεις με κρουστικές τάσεις. Με παρόμοιες σκέψεις, μπορεί κανείς να 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 1.1.6-1 : 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 : Στιγμαία τιμή της εφαρμοζόμενης κρουστικής τάσης
- u_0 : Τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων (στιγμαία τιμή)
- Δu : Άλμα δυναμικού
- ΔQ : Αύξηση φορτίου.

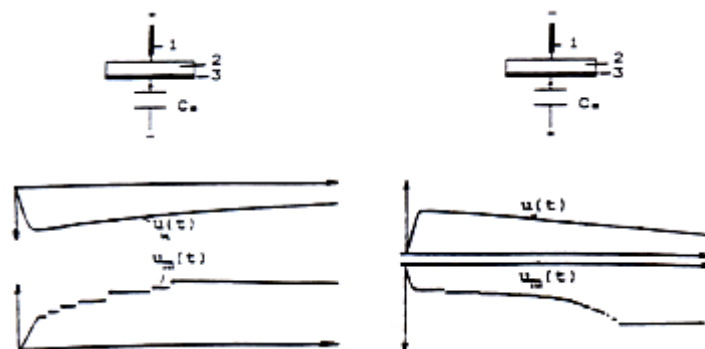
Με βάση τις παραπάνω έννοιες έχουν σχεδιαστεί διάφορες χαρακτηριστικές, όπως : η χαρακτηριστική $Q=f(|\dot{U}_k|)$, η χαρακτηριστική $u_0=f(|\dot{U}_k|)$, ο χρόνος έναρξης των μερικών εκκενώσεων σε συνάρτηση με τη μέγιστη τιμή της τάσης, κλπ. Οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών βασίζονται συνήθως σε μετρήσεις επί ενός αρκετά μεγάλου αριθμού δοκιμίων. Ιδιαίτερη σημασία έχει η χαρακτηριστική $Q=f(|\dot{U}_k|)$, η οποία φαίνεται ότι είναι εκθετικής μορφής (σχήμα 1.1.6-2), με αποκλίσεις από αυτήν, που έχουν αποδοθεί στη στατιστικότητα των ανομοιογενειών των στερεών μονωτικών των πρακτικών εφαρμογών (τα οργανικά στερεά μονωτικά είναι ανομοιογενή και δεν είναι δυνατόν να υπάρχει συμμετρική κατανομή των θέσεων διαταραχής από δοκίμιο σε δοκίμιο), 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. 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 1.1.6-4 : Χαρακτηριστική $Q_2=f(|U_c|)$ για τον βακελίτη (πάχους 2mm), υπό κρουστικές τάσεις 10/200μs, 100/2500μs και 250/2500μs

Περιβάλλον μέσο : μονωτικό λάδι
 Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα
 $C_m = 1000\text{nF}$

1.1.7. Το φαινόμενο της πολικότητας σε πολυμερή στερεά μονωτικά κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 1.1.7-1 : Τυπικά παλμογράφηματα των αλμάτων δυναμικού κατά την καταπόνηση πολυμερών στερεών μονωτικών εντός μονωτικού ελαίου, υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 1,2/50μs
 1 : Ηλεκτρόδιο ακίδα
 2 : Δοκίμιο
 3 : Ηλεκτρόδιο πλάκα
 C_m : πυκνωτής μέτρησης)

Το φαινόμενο της πολικότητας γίνεται φανερό στα άλματα δυναμικού από την κύρτωση (παρέκκλιση) της $u_m(t)$ προς τον άξονα του χρόνου (σχήμα 1.1.7-1). Η τιμή της τάσης για τη διάσπαση εξαρτάται από την πολικότητα της ακίδας. Ισχύει ο κανόνας ότι η τάση διάσπασης έχει μεγαλύτερη τιμή κατά την θετική πολικότητα της ακίδας, ως προς την αρνητική πολικότητα της. Μία ερμηνεία του φαινομένου αυτού μπορεί να δοθεί ως ακολούθως :

Ανάλογα με την πολικότητα της ακίδας συγκεντρώνονται μπροστά της ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς αντίθετης πολικότητας. Επειδή όμως οι θετικοί φορείς είναι στο σύνολο τους περισσότερο δυσκίνητοι από τους αρνητικούς και επομένως εξουδετερώνονται δυσκολότερα, είναι φανερό ότι στην περίπτωση της αρνητικής ακίδας απαιτείται μεγαλύτερη τάση για την διάσπαση. Η συγκέντρωση γενικά αυτή των δυσκίνητων θετικών ιόντων προ της αρνητικής ακίδας φαίνεται ότι είναι ο λόγος της μικρότερης τιμής του αρχικού πεδίου, ως προς εκείνη κατά τη θετική πολικότητα.

1.2. Η κβαντομηχανική θεωρία της γήρανσης και της διάσπασης των στερεών μονωτικών υλικών

Σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο προηγούμενο κεφάλαιο, η γήρανση και η διάσπαση των στερεών μονωτικών οφείλονται σε τέσσερις βασικούς παράγοντες (*απώλειες Joule, δυνάμεις Coulomb, μερικές εκκενώσεις και θερμότητα του περιβάλλοντος*). Οι παράγοντες αυτοί δεν περιλαμβάνουν, όμως, στοιχεία για φαινόμενα, που δε μπορεί κανείς να ακούσει ή να παρατηρήσει, όπως:

- ο ιονισμός με κρούσεις, που πιστεύεται ότι εκδηλώνεται στα στερεά μονωτικά, και
- το μη ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η συσχέτισή του με φωτεινά φαινόμενα και καταπονήσεις, που παρατηρούνται στο υλικό (θερμικές ή μηχανικές ή και τα δύο), που θα έδινε περισσότερες πληροφορίες για τη μείωση της διηλεκτρικής αντοχής.

Οι πληροφορίες αυτές, καθώς και άλλες, δόθηκαν με κβαντομηχανική ερμηνεία των φαινομένων, που εκδηλώνονται προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών, η οποία βασίζεται κυρίως:

- στις μετρήσεις των αλμάτων δυναμικού κατά την καταπόνηση στερεών μονωτικών με κρουστικές τάσεις
- στις κρούσεις φορτίου, που είναι η κυματομορφή (ή το παλμογράφημα) της πτώσης τάσης σε ένα ωμικό τετράπολο μέτρησης (ως στοιχείο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε δηλαδή μια 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

Στην κβαντομηχανική θεωρία ενδιαφέρει κυρίως η *ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων* (κυρίως ηλεκτρόνια). Η τιμή της ενέργειας αυτής, πάνω από την ενέργεια Fermi των ηλεκτρονίων, διευκολύνει στη διεξαγωγή συμπερασμάτων για το μηχανισμό παραγωγής των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων. Τα βασικότερα συμπεράσματα από τη θεωρία αυτή είναι:

Η γήρανση και η διάσπαση, ταυτίζονται σχετίζονται με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται στο υλικό, έχει διαπιστωθεί ότι:

- το φάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά τη γήρανση, μπορεί να είναι από ακουστικά κύματα μέχρι υπεριώδεις ακτίνες.
- 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).

Καθοριστικός παράγοντας για τη δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων είναι η τιμή του πεδίου. Από μετρήσεις σε οργανικά στερεά μονωτικά (με $\epsilon_r \approx 2,5-4,5$) έχει διαπιστωθεί ότι οι μερικές εκκενώσεις, υπό κρουστικές τάσεις καταπόνησης, αρχίζουν σε τιμή πεδίου περίπου $0,2\text{MV/cm}$.

Για τιμές του πεδίου μέχρι περίπου 0,5MV/cm αυξάνει η ειδική αγωγιμότητα κατά τη σχέση

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-W/kT)$$

Σχέση 1.2-1

Για μεγαλύτερες τιμές πεδίου από προηγουμένως, οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς γίνονται αρκετά περισσότεροι και δεν ισχύει η προηγούμενη σχέση. 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 την κβαντομηχανική ερμηνεία, ενδιαφέρουν τα ενεργειακά επίπεδα των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων κατά την εκδήλωση μερικών εκκενώσεων και όχι ο διαχωρισμός των τελευταίων σε εσωτερικές και εξωτερικές. Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων (κυρίως ηλεκτρόνια), πάνω από την ενέργεια Fermi του ηλεκτροδίου, μπορεί να υπολογιστεί από την ενέργεια στον πυκνωτή μέτρησης C_m ανά άλμα δυναμικού, από τη σχέση:

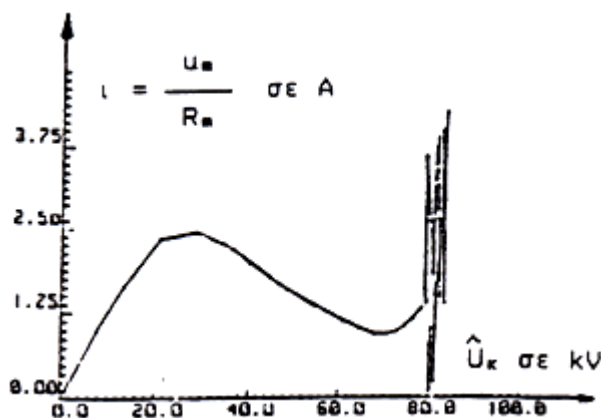
$$W = 0,5q_e \Delta u$$

Σχέση 1.2-2

q_e Το φορτίο του ηλεκτρονίου
 Δu το άλμα δυναμικού

Η σχέση αυτή ισχύει για μηδενική τιμή της ωμικής αντίστασης R από τον πυκνωτή μέτρησης μέχρι το ηλεκτρόδιο γείωσης.

Περισσότερες πληροφορίες για το μηχανισμό γήρανσης έχουν δοθεί από παλμογραφήματα των κρούσεων φορτίου όπου φαίνεται ότι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συλλέγονται από την άνοδο υπό μορφή ομάδων, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε ιονισμό με κρούσεις. Έτσι, όταν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια φτάνουν στην άνοδο, εξαναγκάζονται σε επιβράδυνση αποδίδοντας το περίσσειμα της ενέργειάς τους (ανάλογα με την ενεργειακή στάθμη που είχαν) σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Φαίνεται, επίσης, ότι ο ιονισμός με κρούσεις σχετίζεται με την εκδήλωση αρνητικής διαφορικής αντίστασης (κατά την αύξηση της τάσης, παρατηρείται μείωση του ρεύματος). Η αντίσταση αυτή, που προηγείται του ιονισμού με κρούσεις, δίνεται αναλυτικότερα στη χαρακτηριστική “ρεύματος - τάσης” του σχήματος 1.2-1.



Σχήμα 1.2-1 : Χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης σύμφωνα με παλμογράφημα των κρούσεων φορτίου

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

$$Q = Q_0 \exp[A(E^2 - E_0^2)/E_0^2]$$

Σχέση 1.2-3

όπου (κατά το σχήμα 1.1.6-1):

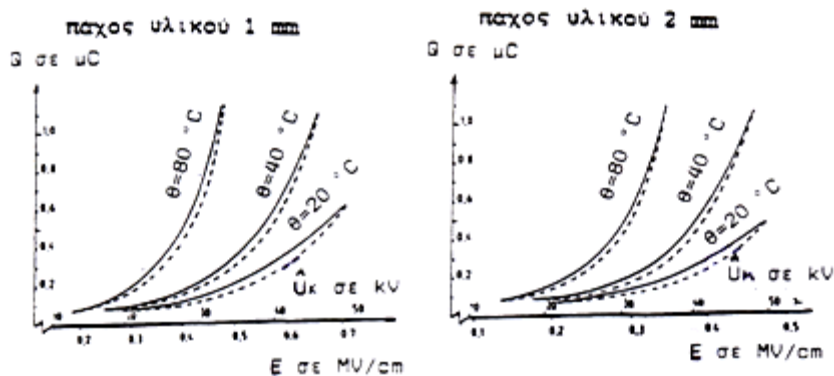
E_0	:	η πεδιακή ένταση έναρξης των μερικών εκκενώσεων ($E > 0,2 \text{ MV/cm}$) και Q_0 το φορτίο κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
E	:	η εφαρμοζόμενη πεδιακή ένταση, λόγω της οποίας το φορτίο αποκτά την τιμή Q
A	:	ένας συντελεστής του υλικού, που εξαρτάται από το χρόνο.

Με βάση τη σχέση αυτή, έχει γίνει μια προσέγγιση πειραματικών χαρακτηριστικών $Q=f(|\dot{U}_k|)$ κατά την καταπόνηση πολυμερών στερεών μονωτικών (πάχους 1mm ή 2mm) με κρουστικές τάσεις χειρισμών (μορφή 250/2500μs), η οποία προκαλεί μόνο εσωτερικές μερικές εκκενώσεις.

Στα παρακάτω σχήματα δίνονται οι πειραματικές χαρακτηριστικές για τον βακελίτη (εντός μονωτικού ελαίου), καθώς και οι θεωρητικές χαρακτηριστικές κατά τη σχέση (1.2-3), με προσδιορισμό του συντελεστή A για κάθε υλικό. Όπως φαίνεται, υπάρχει ικανοποιητική ταύτιση μεταξύ θεωρίας και πειραμάτων. Η θεωρητική προσέγγιση έδειξε ότι:

- οι μερικές εκκενώσεις αρχίζουν σε τιμές πεδίου περίπου $E=0,2 \text{ MV/cm}$.
- για τιμές πεδίου περίπου μέχρι $0,5 \text{ MV/cm}$, η αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας διέπεται από τη σχέση 1.2-1.
- για μεγαλύτερες τιμές πεδίου από προηγουμένως, ισχύει η σχέση 1.2-3, με αποτέλεσμα να μπορεί να υποθέσει κανείς, ότι συμβαίνει ιονισμός με κρούσεις.

η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ενισχύει σημαντικά τα φαινόμενα ιονισμού.



Σχήμα 1.3.3-1 : Χαρακτηριστικές $Q=f(|\dot{U}_k|)$ για τον βακελίτη (εντός μονωτικού ελαίου), υπό κρουστικές τάσεις 250/2500μs.

Διάταξη ηλεκτροδίων : ακίδα-πλάκα
 $A = 0,44$.

1.3. Ένας συνδυασμός της μακροσκοπικής και της κβαντομηχανικής θεωρίας για τα φαινόμενα προ και κατά τη διάσπαση στερεών μονωτικών των πρακτικών εφαρμογών

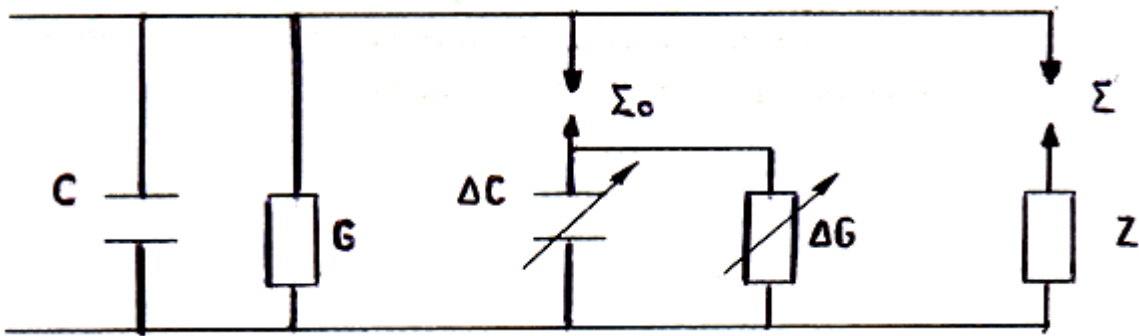
Από τα αναφερόμενα στο κεφάλαιο 1.2 φαίνεται ότι η κβαντομηχανική θεωρία των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών, δίνει πληροφορίες για το μη ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που παράγεται στα υλικά αυτά κατά την ηλεκτρική καταπόνησή τους. Οι πληροφορίες αυτές δε μπορούν να εξαχθούν από τη μακροσκοπική θεώρηση των παραπάνω φαινομένων. Πλεονέκτημα, όμως, της μακροσκοπικής θεωρίας, για τη γήρανση και τη διάσπαση των στερεών μονωτικών, φαίνεται ότι είναι ο διαχωρισμός μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών μερικών εκκενώσεων στο διάγραμμα της χρονικής μεταβολής της εφαρμοζόμενης τάσης. Ο διαχωρισμός αυτός των μερικών εκκενώσεων δε μπορεί να δοθεί από τη θεωρία του ιονισμού με κρούσεις, γιατί ο συντελεστής A (στη σχέση 1.2-3) αφορά το μονωτικό και όχι το περιβάλλον του, και η τιμή του θα πρέπει να εξαρτάται από τη διαχρονική μεταβολή της μοριακής δομής του υλικού. Αν π.χ. πραγματοποιήσει κανείς τα πειράματα της παραγράφου 1.2, με κρουστικές τάσεις 1,2/50μs (ή με 10/200μs), και προσεγγίσει ακολούθως τις πειραματικές χαρακτηριστικές $Q=f(\dot{U}_k)$ με τη σχέση 1.2-3, θα διαπιστώσει ότι ο συντελεστής A έχει διαφορετική τιμή, από εκείνη κατά την καταπόνηση με κρουστικές τάσεις 250/2500μs. Η διαφορετική αυτή τιμή του συντελεστή A (κατά την καταπόνηση με κρουστικές τάσεις 1,2/50μs ή 10/200μs) μπορεί να θεωρηθεί μόνο ως μία ένδειξη ότι συμβαίνει ιονισμός με κρούσεις, χωρίς όμως να καθορίζεται η περιοχή εκδήλωσής του (στον όγκο του μονωτικού, ή στην επιφάνειά του, ή στον όγκο και στην επιφάνεια του μονωτικού). Γι' αυτό, δε μπορεί κανείς να καταλήξει, μέσω της κβαντομηχανικής θεώρησης των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών, στο διαχωρισμό των μερικών εκκενώσεων στα παλμογραφήματα των αλμάτων δυναμικού.

Από τα παραπάνω φαίνεται, ότι 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 το σκοπό αυτό, δίνεται στο σχήμα 1.3-1. Πρόκειται, ουσιαστικά, για μία συμπλήρωση του ισοδύναμου κυκλώματος Gemant-Philipoff (σχήμα 1.1.3-1), 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 0,2MV/cm), τότε, τα φαινόμενα, που εκδηλώνονται στο μονωτικό, αποδίδονται από το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 1.3-1 ως ακολούθως:

- Για $E < E_0$: Η συμπεριφορά του υλικού είναι ιδανική (δε διασπώνται οι σπινθηριστές Σ_0 και Σ)
- Για $E > E_0$: Εκδηλώνονται μερικές εκκενώσεις (διασπάται ο Σ_0) και η αύξηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας διέπεται από τη σχέση : $\sigma = \sigma_0 \exp(-W/kT)$
- Για $E \gg E_0$: Εμφανίζεται αρνητική διαφορική αντίσταση και εκδηλώνεται ιονισμός με κρούσεις. Δεν ισχύει η σχέση $\sigma = \sigma_0 \exp(-W/kT)$, αλλά η σχέση:

$$Q = Q_0 \exp[A(E^2 - E_0^2) / E_0^2]$$

- Το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται, εξαρτάται από την τιμή E. για τιμές $W_e > 20eV$ συμβαίνει η διάτρηση.



Σχήμα 1.3-1 : 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
- Σ_0 : σπινθηριστής έναρξης των μερικών εκκενώσεων
- Σ : σπινθηριστής εκδήλωσης της Z

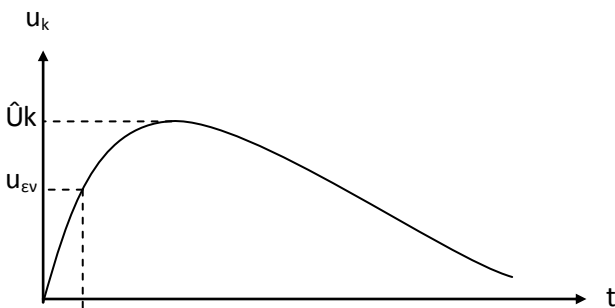
2. Σκοπός της εργασίας

2.1. Διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν

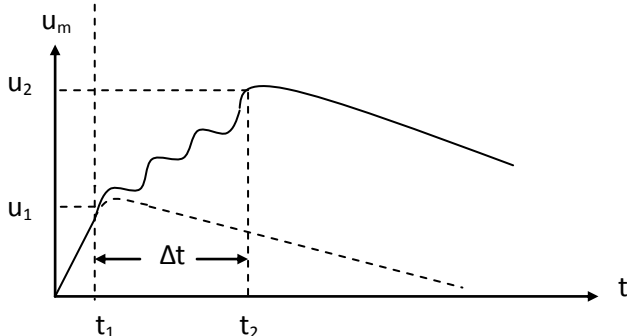
Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η στατιστική ανάλυση των ηλεκτρικών φαινομένων, που συνδέονται με τις μερικές εκκενώσεις, οι οποίες εκδηλώνονται σε δοκίμιο πεπιεσμένου χαρτιού πάχους 1mm και 2mm εντός μονωτικού ελαίου υπό κρουστικές τάσεις $\pm 10/200\mu\text{s}$

Στην ουσία γίνεται μελέτη των φαινομένων που εκδηλώνονται κατά τη διάσπαση του στερεού μονωτικού σε περιβάλλον εντός μονωτικού ελαίου. Συγκεκριμένα στόχος είναι να αποκτηθεί μια εμπειριστατωμένη άποψη για την αγώγιμη συμπεριφορά του συγκεκριμένου μονωτικού υλικού βάσει ορισμένων ηλεκτρικών μεγεθών είτε που εφαρμόστηκαν (όπως η κρουστική τάση) είτε που μετρήθηκαν ή υπολογίσθηκαν. Τα μεγέθη αυτά αναλύονται παρακάτω.

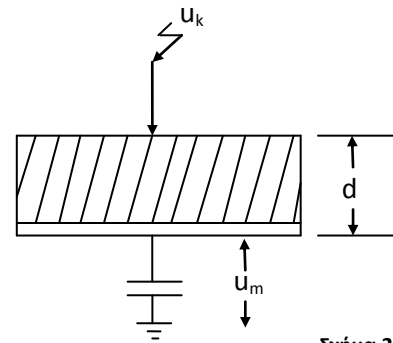
Για την πειραματική έρευνα των μερικών εκκενώσεων, μέσω παλμογραφημάτων (ή μετρήσεων των κυματομορφών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω αναλογικού - ψηφιακού μετατροπέα), έχουν προταθεί διάφορες έννοιες, όπως φαίνεται στα σχήματα 2-1, 2-2, για μετρήσεις με κρουστικές τάσεις. Επίσης μία απλοποιημένη μορφή της διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για να μετρηθούν τα αντίστοιχα μεγέθη παρουσιάζεται στο σχήμα 2-3.



Σχήμα 2-1



Σχήμα 2-2



Σχήμα 2-3

2.2. Καθορισμός μεγεθών

Τα μεγέθη που μετρήθηκαν είναι :

- $\hat{U}k$ Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης (σχήμα 2-1)
- u_1 Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων (σχήμα 2-2)
- u_2 Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων (σχήμα 2-2)
- t_1 Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων (σχήμα 2-2)
- t_2 Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων (σχήμα 2-2)
- $u_{εV}$ Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων (σχήμα 2-1)

Παρατίθενται επίσης τα μεγέθη που υπολογίστηκαν, καθώς και ο αναλυτικός τρόπος υπολογισμού τους :

- Σχέση 2-1 : $q_1 = C_m \cdot u_1$ Η στιγμιαία τιμή του C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
- Σχέση 2-2 : $q_2 = C_m \cdot u_2$ Η στιγμιαία τιμή του C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
- Σχέση 2-3 : $i_1 = q_1 / t_1 = (C_m \cdot u_1) / t_1$ Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στον C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
- Σχέση 2-4 : $i_2 = q_2 / t_2 = (C_m \cdot u_2) / t_2$ Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στον C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
- Σχέση 2-5 : $\Delta We = 0.5 \cdot \Delta u$ (με Δu σε V είναι η ΔWe σε eV)
Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
- Σχέση 2-6 : $\hat{E}k = 2 \cdot \hat{U}k / \{R \cdot \ln(4 \cdot d / R)\}$ (R=0.9mm, d=1mm, d=2mm)
Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $\hat{U}k$ όπου $\hat{U}k$ η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης, R η διάμετρος της άκρης της ακίδας μέσω της οποίας εφαρμόζεται κρουστική τάση στο υλικό
- Σχέση 2-7 : $E_{εV} = 2 \cdot u_{εV} / \{R \cdot \ln(4d/R)\}$ (R=0.9mm, d=1mm, d=2mm)
Στιγμαία ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην $u_{εV}$ όπου $u_{εV}$ η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων, R η διάμετρος της άκρης της ακίδας μέσω της οποίας εφαρμόζεται κρουστική τάση στο υλικό
- Σχέση 2-8 : $Ne = \Delta q / q_e$ ($\Delta q = q_2 - q_1$, $q_e = 1.6E-19$ C)
Αριθμός ελεύθερων ηλεκτρονίων
- Σχέση 2-8 : $Na = \Delta t / 0.1$ ($\Delta t = t_2 - t_1$ σε μs , $q_e = 1.6E-19$ C)
Μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

3. Οι υπολογισμοί που έγιναν

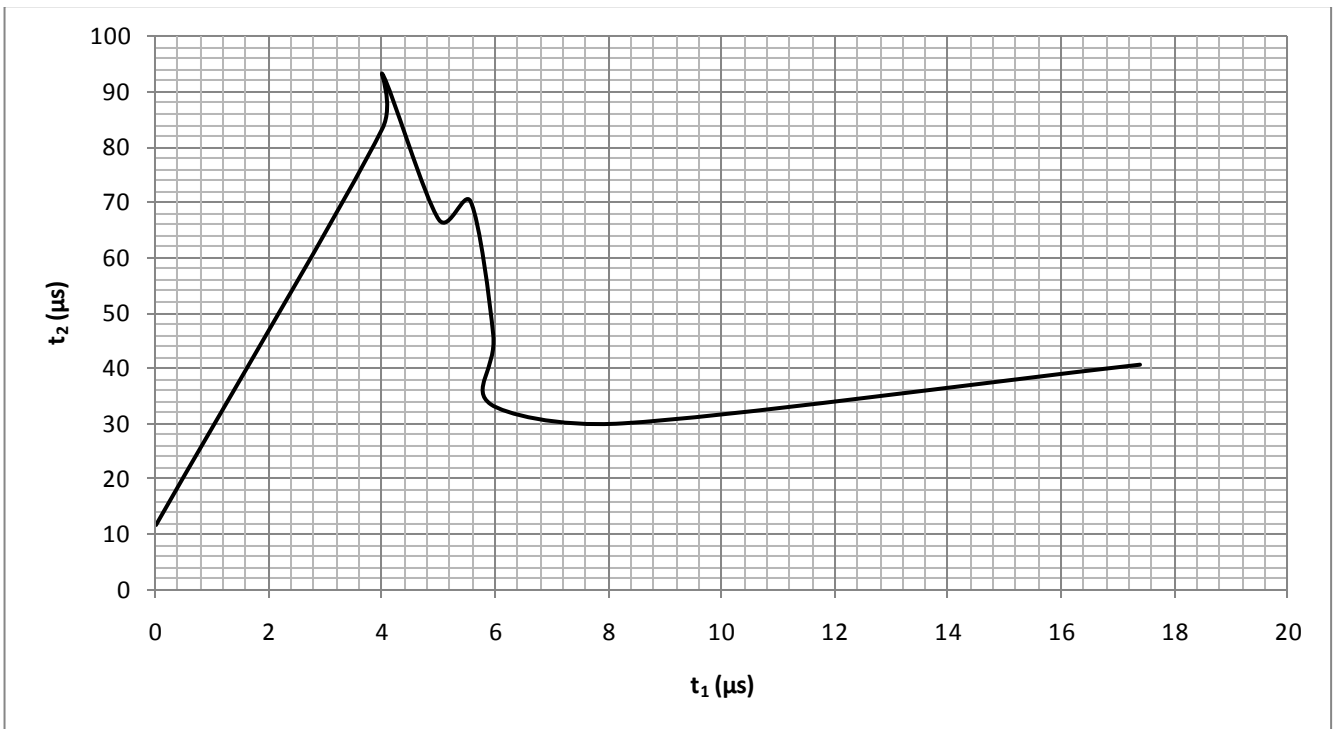
3.1. Κρουστική τάση +10/200 μs για διάκενο $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

\hat{U}_k (kV)	\hat{E}_k (kV/mm)	C_m (nF)	U_1 (V)	U_2 (V)	Δu (V)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	Δt (μs)	q_1 (μC)	q_2 (μC)
26.100	38.883	210.000	0.524	1.571	1.047	17.390	40.670	23.280	0.110	0.330
32.000	47.673	210.000	0.619	3.667	3.048	8.240	30.040	21.800	0.130	0.770
38.700	57.654	210.000	0.905	9.191	8.286	5.920	33.470	27.550	0.190	1.930
43.800	65.252	210.000	1.000	18.429	17.429	5.960	46.040	40.080	0.210	3.870
50.500	75.233	210.000	1.000	25.571	24.571	5.560	70.220	64.660	0.210	5.370
57.300	85.364	210.000	1.000	37.286	36.286	5.000	66.920	61.920	0.210	7.830
64.000	95.345	1000.000	0.250	10.650	10.400	4.000	93.320	89.320	0.250	10.650
70.700	105.327	1000.000	0.000	16.320	16.320	4.000	83.410	79.410	0.000	16.320
77.500	115.457	1835.000	2.000	27.820	25.820	0.000	11.640	11.640	3.670	51.050

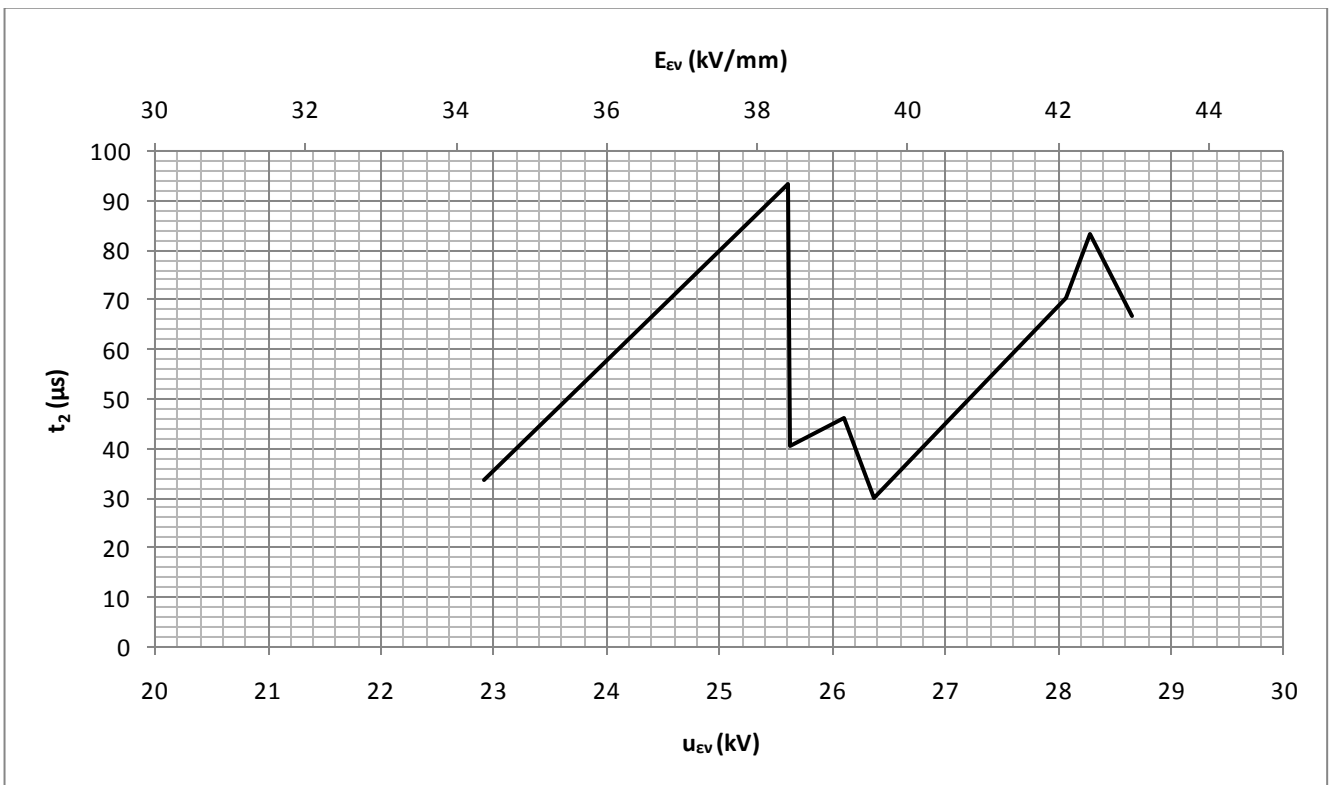
\hat{U}_k (kV)	Δq (μC)	i_1 (A)	i_2 (A)	Δi (A)	u_{ev} (kV)	E_{ev} (kV/mm)	ΔWe (eV)	Ne	Na
26.100	0.220	0.006	0.008	0.002	25.619	38.166	0.524	1.37E+18	233
32.000	0.640	0.016	0.026	0.010	26.368	39.282	1.524	4E+18	218
38.700	1.740	0.032	0.058	0.026	22.910	34.131	4.143	1.09E+19	276
43.800	3.660	0.035	0.084	0.049	26.1048	38.890	8.715	2.28E+19	401
50.500	5.160	0.038	0.076	0.039	28.078	41.829	12.286	3.22E+19	647
57.300	7.620	0.042	0.117	0.075	28.650	42.681	18.143	4.76E+19	619
64.000	10.400	0.063	0.114	0.052	25.600	38.138	5.200	6.49E+19	893
70.700	6.320	0.000	0.196	0.196	28.280	42.130	8.160	1.02E+20	794
77.500	47.380	0.000	4.386	0.000	0	0	12.910	2.96E+20	116

Πίνακας 3.1-1: Στατιστική ανάλυση των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στα σχήματα 2-1, 2-2, 2-3 και στις σχέσεις 2-1 έως 2-8 για κρουστική τάση +10/200, $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

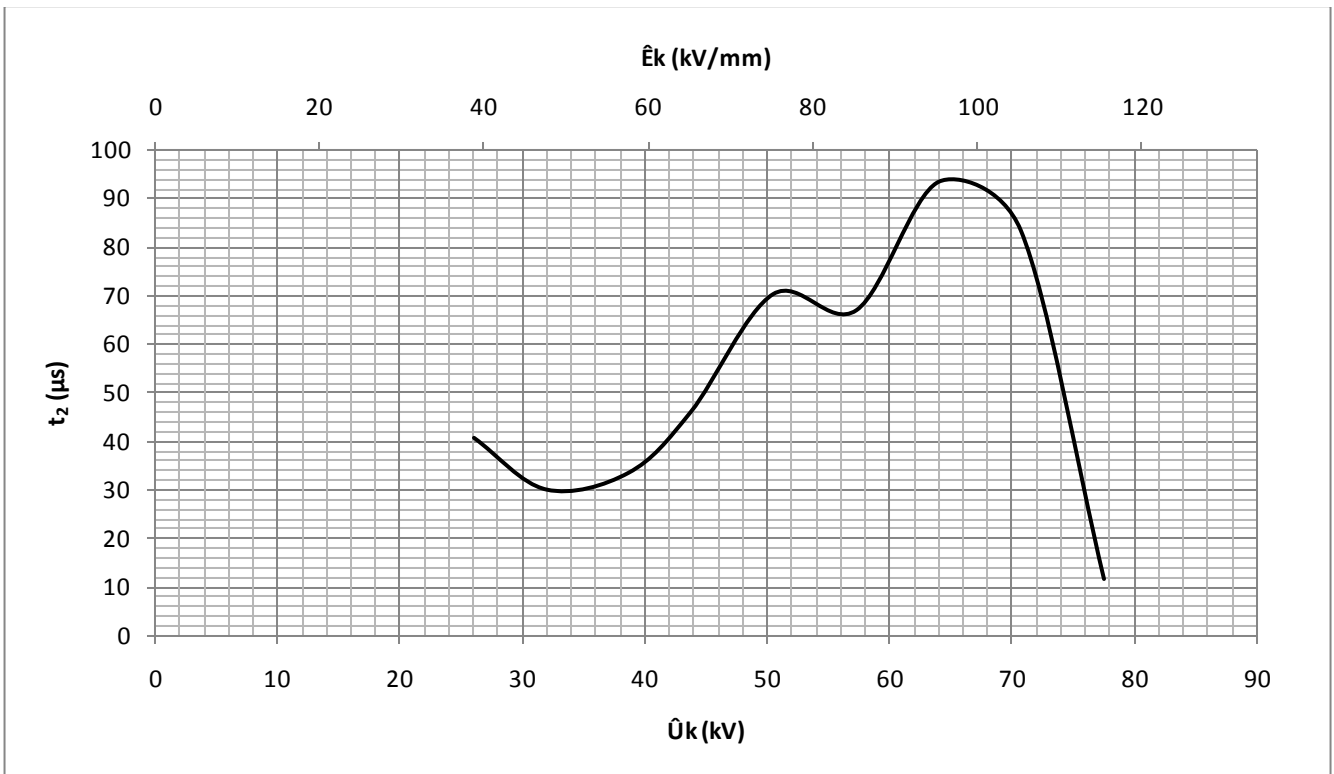
\hat{U}_k	Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
\hat{E}_k	Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
C_m	Πυκνωτής μέτρησης
u_1	Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
u_2	Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δu	$u_2 - u_1$
q_1	Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
q_2	Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δq	$q_2 - q_1$
t_1	Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
t_2	Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δt	$t_2 - t_1$
i_1	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
i_2	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δi	$i_2 - i_1$
u_{ev}	Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
E_{ev}	Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}
ΔWe	Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Ne	Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
Na	Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



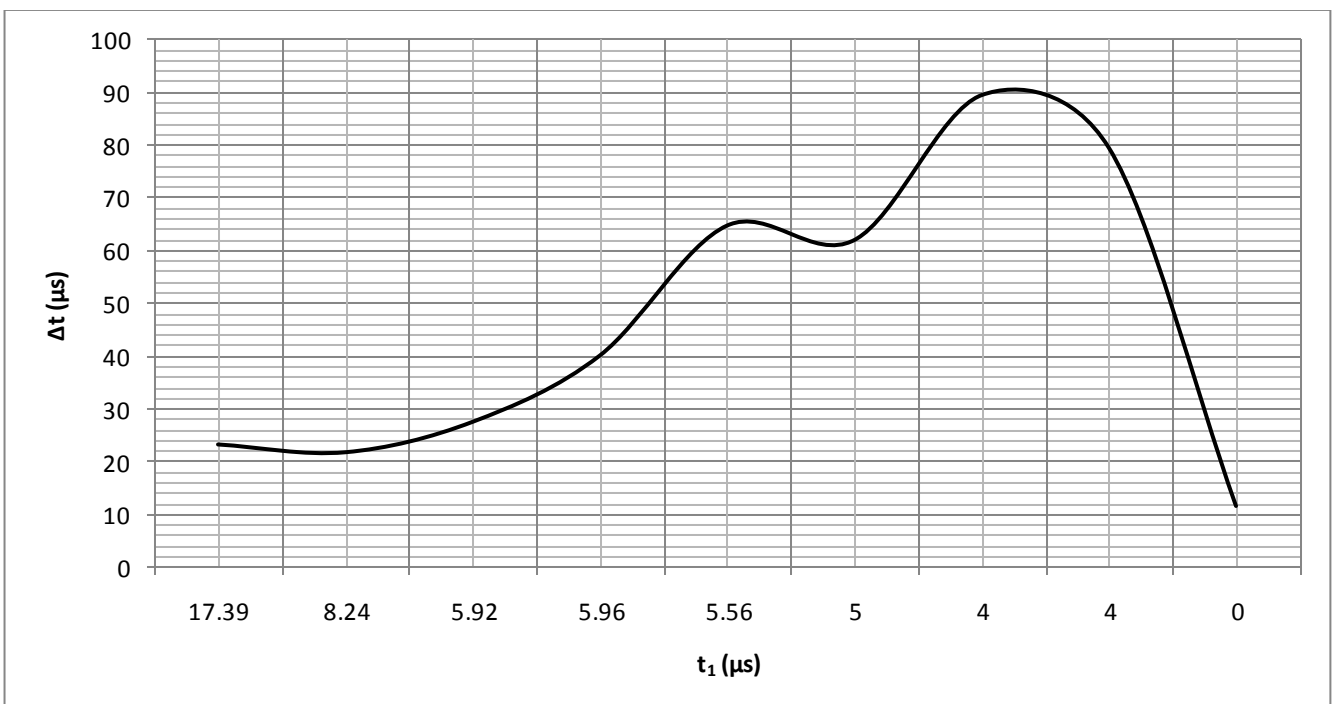
Σχήμα 3.1-1 : Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



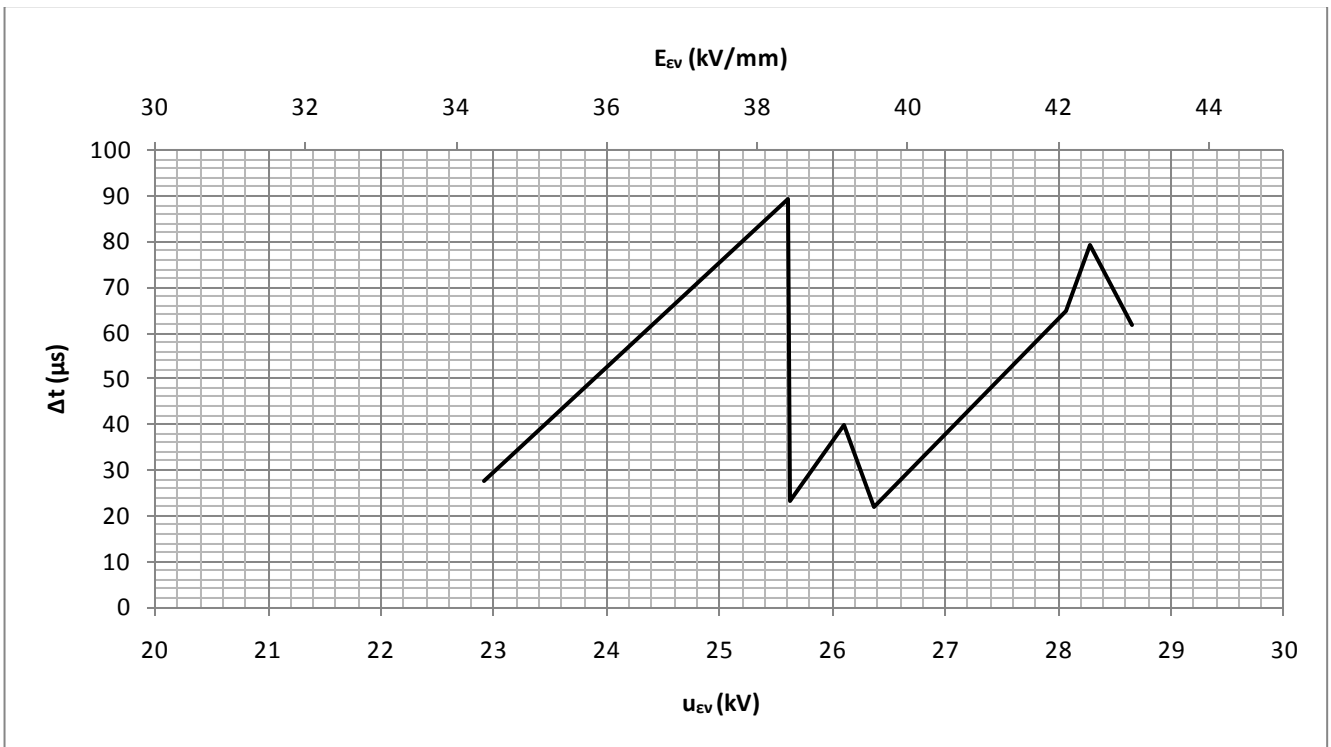
Σχήμα 3.1-2 : Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}



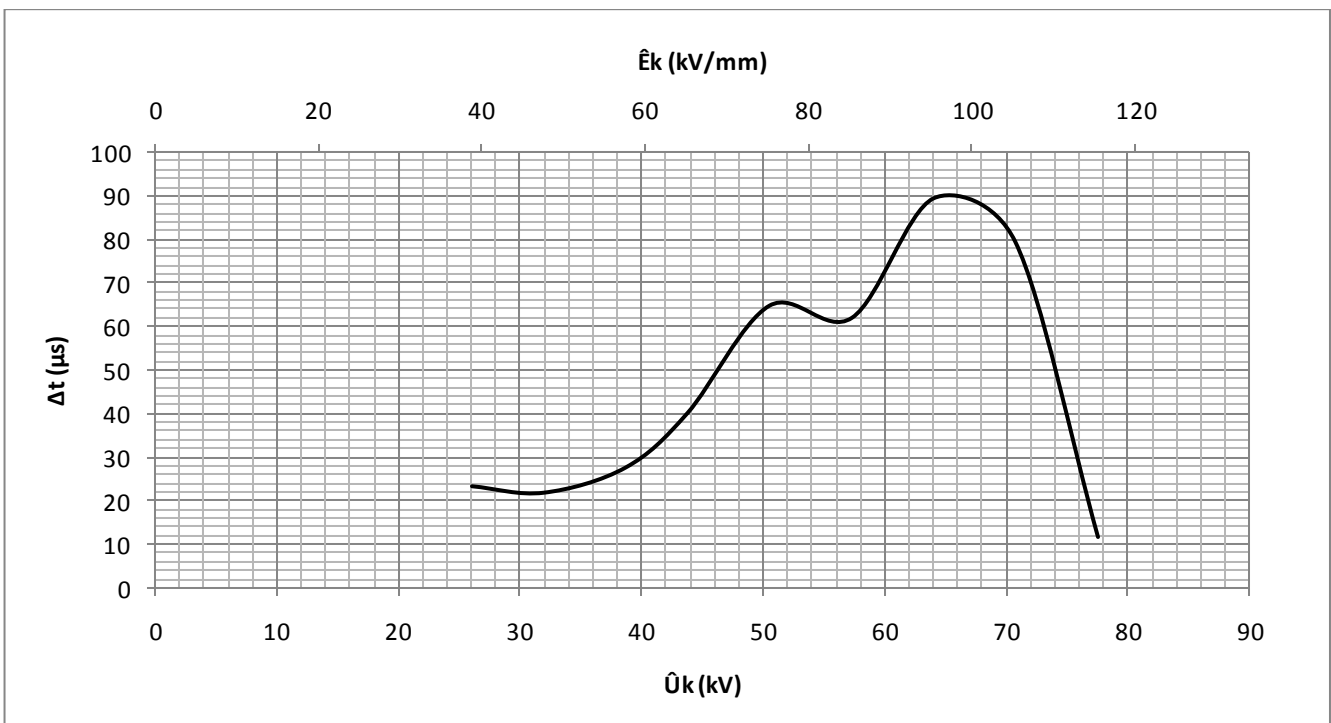
Σχήμα 3.1-3 : Χαρακτηριστική $t_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k



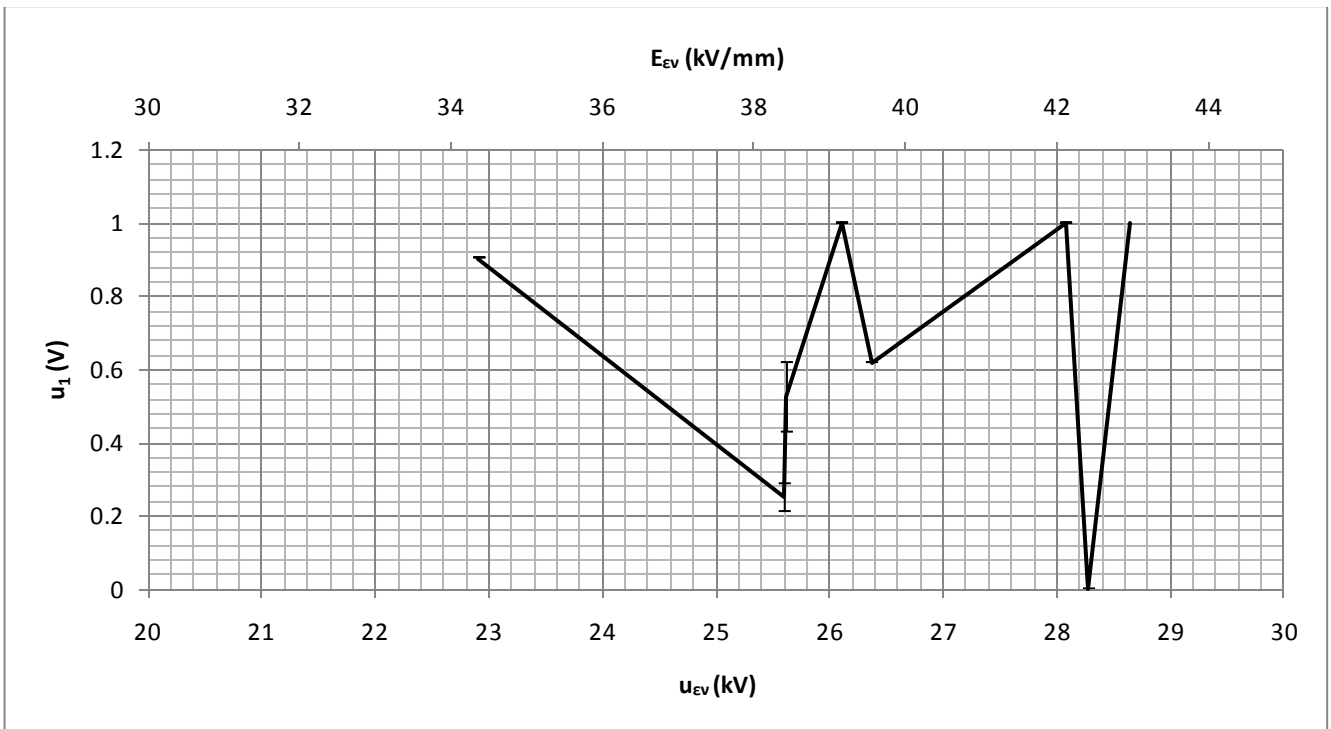
Σχήμα 3.1-4 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



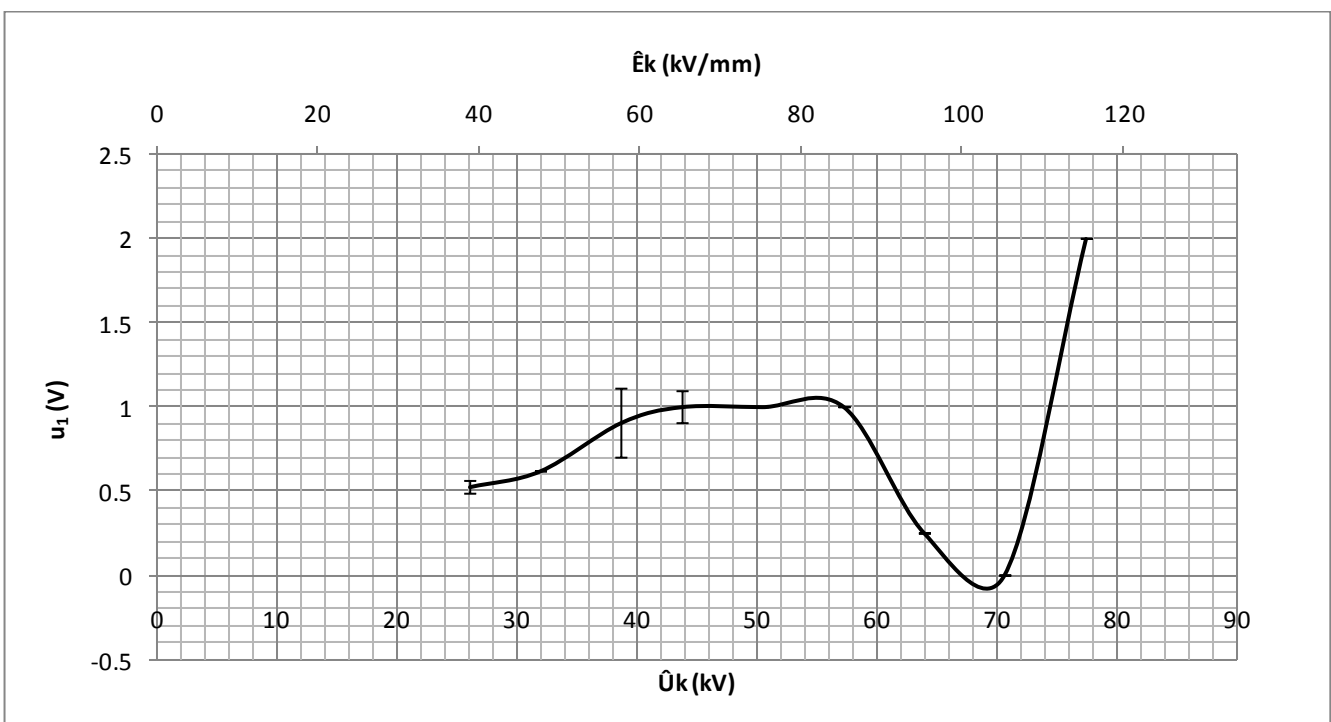
Σχήμα 3.1-5 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασμα μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}



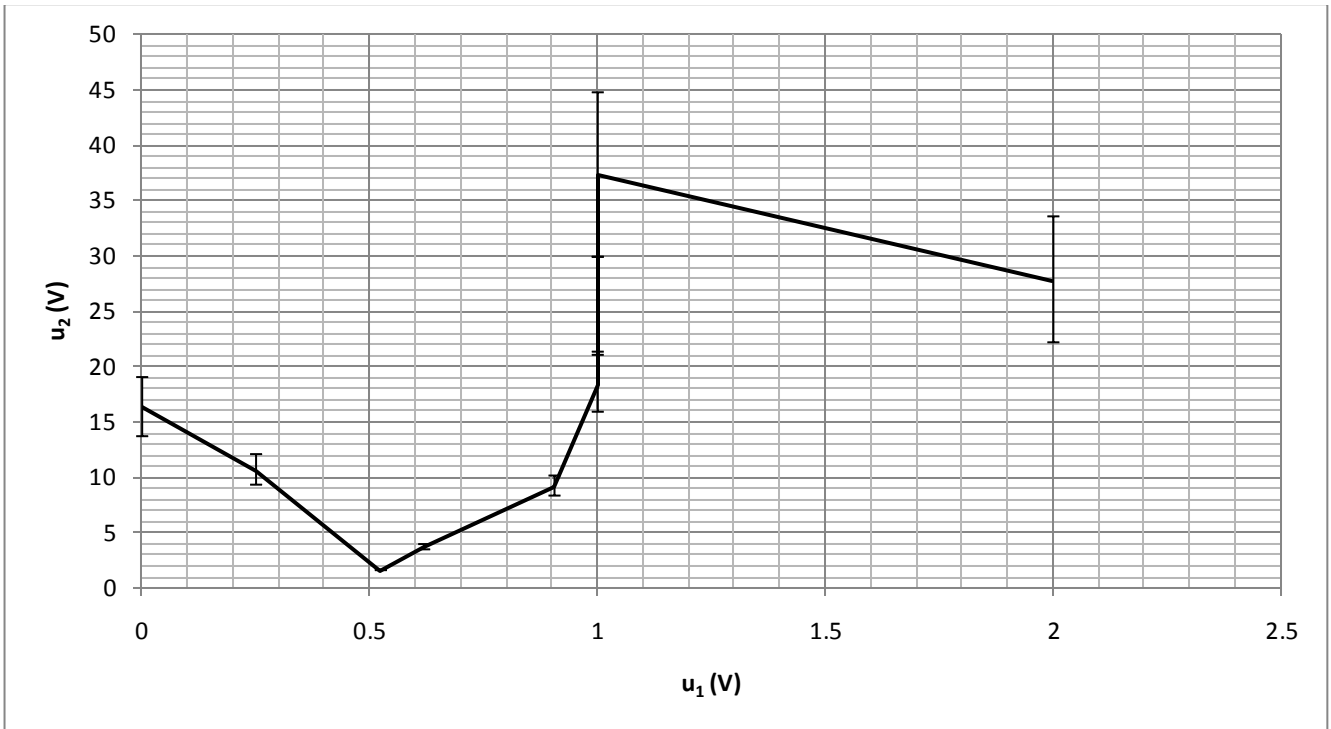
Σχήμα 3.1-6 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(U_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασμα μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k



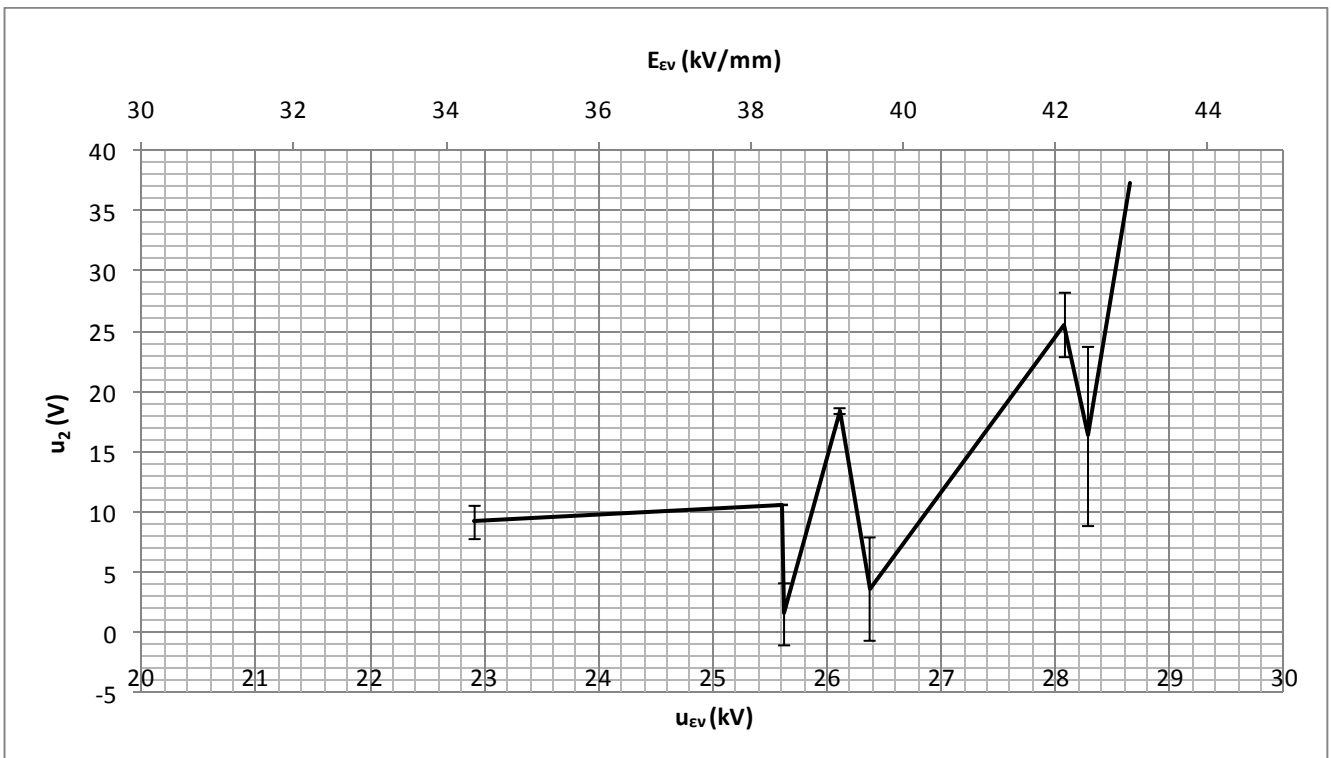
Σχήμα 3.1-7 : Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



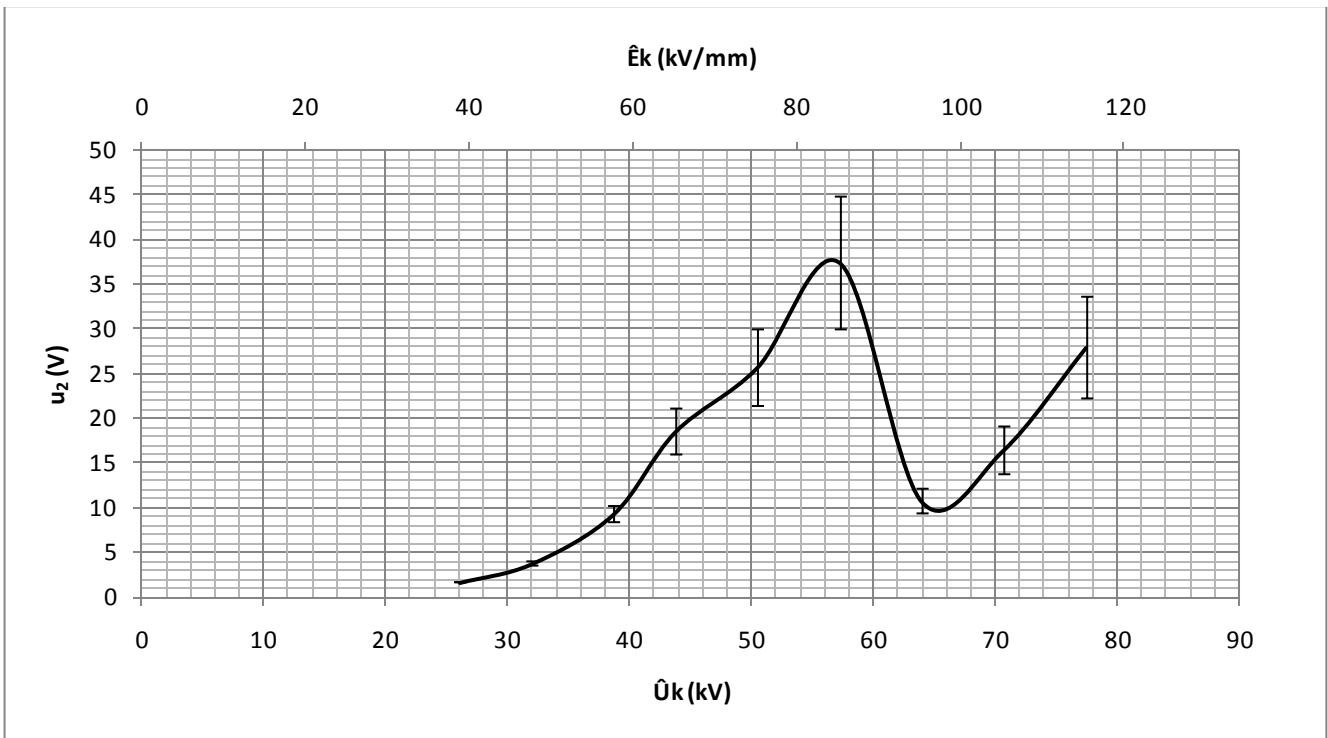
Σχήμα 3.1-8 : Χαρακτηριστική $u_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



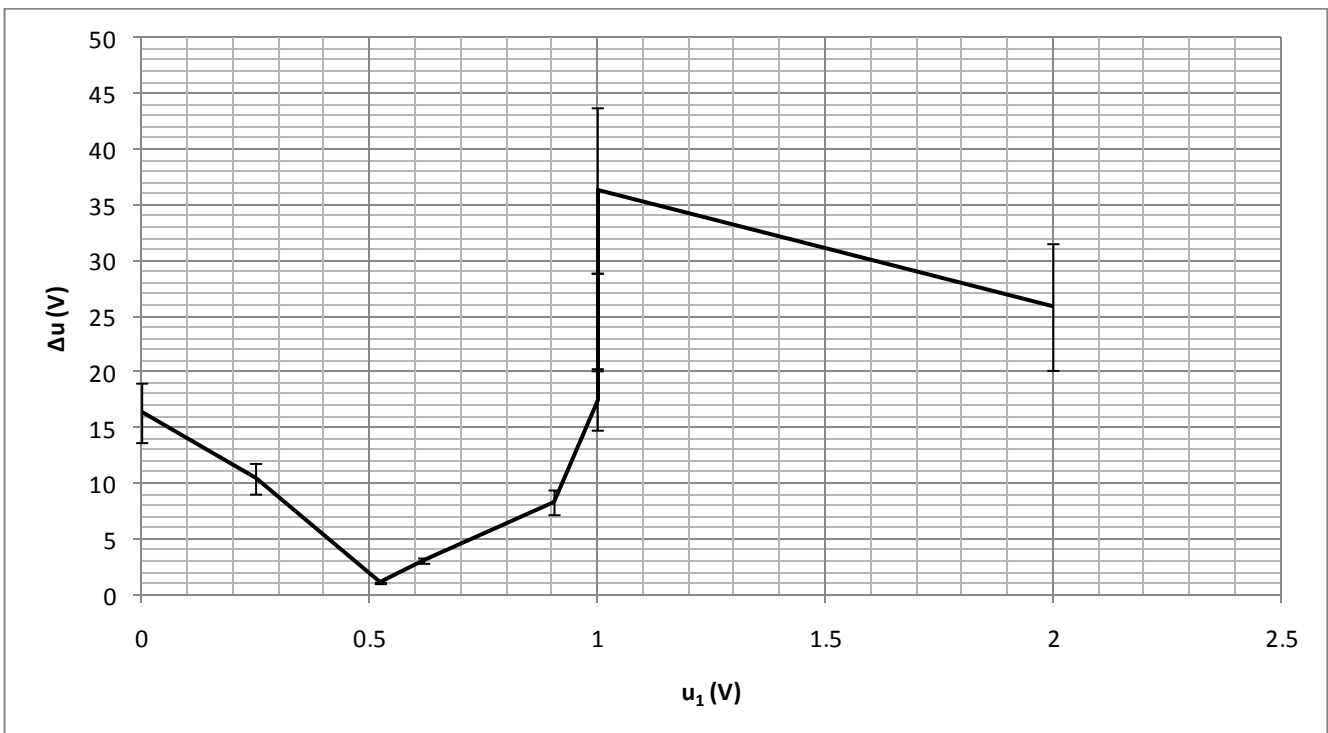
Σχήμα 3.1-9 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



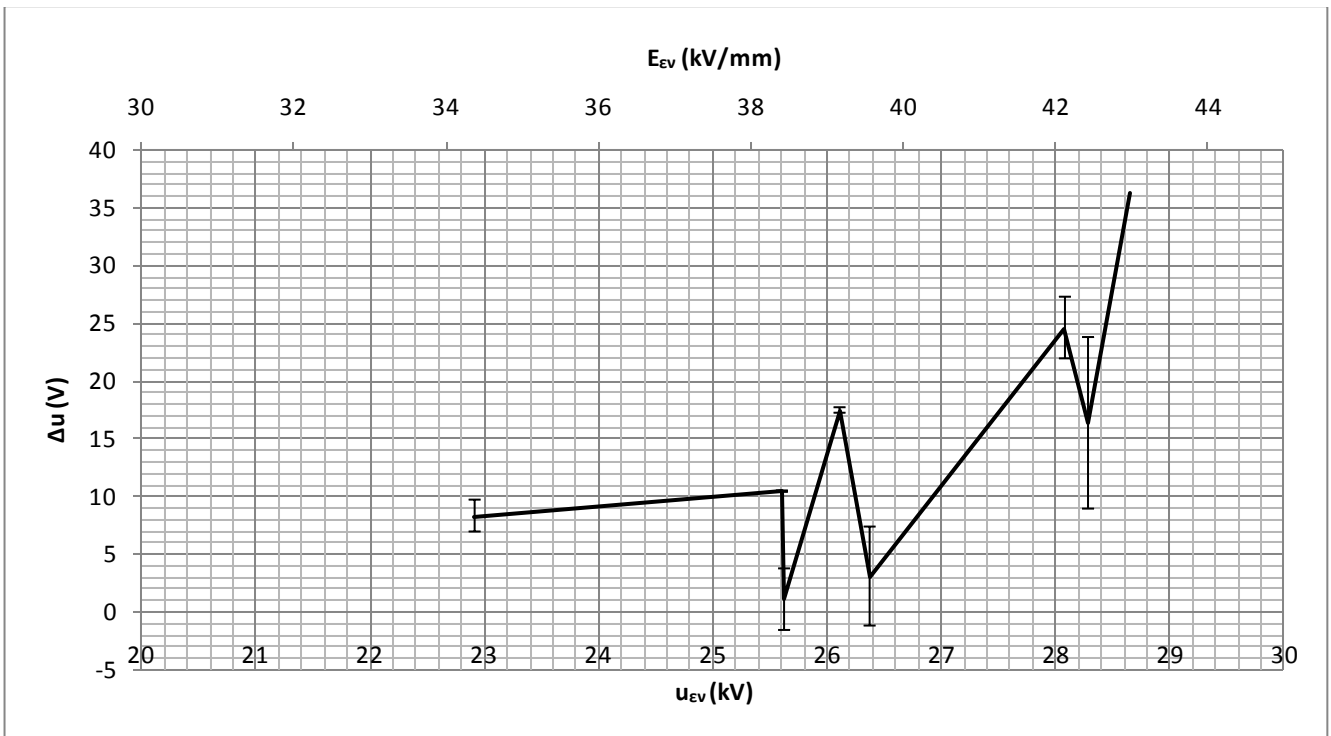
Σχήμα 3.1-10 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



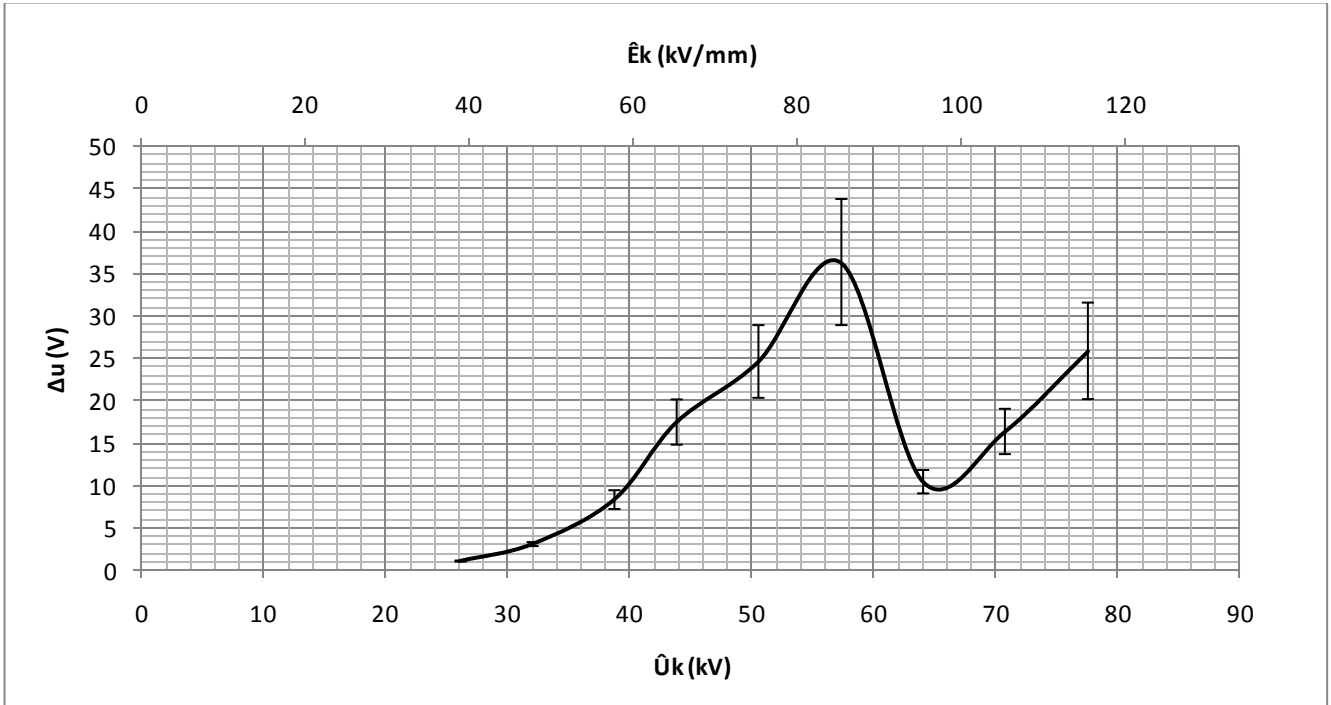
Σχήμα 3.1-11 : Χαρακτηριστική $u_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



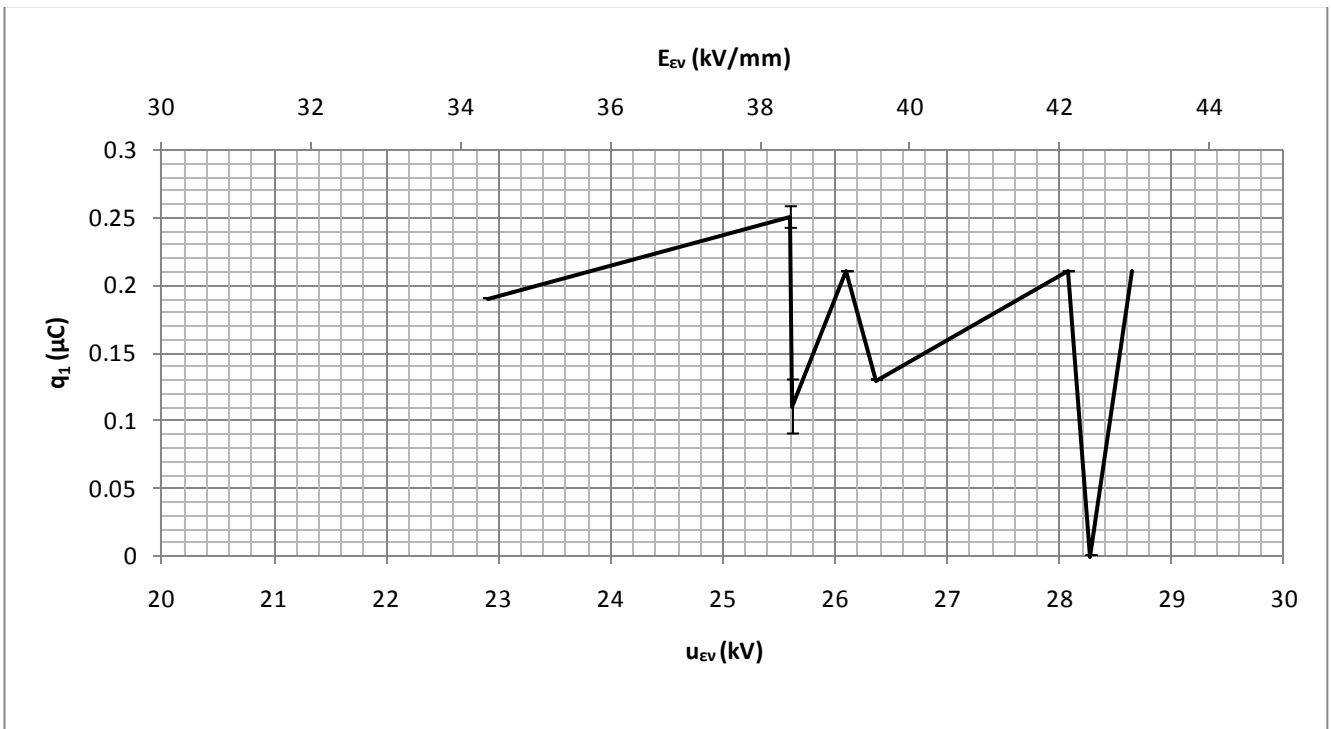
Σχήμα 3.1-12 : Χαρακτηριστική $\Delta u=f(u_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u=u_2-u_1$)
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



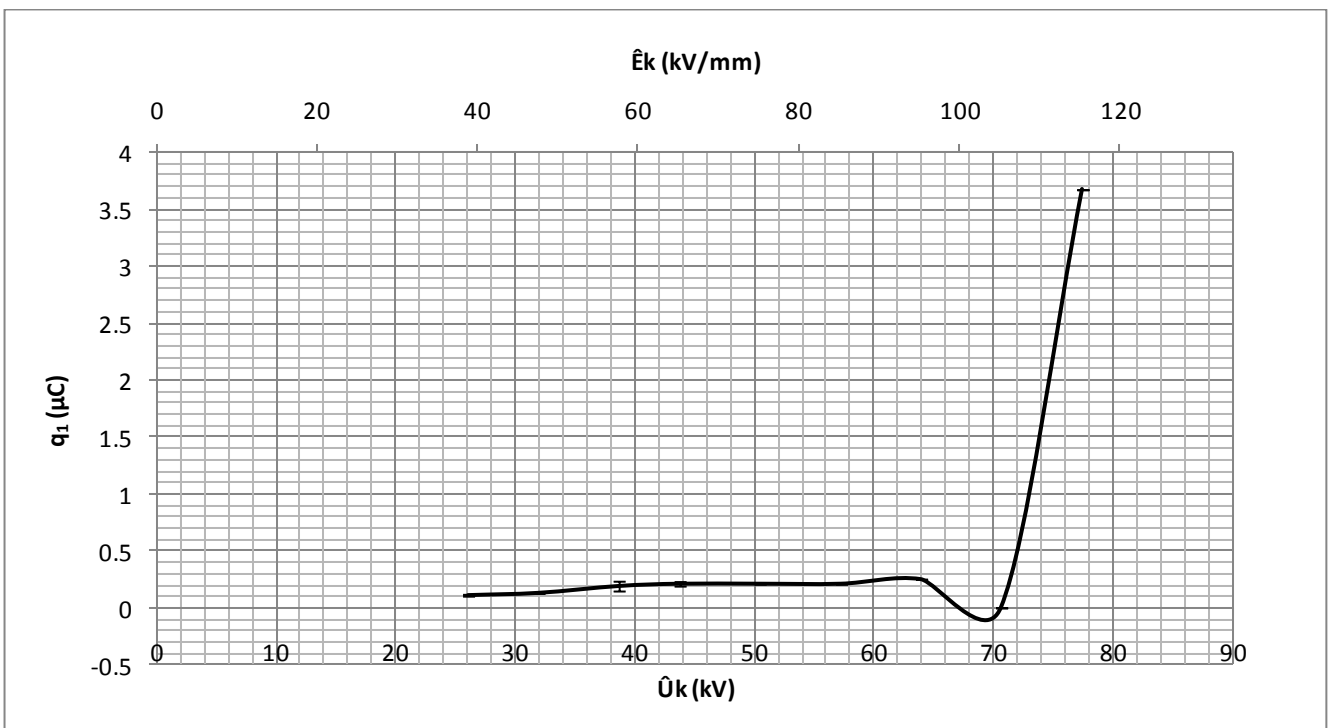
Σχήμα 3.1-13 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



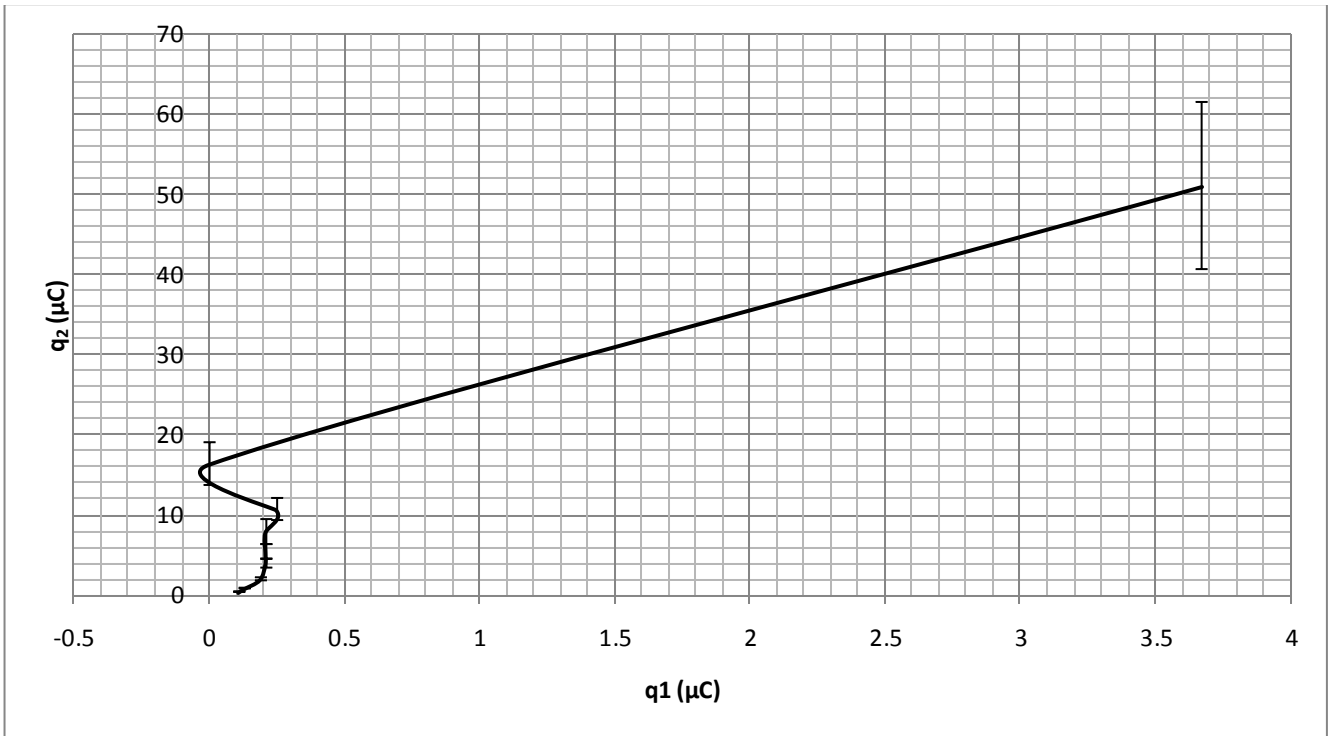
Σχήμα 3.1-14 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



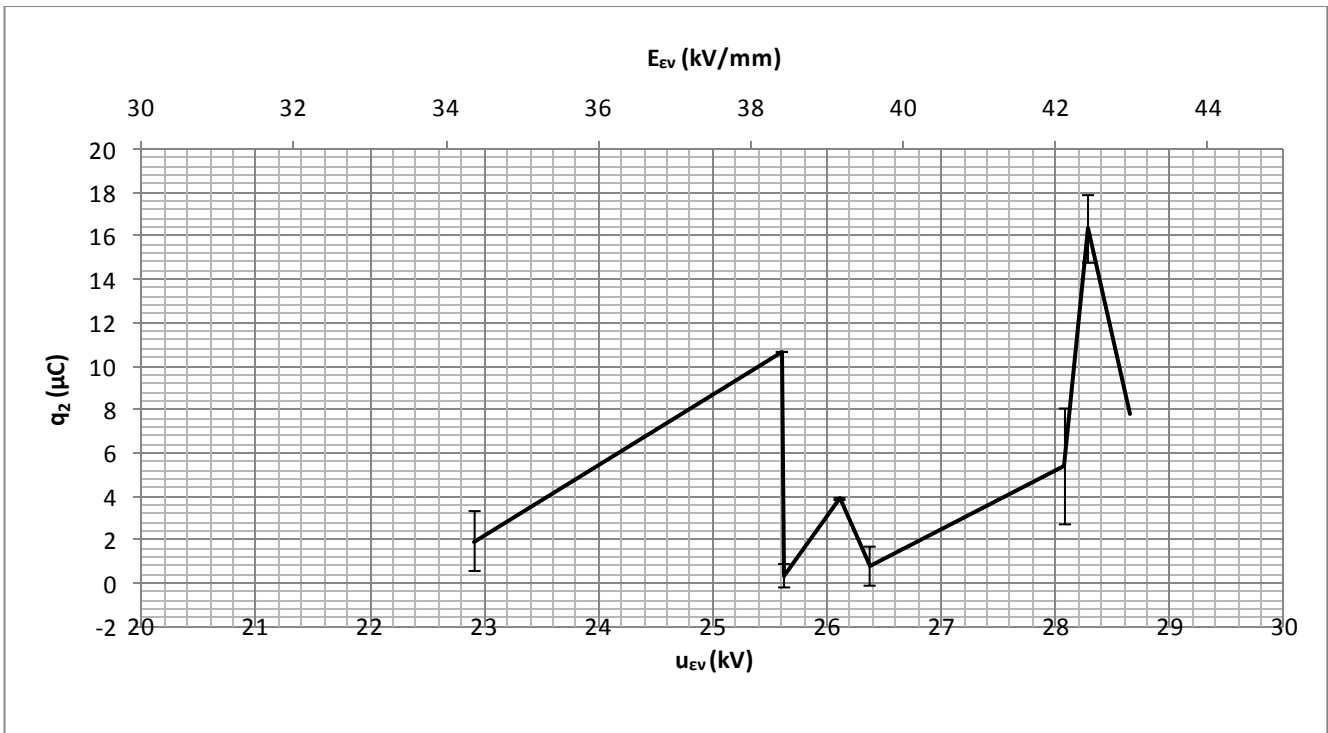
Σχήμα 3.1-15 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού ‘πεπαισμένο χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



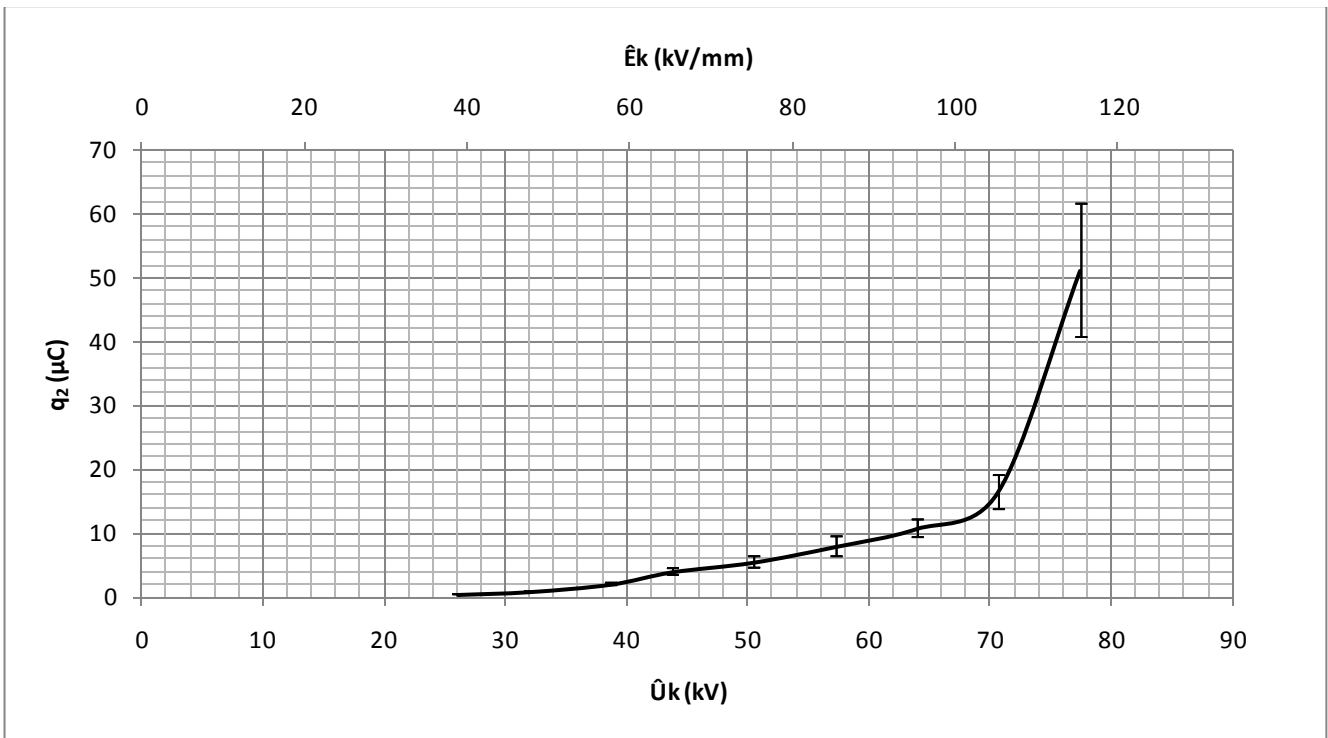
Σχήμα 3.1-16 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού ‘πεπαισμένο χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



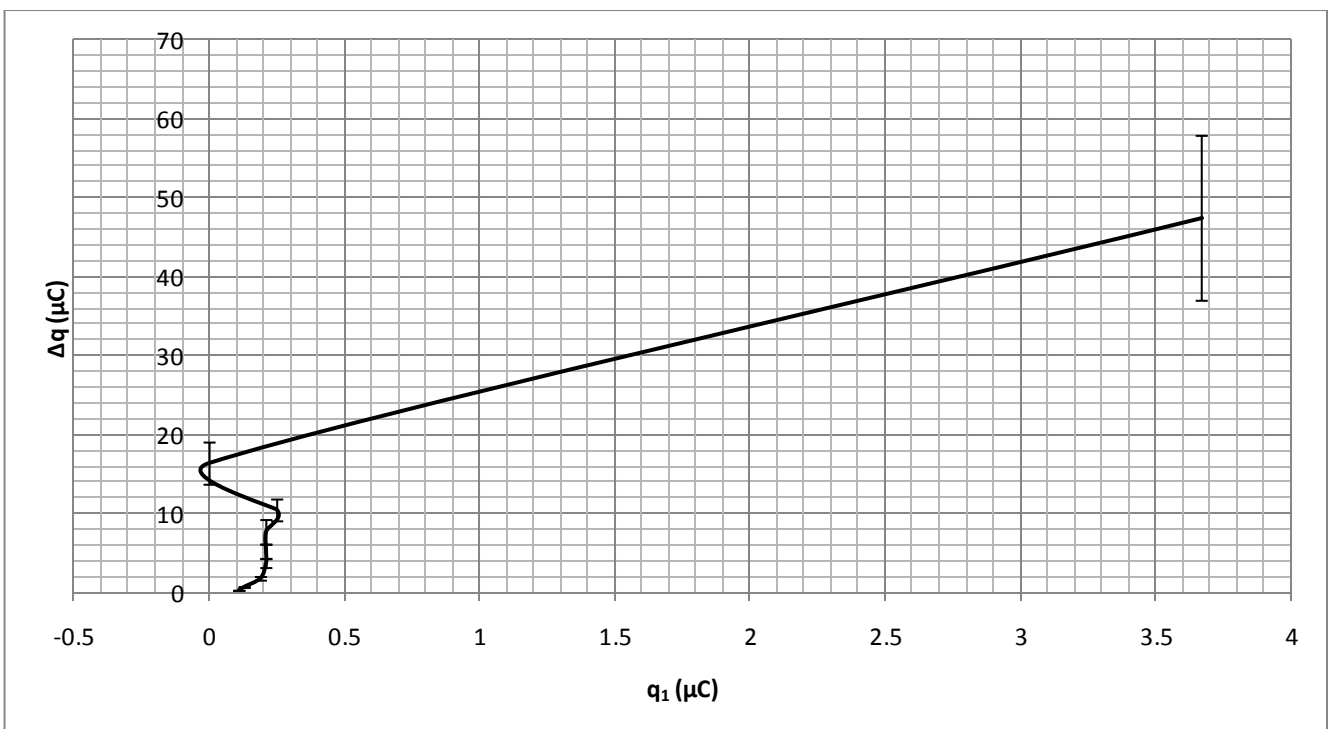
Σχήμα 3.1-17 : Χαρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



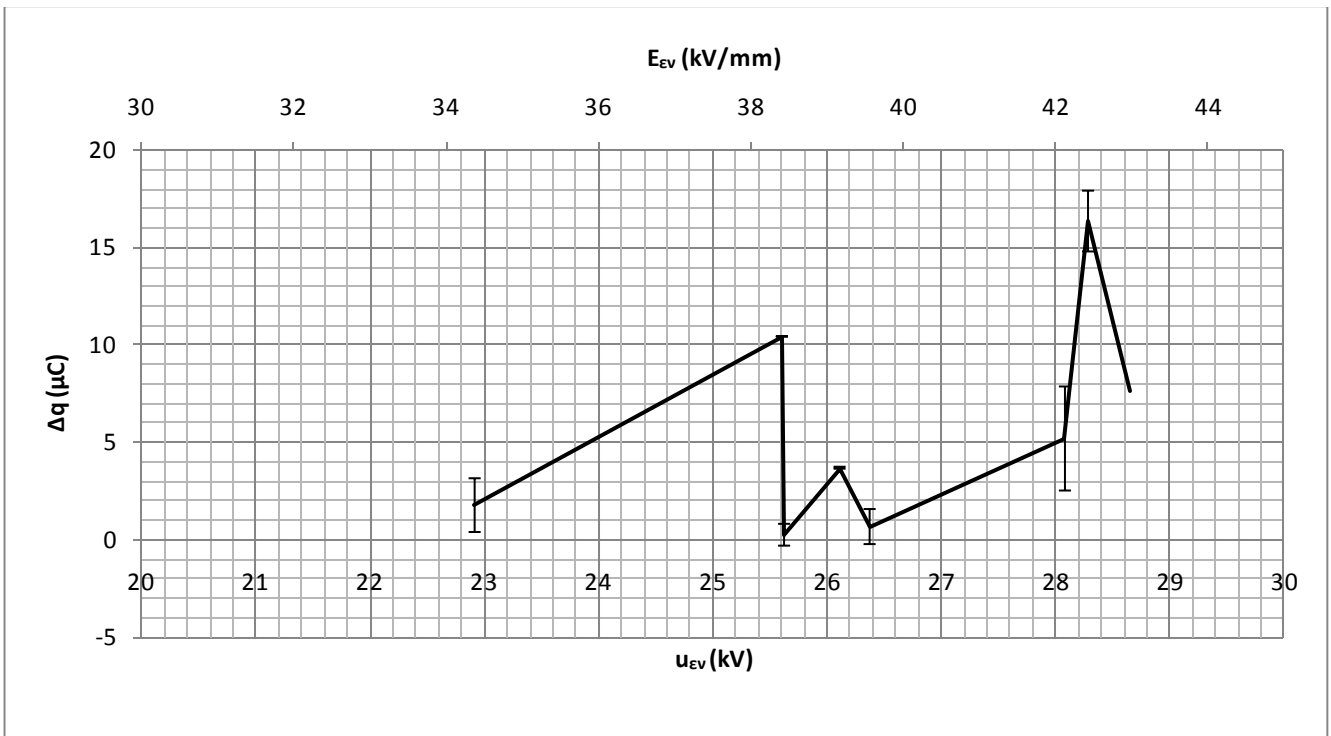
Σχήμα 3.1-18 : Χαρακτηριστική $q_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



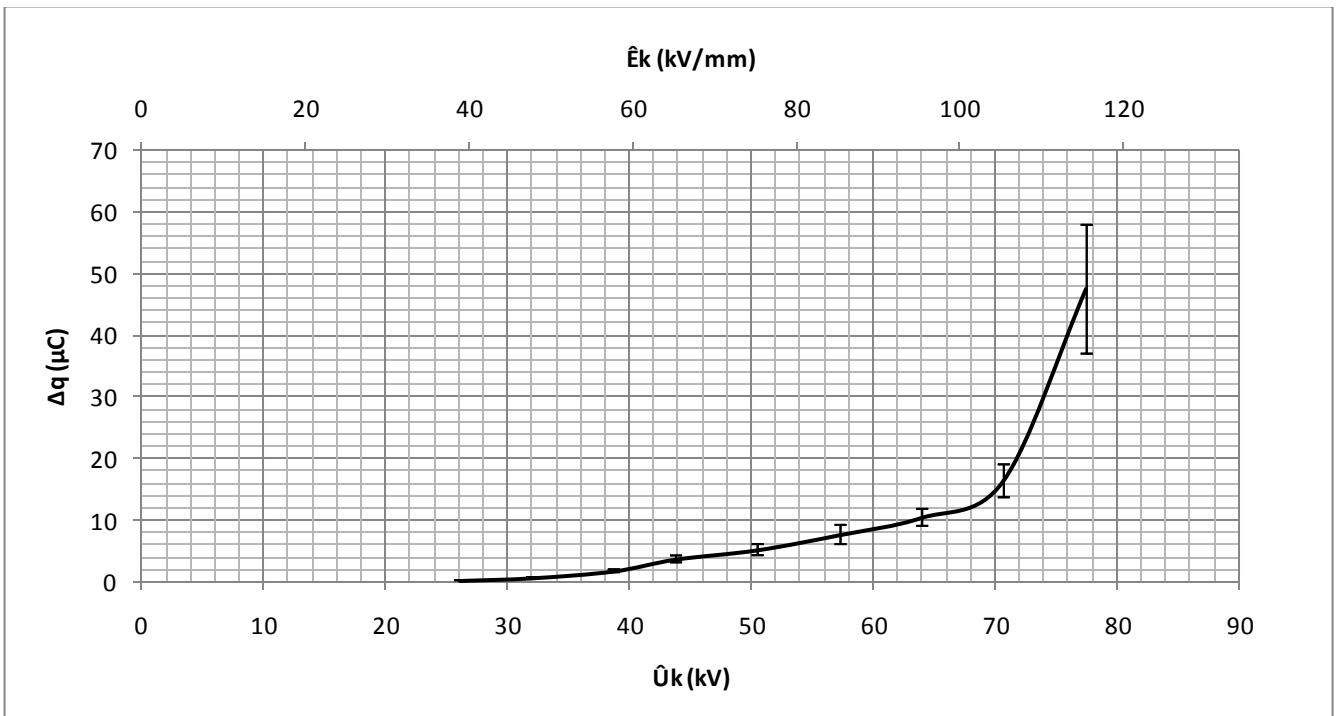
Σχήμα 3.1-19 : Χαρακτηριστική $q_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



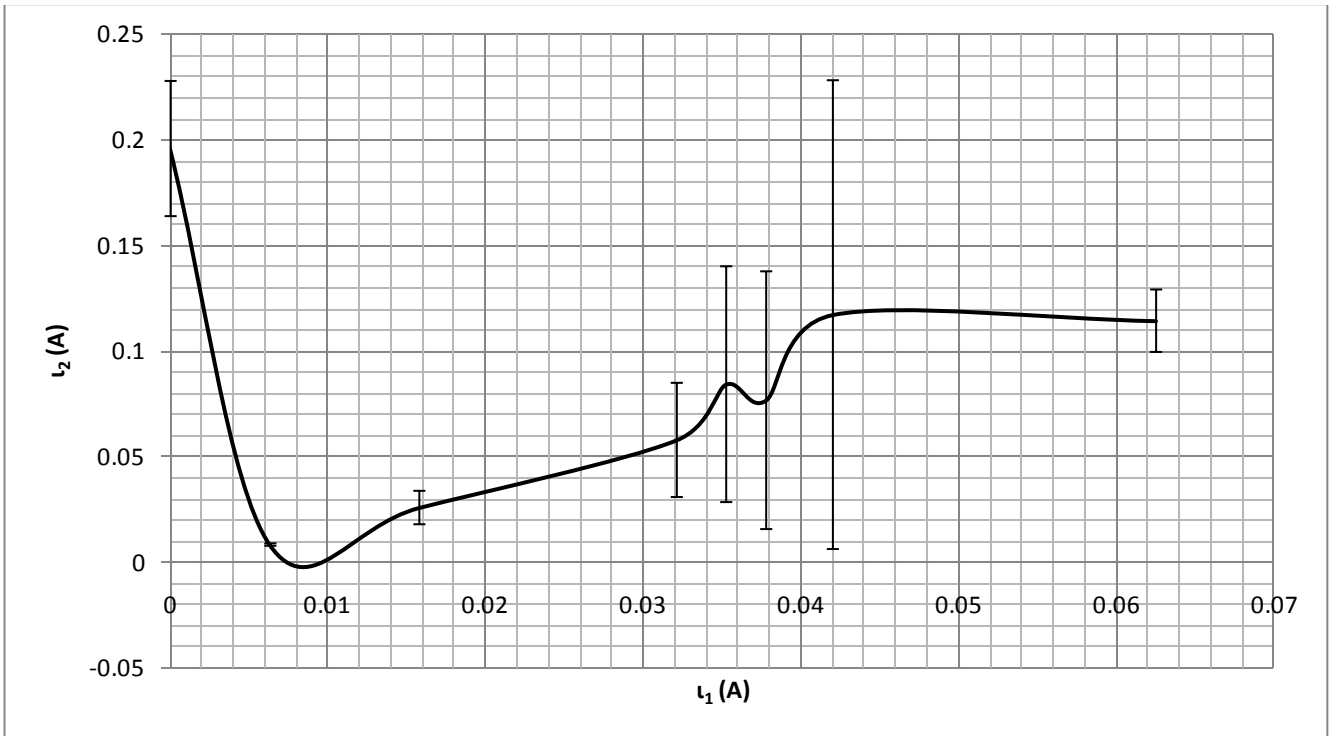
Σχήμα 3.1-20 : Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασ των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q=q_2-q_1$)
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



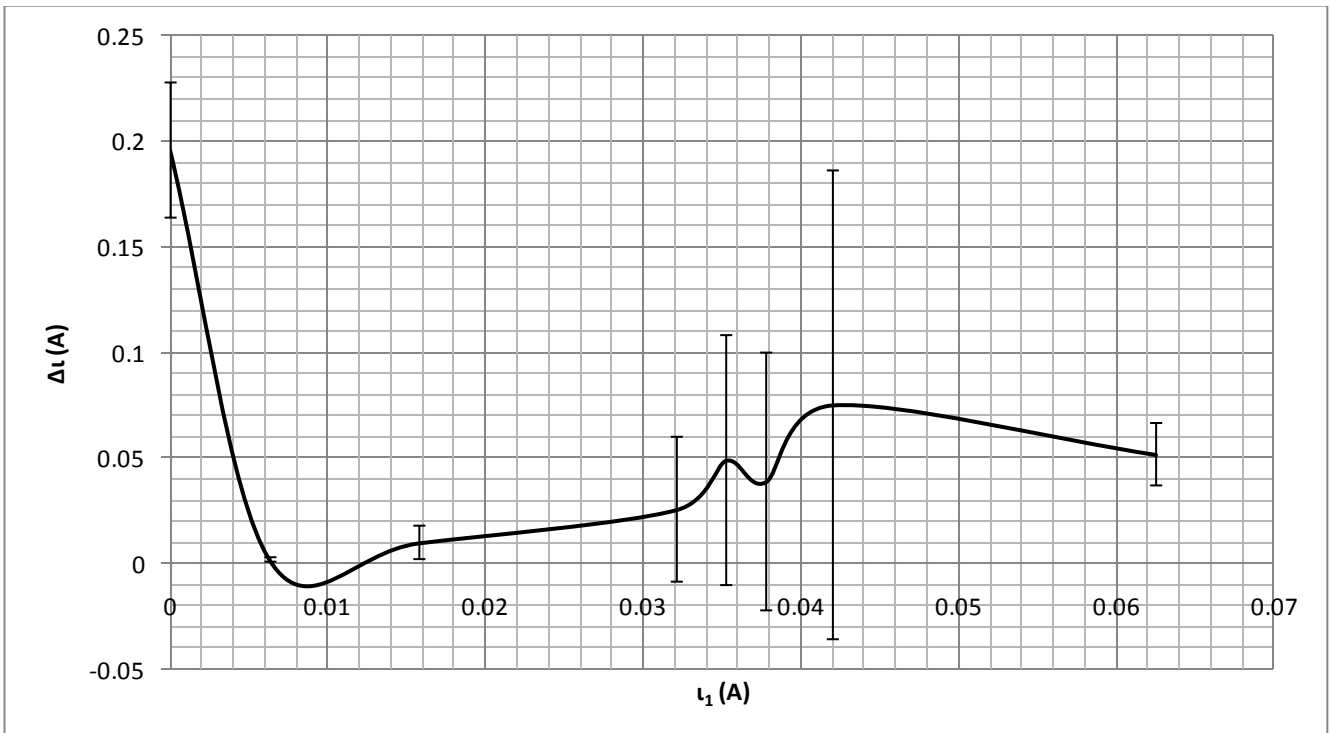
Σχήμα 3.1-21 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1\text{ mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρας των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



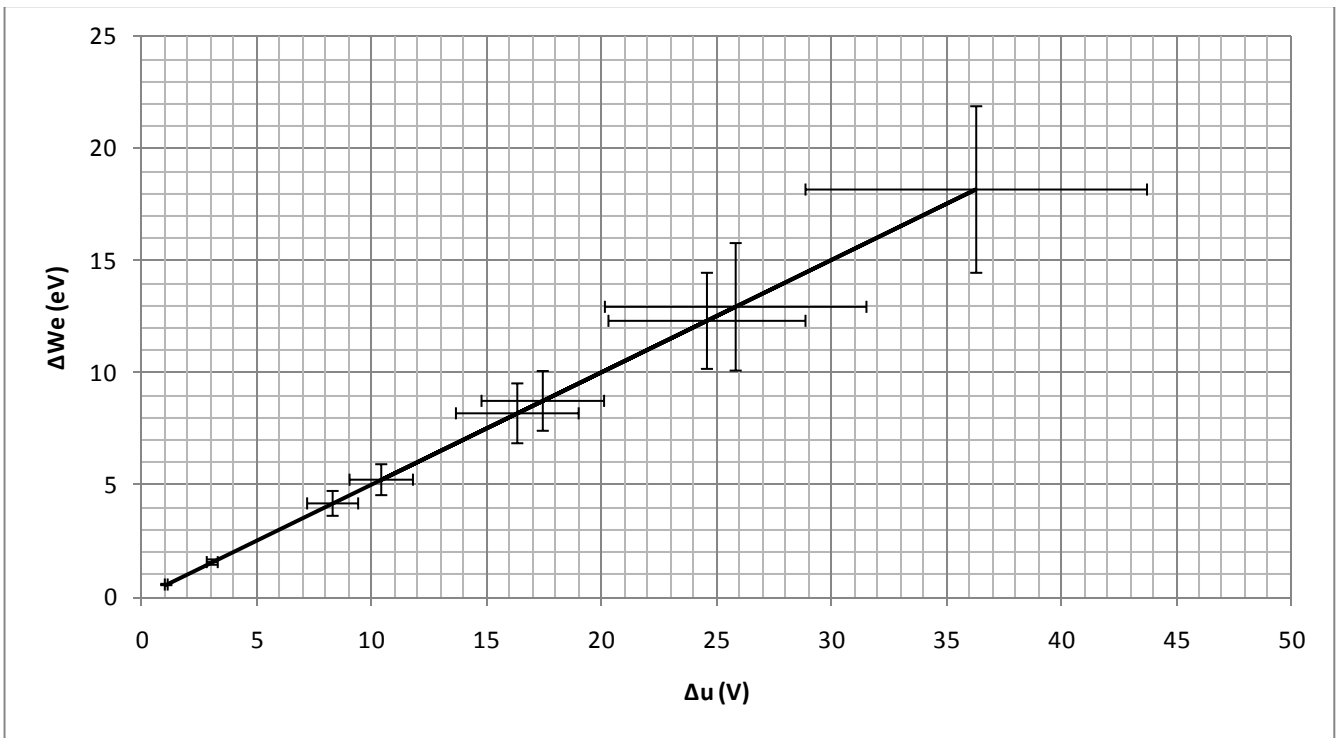
Σχήμα 3.1-22 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1\text{ mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρας των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



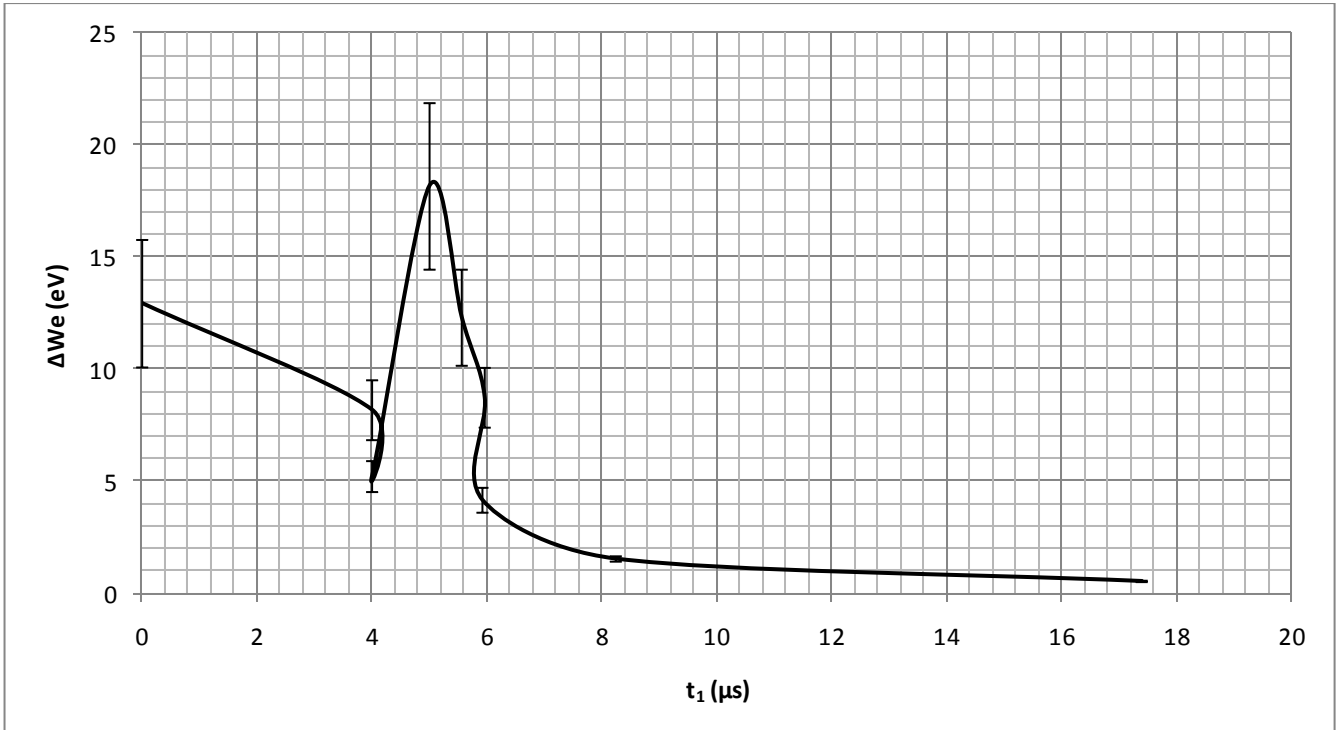
Σχήμα 3.1-23 : Χαρακτηριστική $i_2=f(i_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 i_2 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 i_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



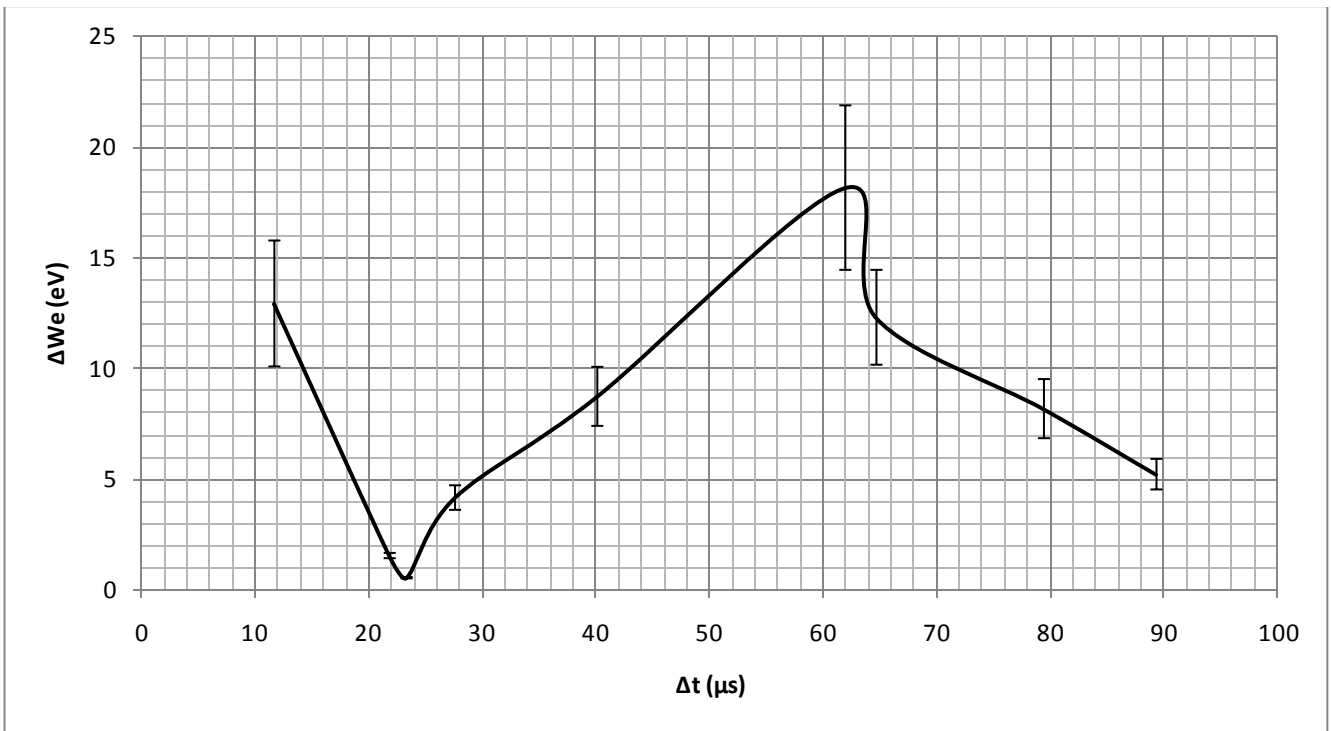
Σχήμα 3.1-24 : Χαρακτηριστική $\Delta i=f(i_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δi : Η διαφορά της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ και την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta i=f(i_1)$)
 i_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



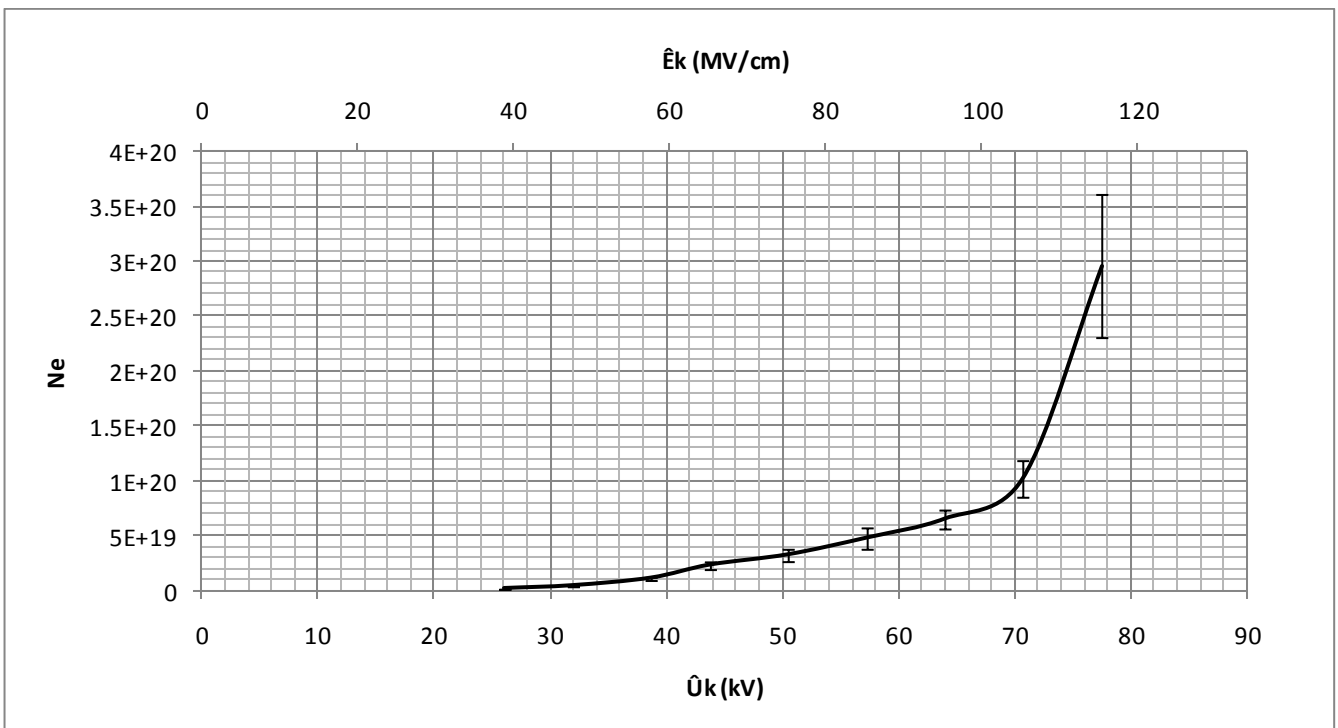
Σχήμα 3.1-25 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta u)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της u_0 κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



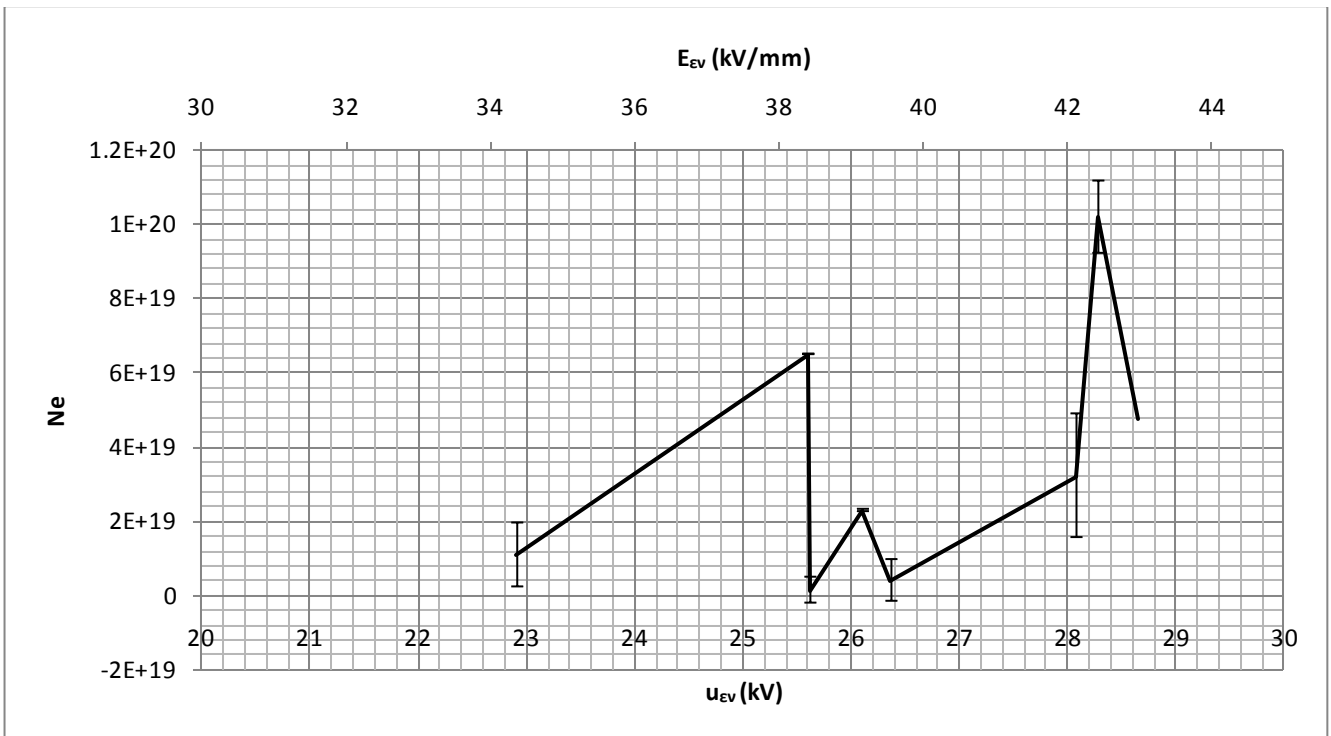
Σχήμα 3.1-26 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



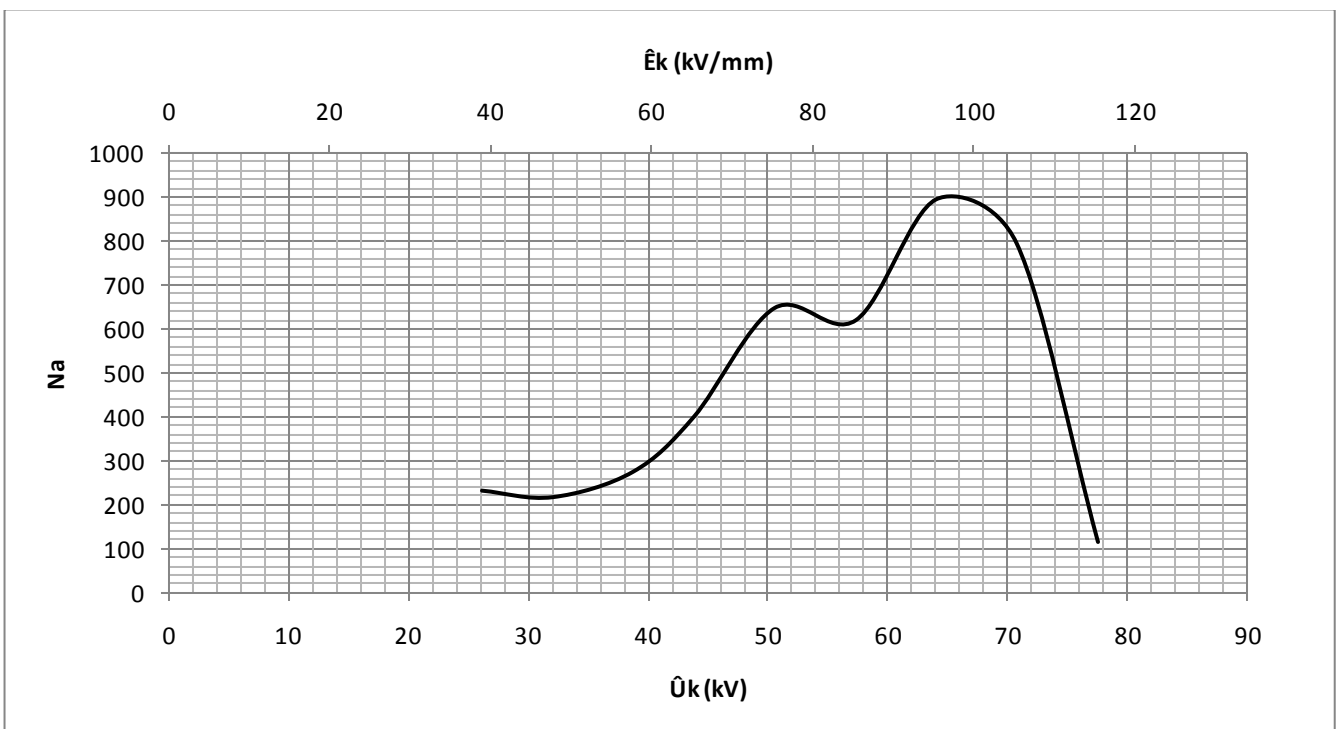
Σχήμα 3.1-27 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta t)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



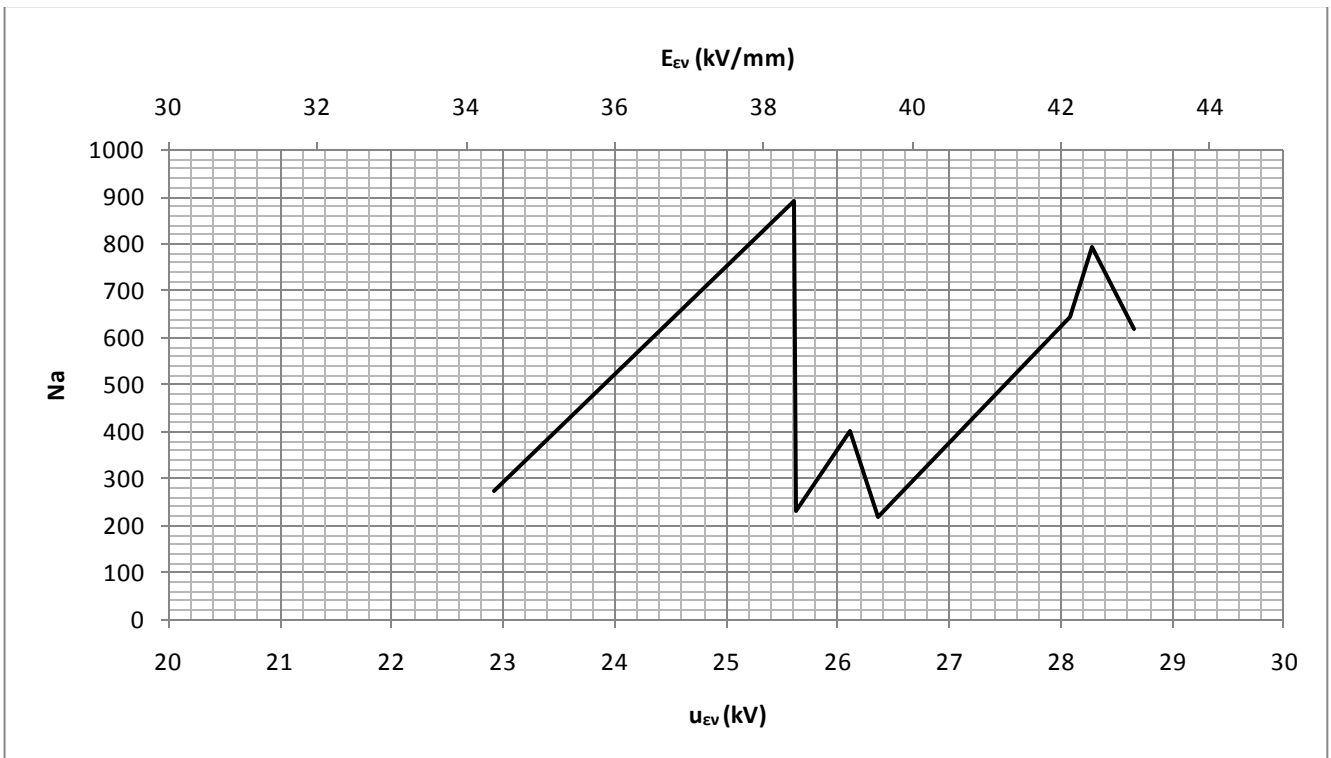
Σχήμα 3.1-28 : Χαρακτηριστική $N_e = f(U_0, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 U_0 : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_0
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.1-29 : Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 u_{ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}
 \pm : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.1-30 : Χαρακτηριστική $N_a = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 \pm : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.1-31 : Χαρακτηριστική $N_a = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1\text{ mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}

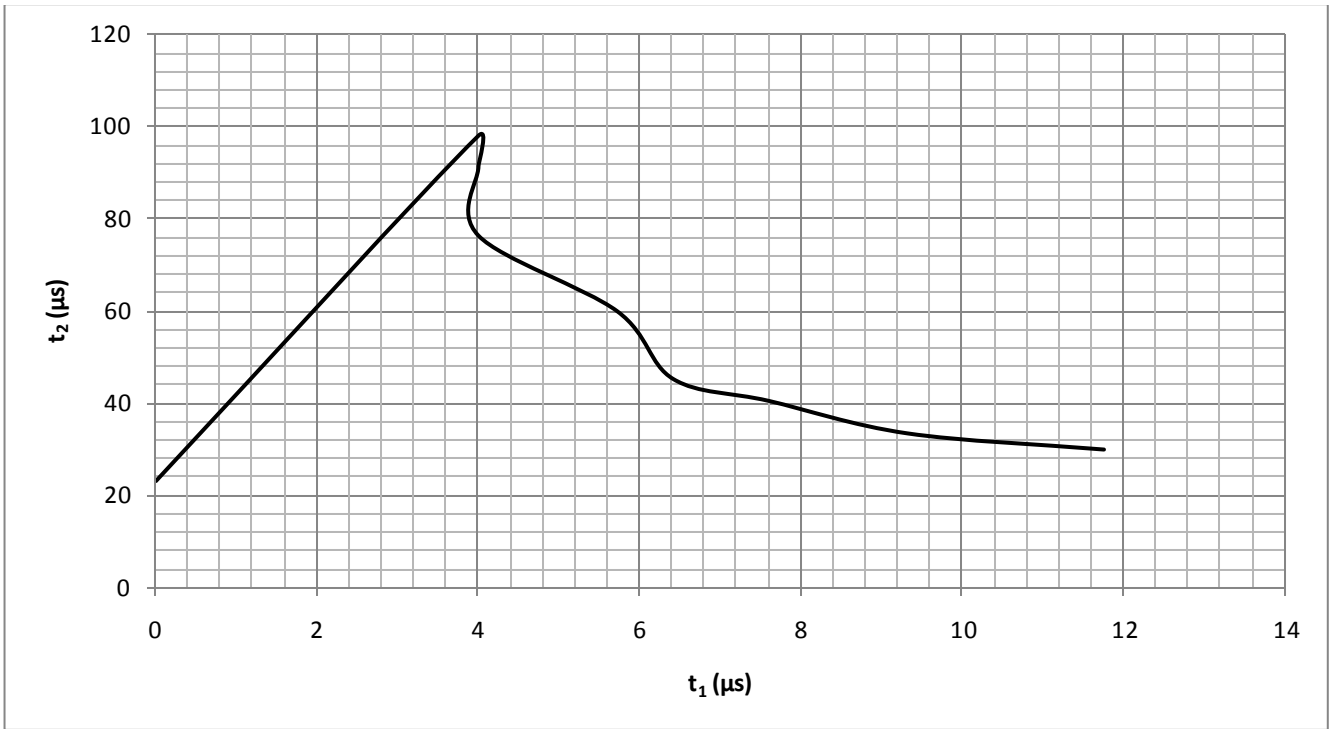
3.2. Κρουστική τάση -10/200 μs για διάκενο $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

\dot{U}_k (kV)	\dot{E}_k (kV/mm)	C_m (nF)	U_1 (V)	U_2 (V)	Δu (V)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	Δt (μs)	q_1 (μC)	q_2 (μC)
26.900	40.075	210.000	0.524	1.476	0.952	11.760	29.840	18.080	0.110	0.310
33.700	50.205	210.000	0.619	4.190	3.571	9.320	33.360	24.040	0.130	0.880
40.400	60.187	210.000	1.000	9.952	8.952	7.600	40.430	32.830	0.210	2.090
47.100	70.168	210.000	1.000	22.286	21.286	6.420	45.140	38.720	0.210	4.680
52.200	77.766	210.000	2.000	34.952	32.952	5.720	59.940	54.220	0.420	7.340
60.600	90.280	210.000	2.000	42.048	40.048	4.000	76.360	72.360	0.420	8.830
67.400	100.410	1000.000	0.500	9.670	9.170	4.000	91.410	87.410	0.500	9.670
70.400	104.880	1000.000	0.000	14.510	14.510	4.000	98.090	94.090	0.000	14.510
79.100	117.841	1835.000	3.401	25.003	21.602	0.000	23.000	23.000	6.241	45.881

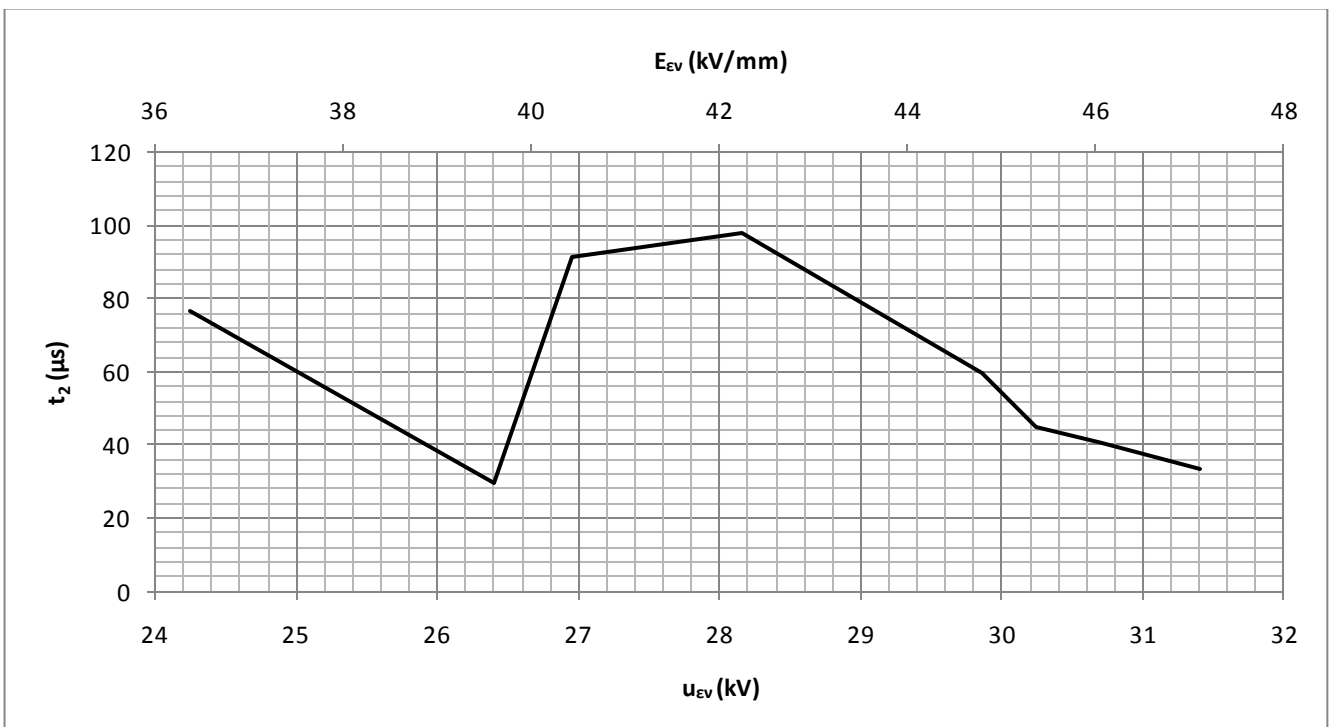
\dot{U}_k (kV)	Δq (μC)	i_1 (A)	i_2 (A)	Δi (A)	u_{ev} (kV)	E_{ev} (kV/mm)	ΔWe (eV)	Ne	Na
26.900	0.200	0.009	0.010	0.001	26.404	39.337	0.476	1.25E+18	181
33.700	0.750	0.014	0.026	0.012	31.408	46.791	1.786	4.68E+18	240
40.400	1.880	0.028	0.052	0.024	30.704	45.742	4.476	1.17E+19	328
47.100	4.470	0.033	0.104	0.071	30.238	45.048	10.643	2.79E+19	387
52.200	6.920	0.073	0.122	0.049	29.858	44.482	16.476	4.32E+19	542
60.600	8.410	0.105	0.116	0.011	24.240	36.112	20.024	5.25E+19	724
67.400	9.170	0.125	0.106	-0.019	26.960	40.164	4.585	5.72E+19	874
70.400	14.510	0.000	0.148	0.148	28.160	41.952	7.255	9.06E+19	941
79.100	39.640	0.000	1.995	0.000	0.000	0.000	10.801	2.47E+20	230

Πίνακας 3.2-1: Στατιστική ανάλυση των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στα σχήματα 2-1, 2-2, 2-3 και στις σχέσεις 2-1 έως 2-8 για κρουστική τάση -10/200, $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

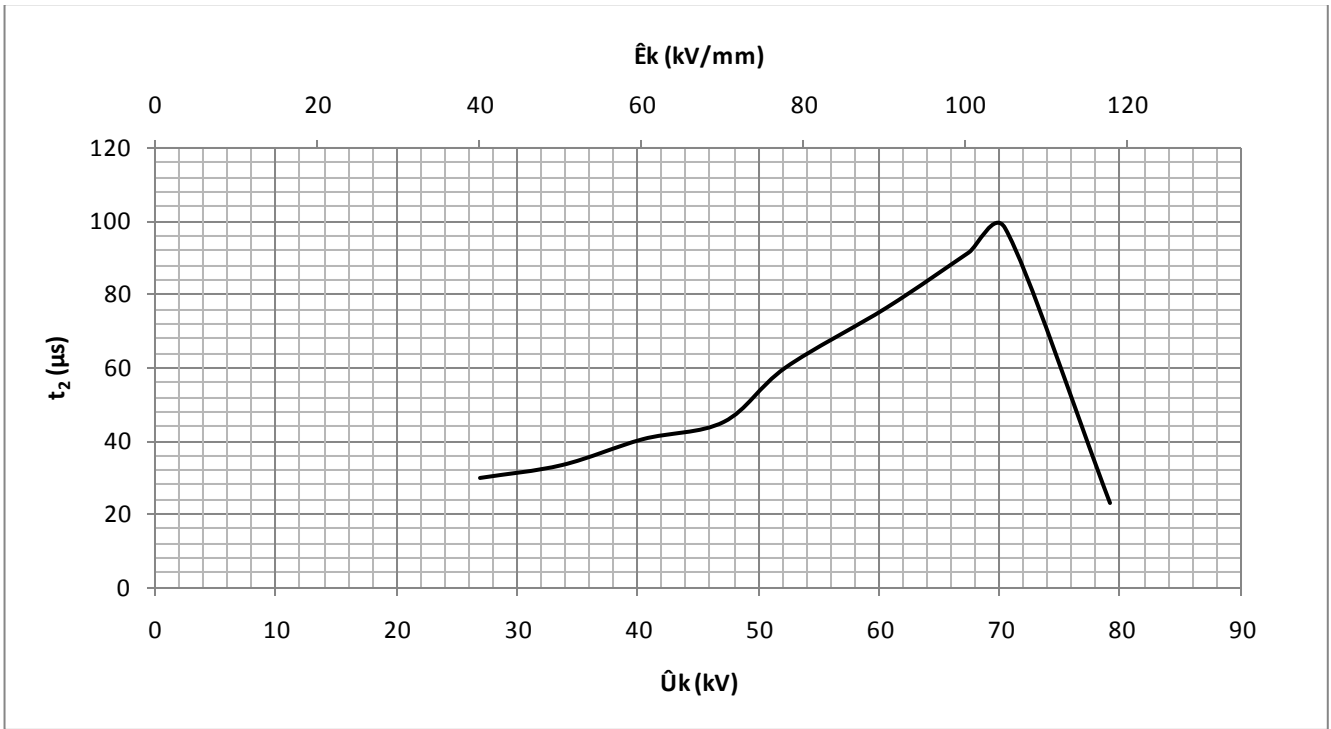
\dot{U}_k	Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
\dot{E}_k	Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \dot{U}_k
C_m	Πυκνωτής μέτρησης
u_1	Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
u_2	Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δu	$u_2 - u_1$
q_1	Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
q_2	Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δq	$q_2 - q_1$
t_1	Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
t_2	Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δt	$t_2 - t_1$
i_1	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
i_2	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δi	$i_2 - i_1$
u_{ev}	Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
E_{ev}	Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}
ΔWe	Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Ne	Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
Na	Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



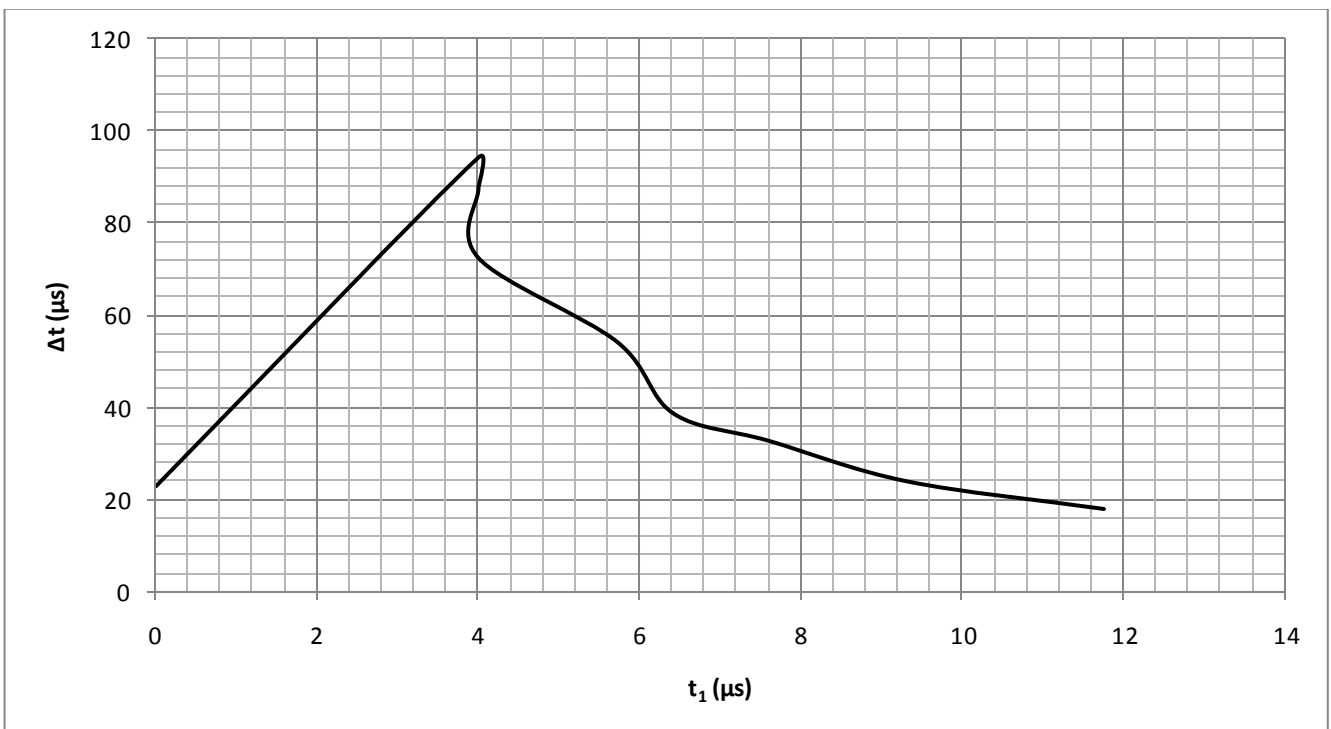
Σχήμα 3.2-1 : Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



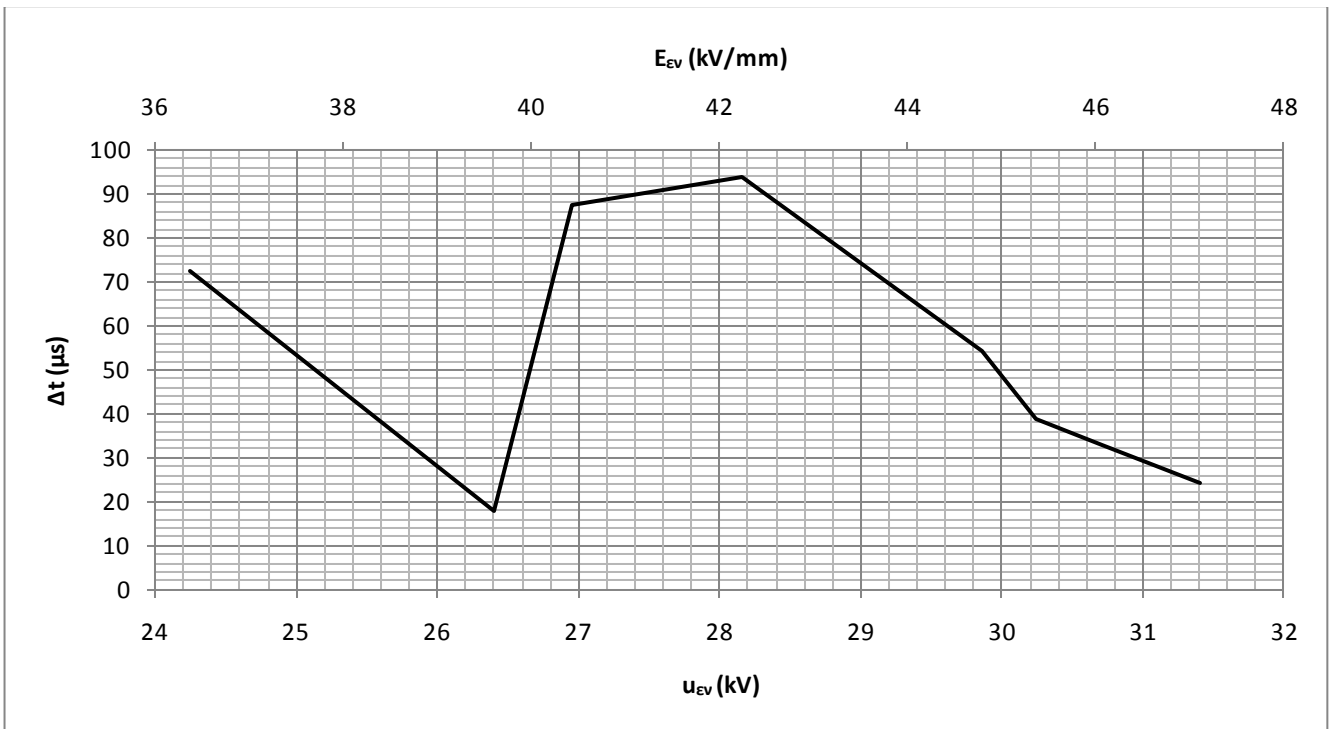
Σχήμα 3.2-2 : Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}



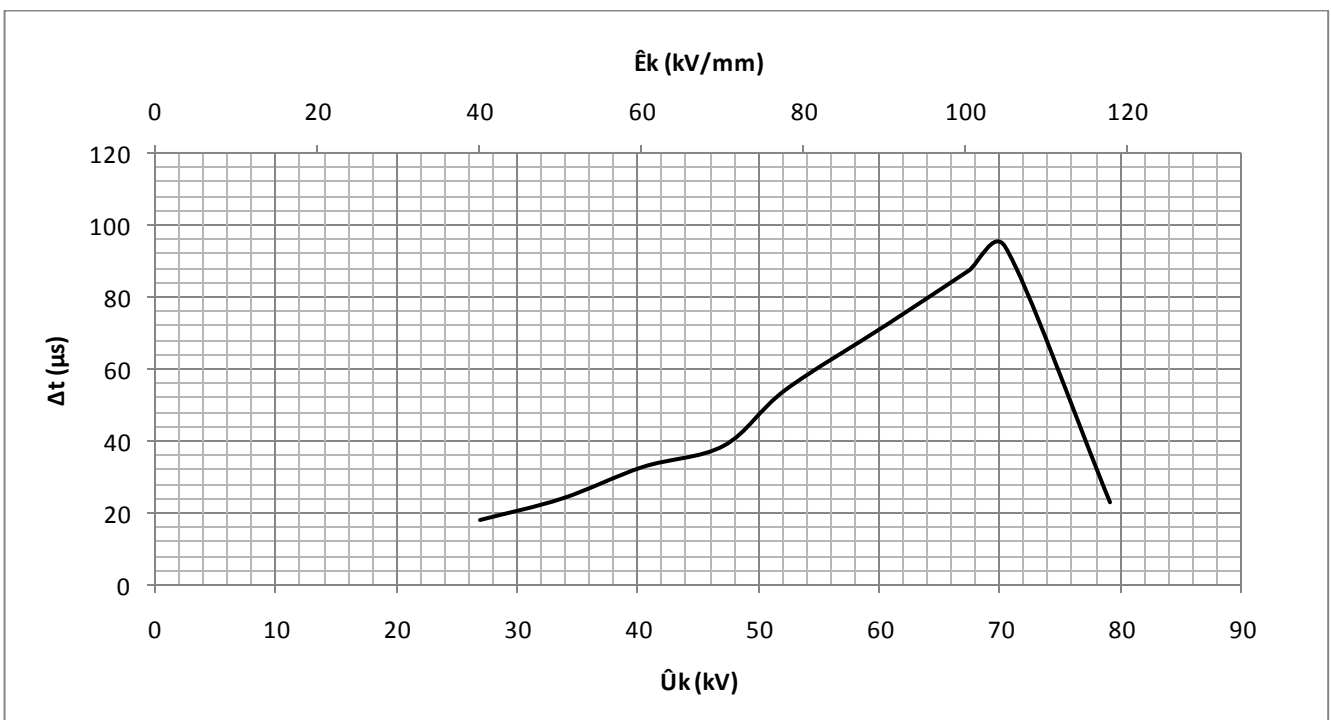
Σχήμα 3.2-3 : Χαρακτηριστική $t_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu$ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k



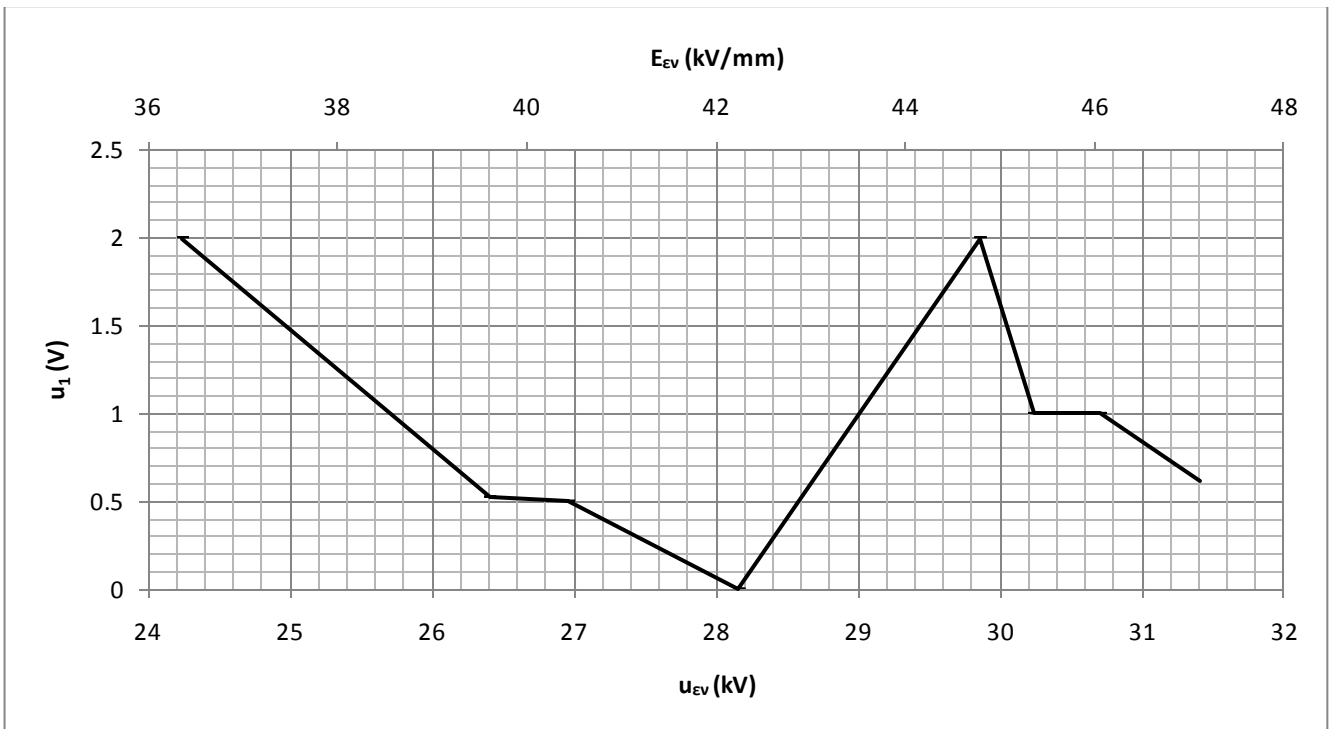
Σχήμα 3.2-4 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu$ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



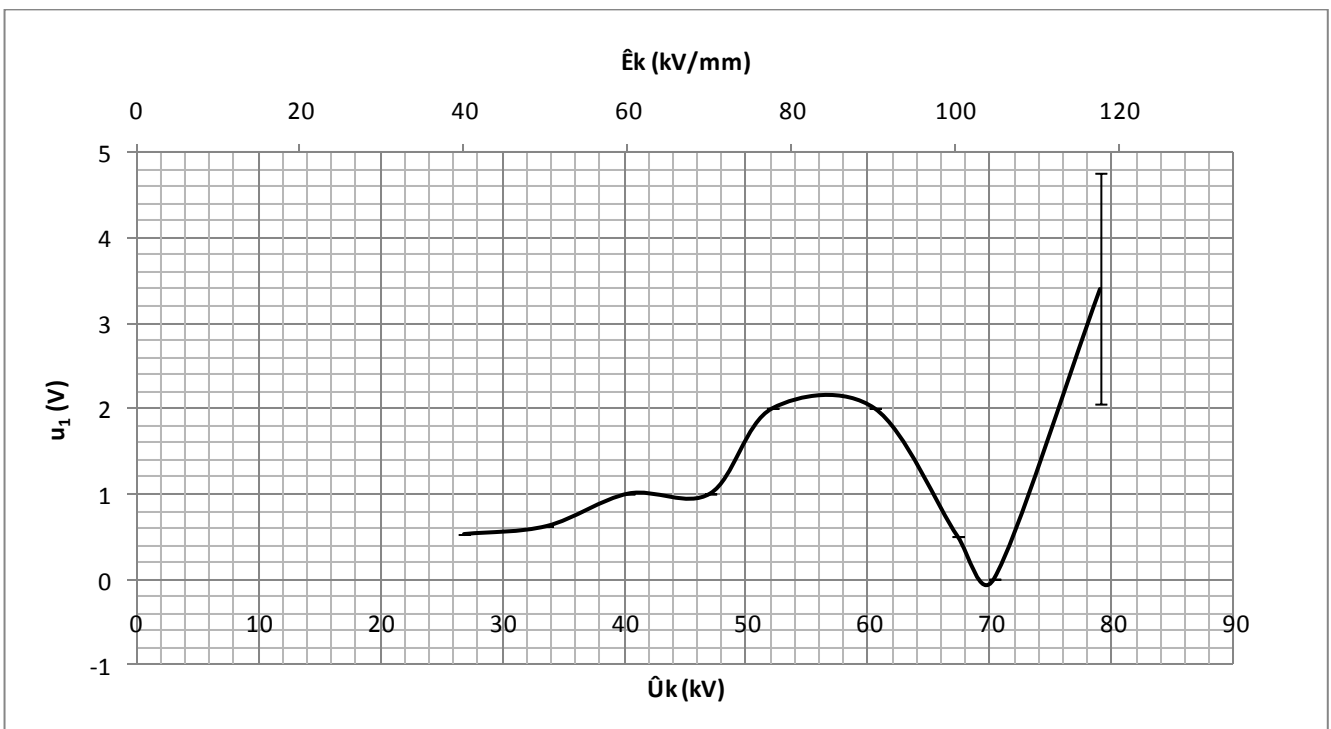
Σχήμα 3.2-5 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασμα μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



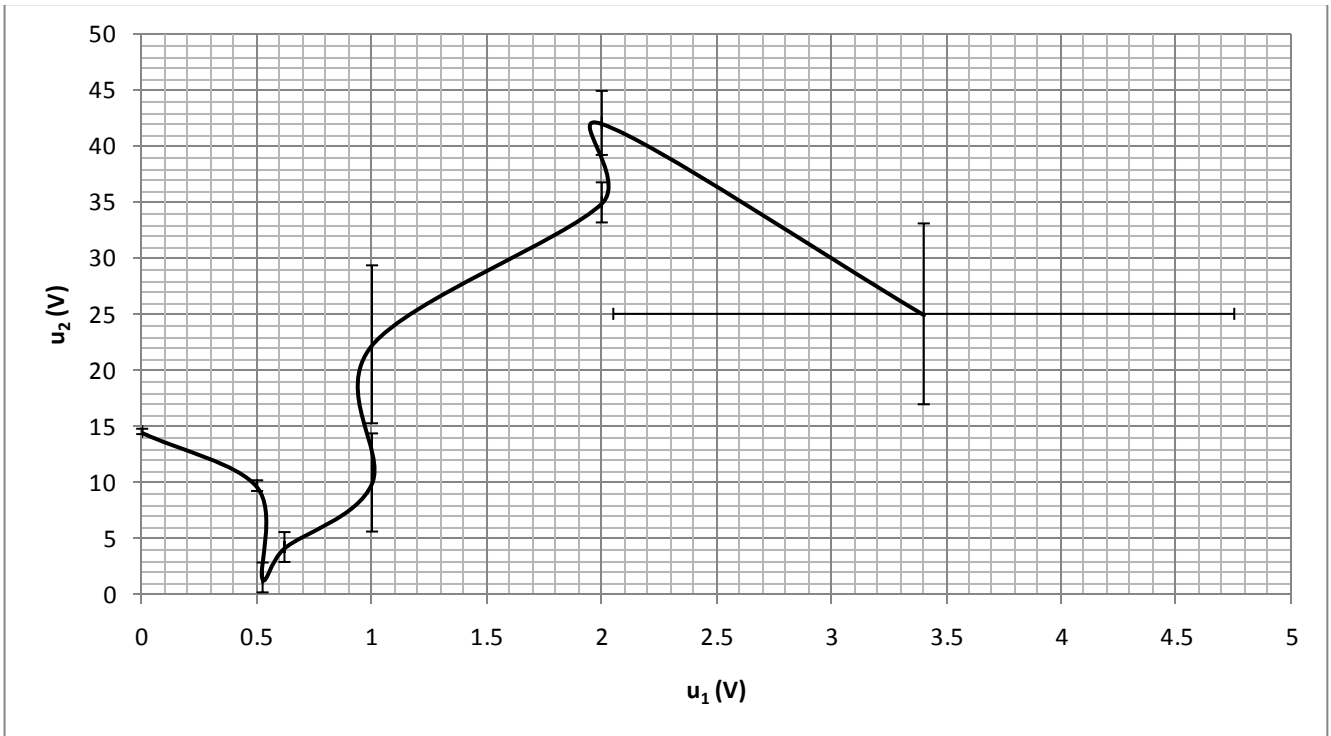
Σχήμα 3.2-6 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(U_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασμα μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k



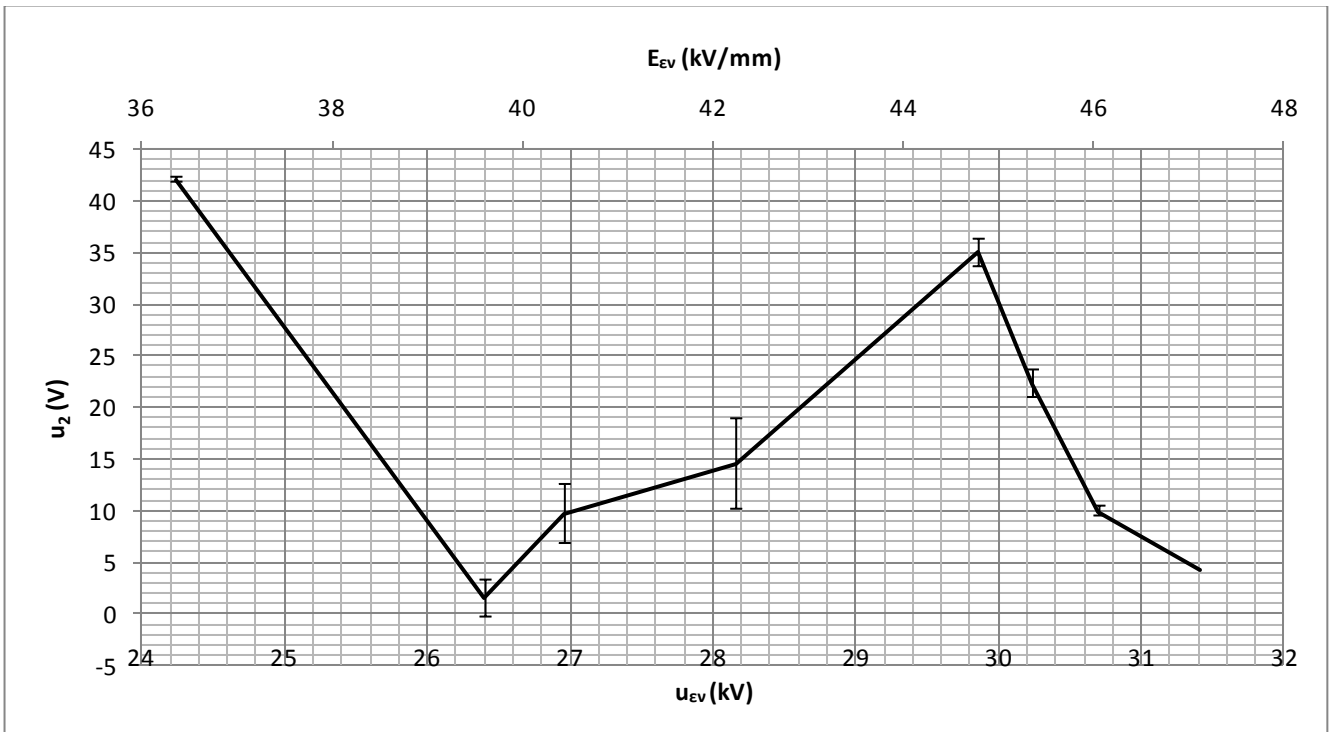
Σχήμα 3.2-7 : Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 u_1 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



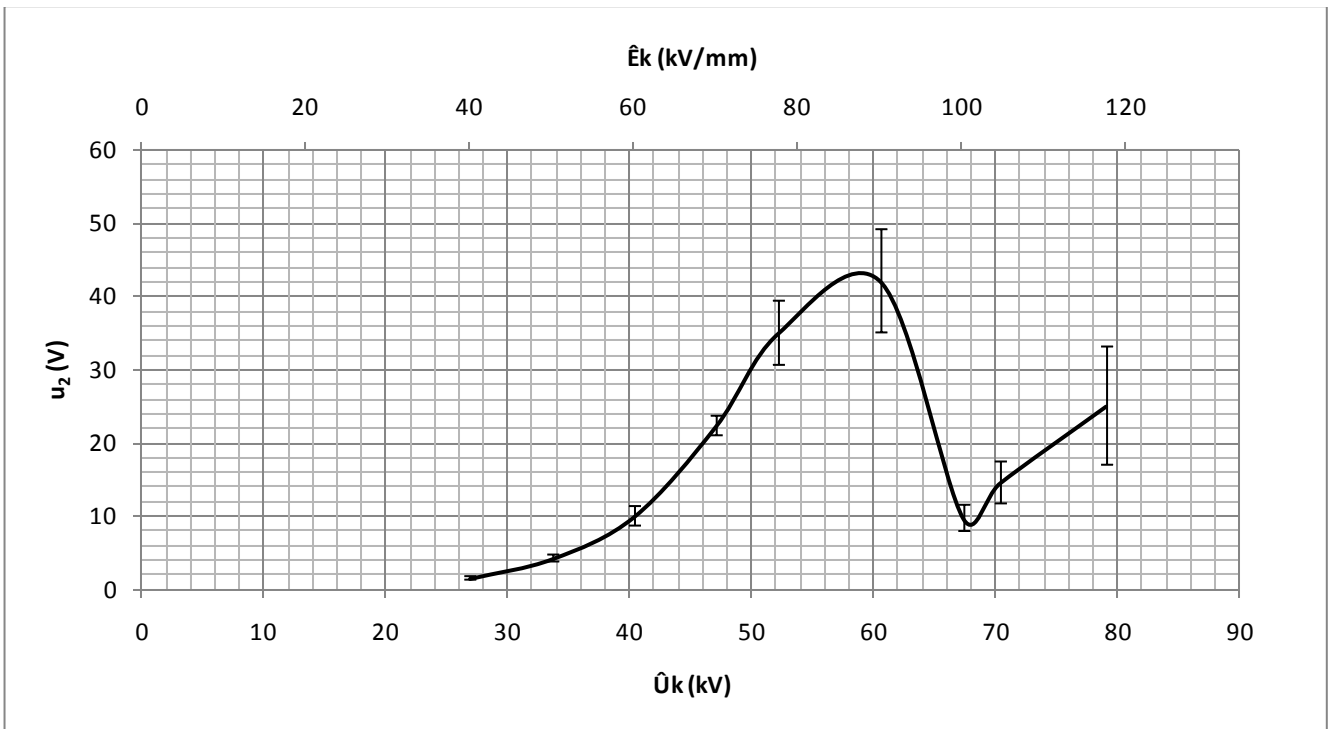
Σχήμα 3.2-8 : Χαρακτηριστική $u_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 u_1 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



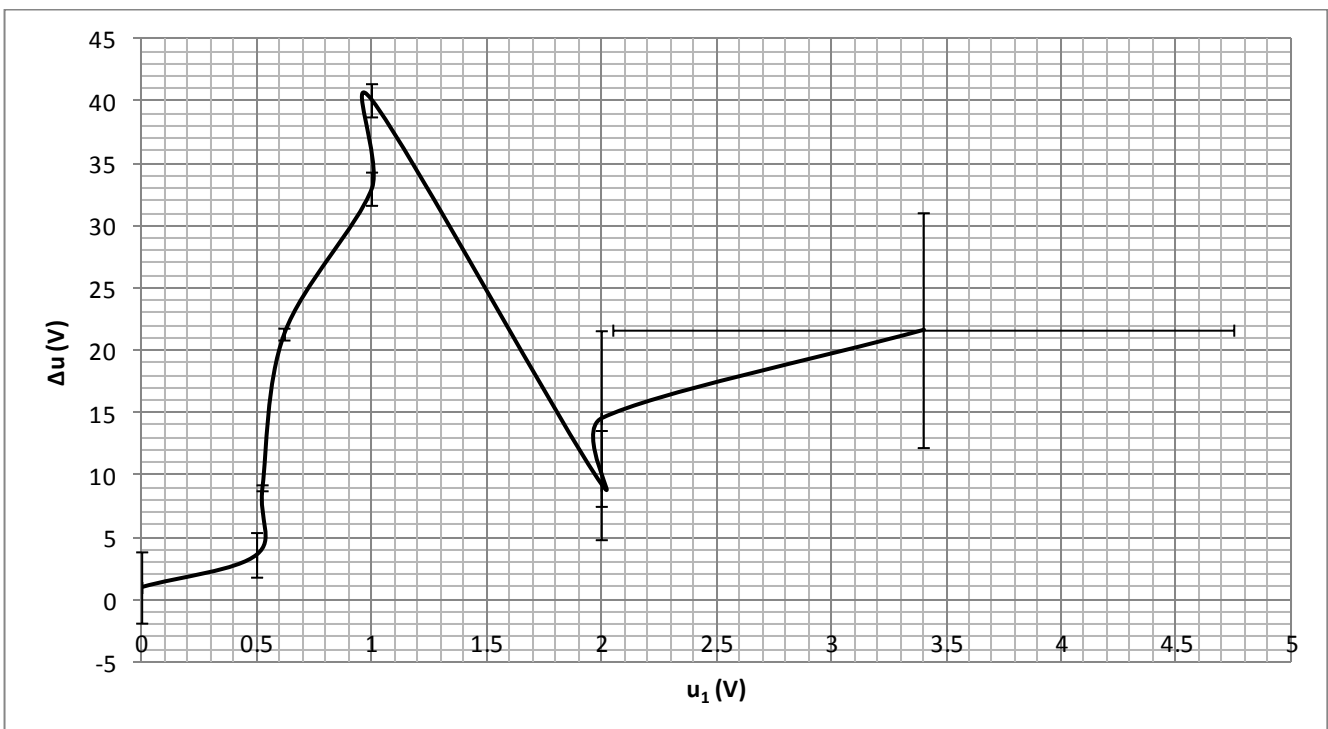
Σχήμα 3.2-9 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση -10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



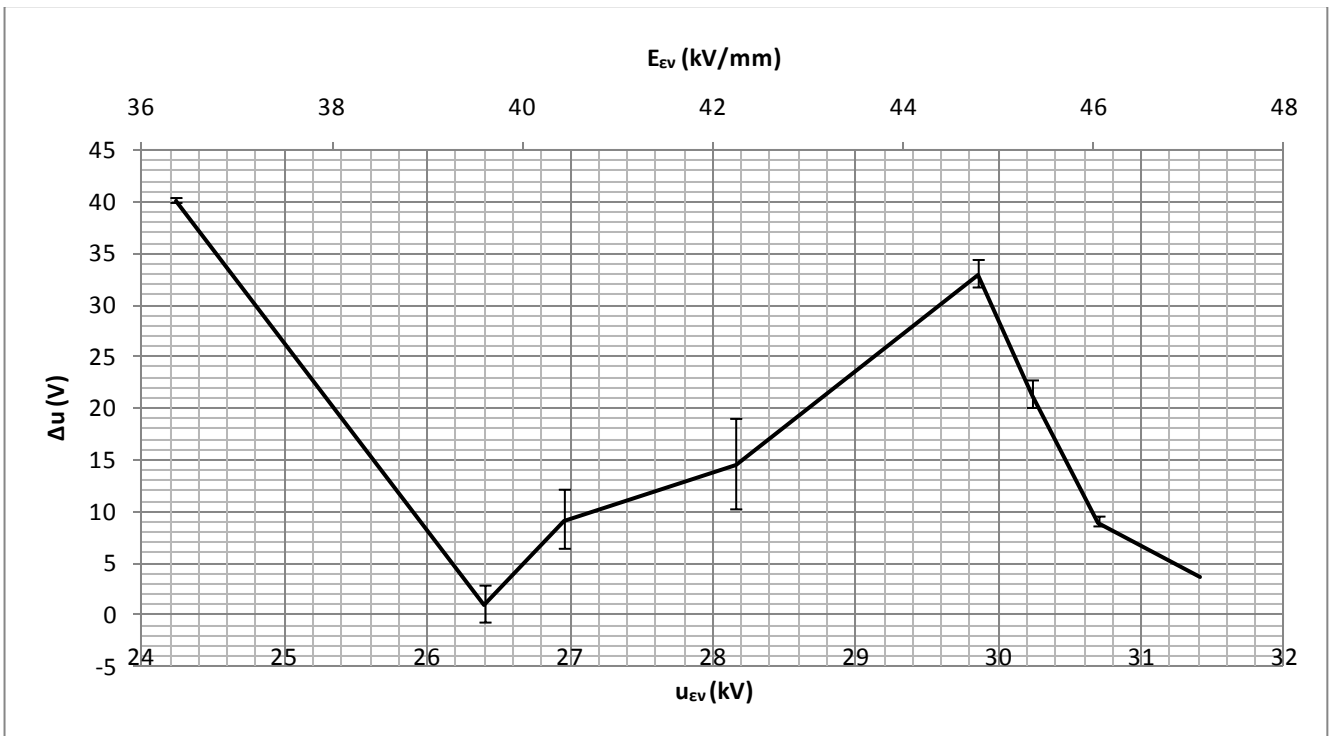
Σχήμα 3.2-10 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση -10/200 μ s, $d=1$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



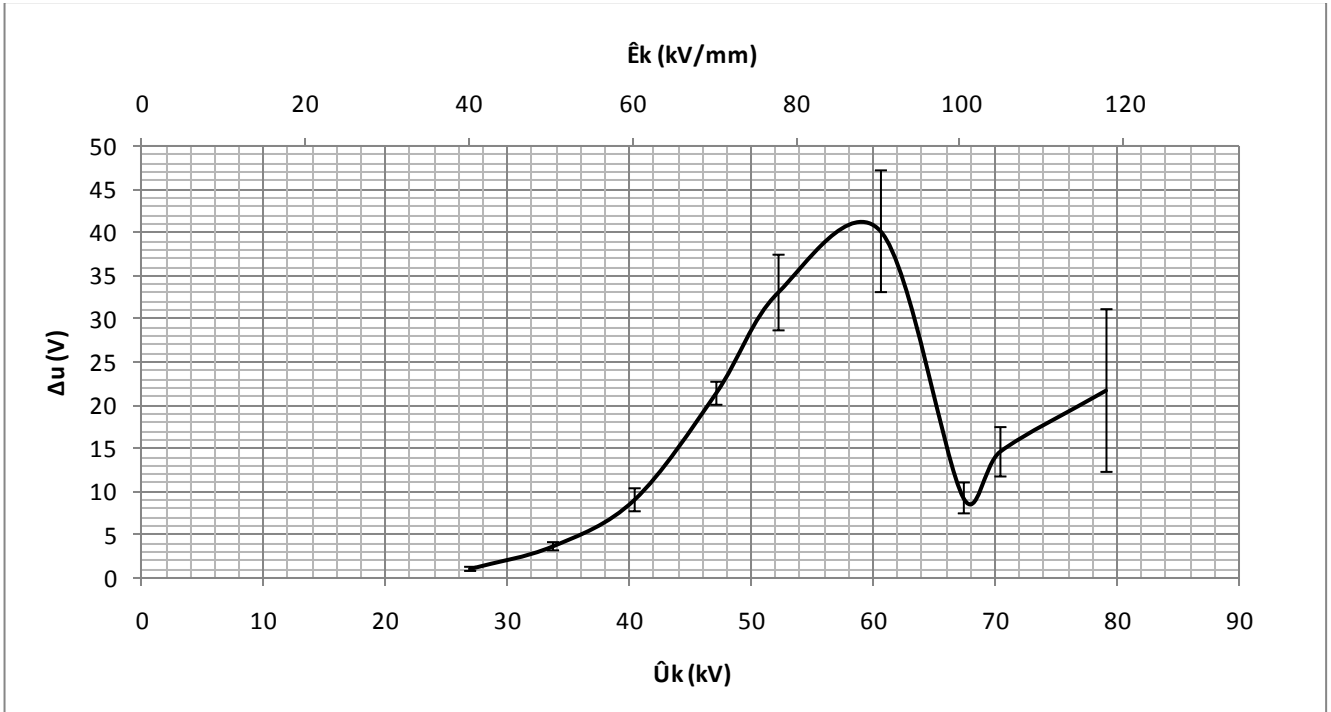
Σχήμα 3.2-11 : Χαρακτηριστική $u_2 = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



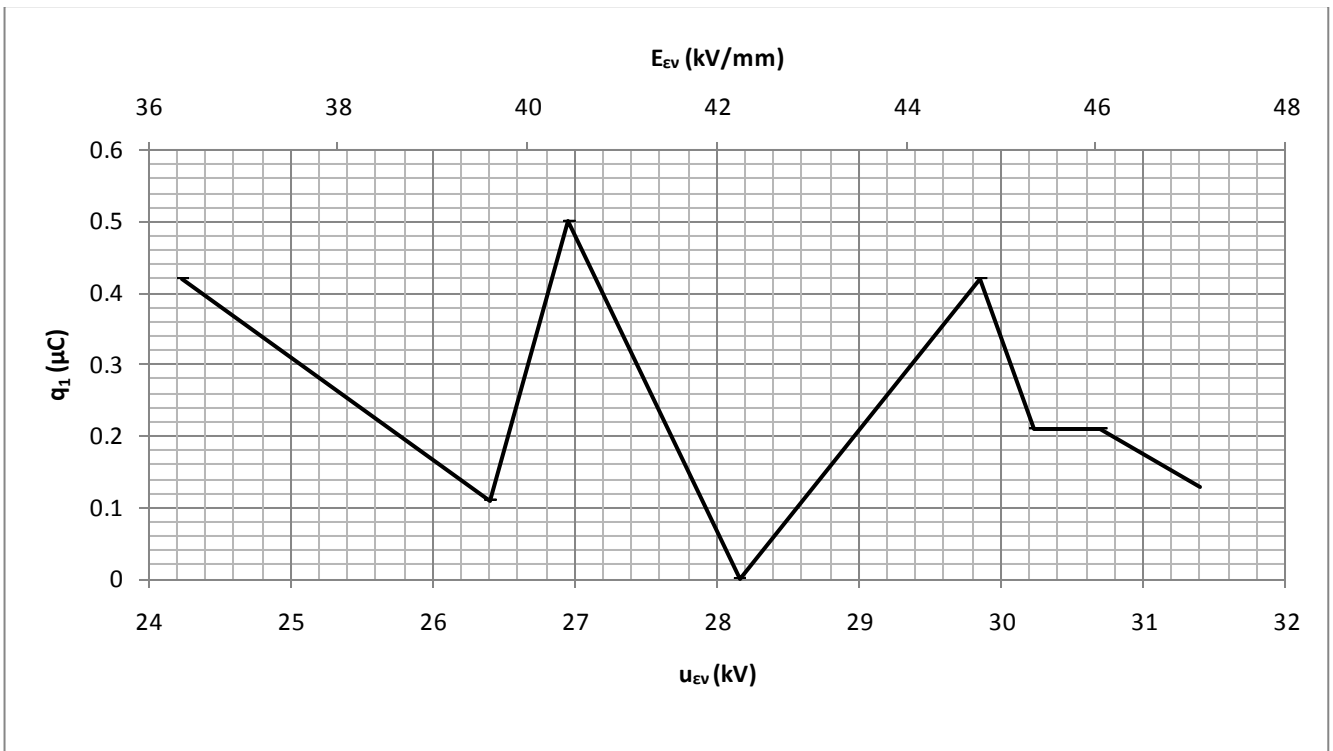
Σχήμα 3.2-12 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(u_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 u_1 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



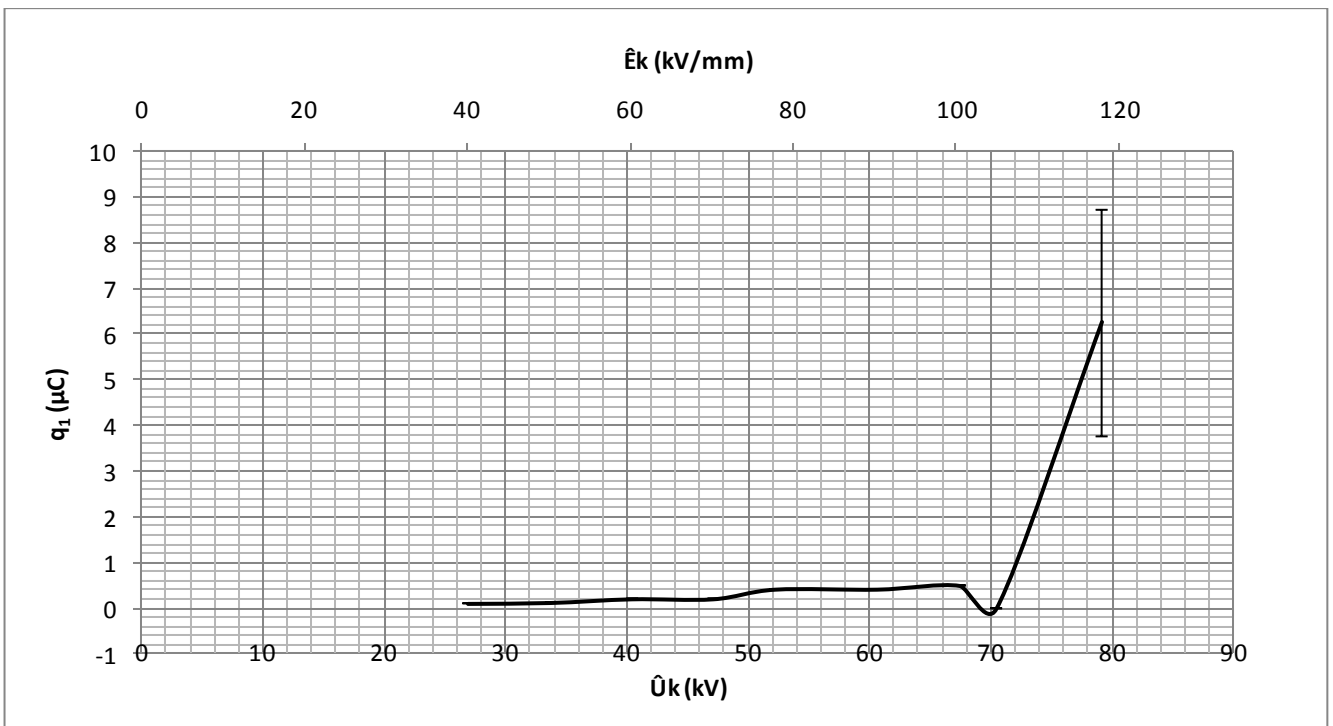
Σχήμα 3.2-13 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s, d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



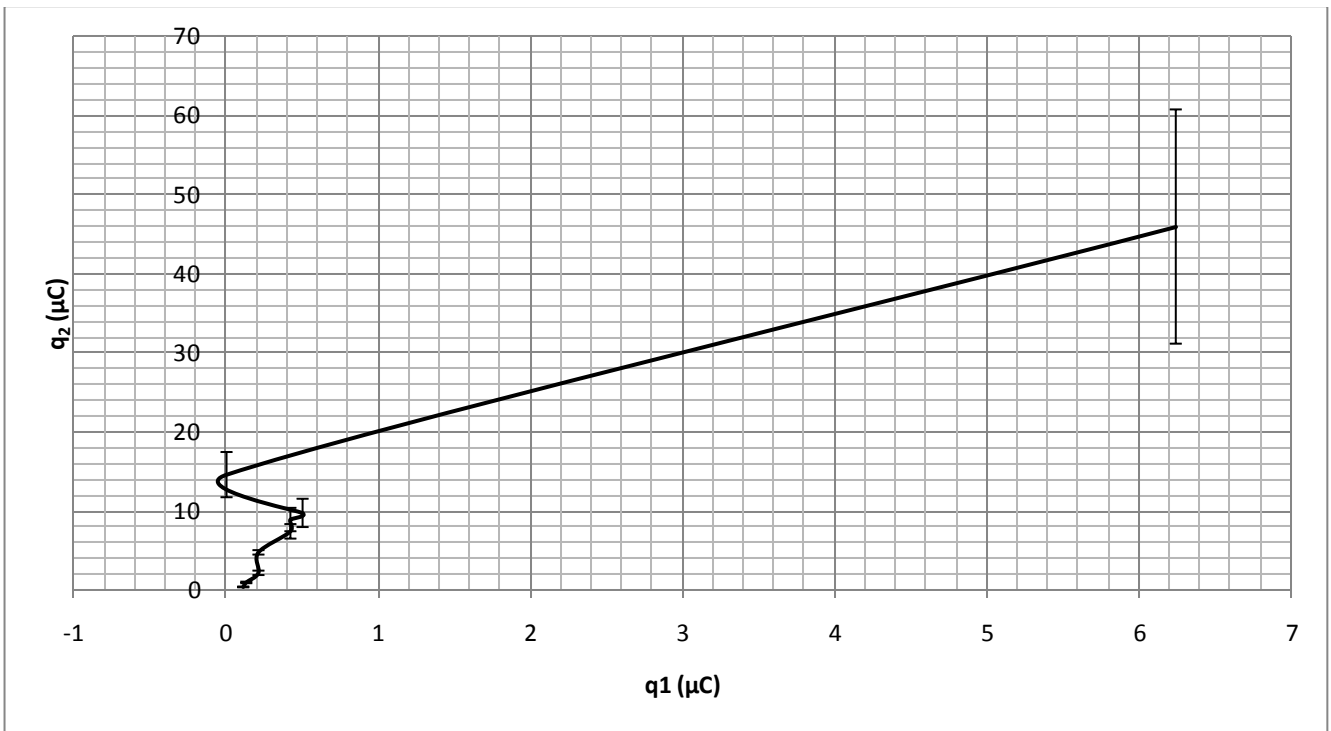
Σχήμα 3.2-14 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s, d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



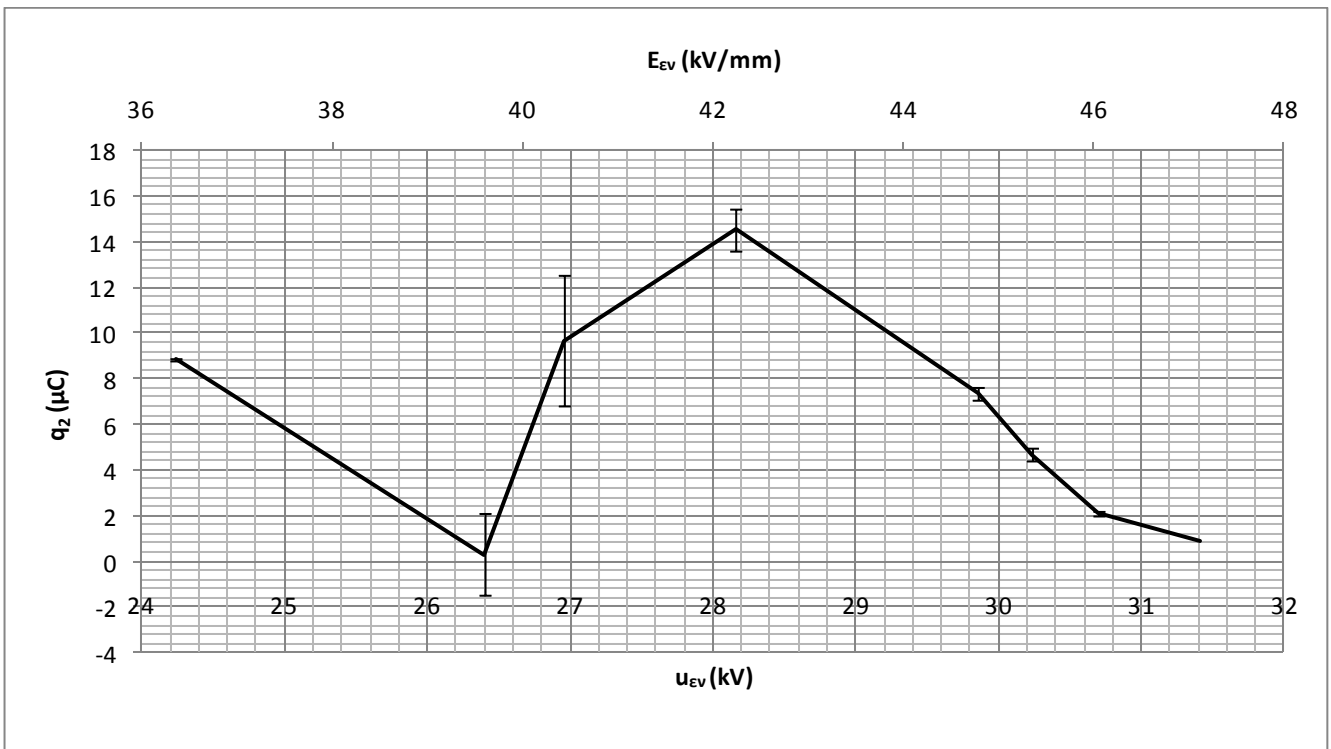
Σχήμα 3.2-15 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}



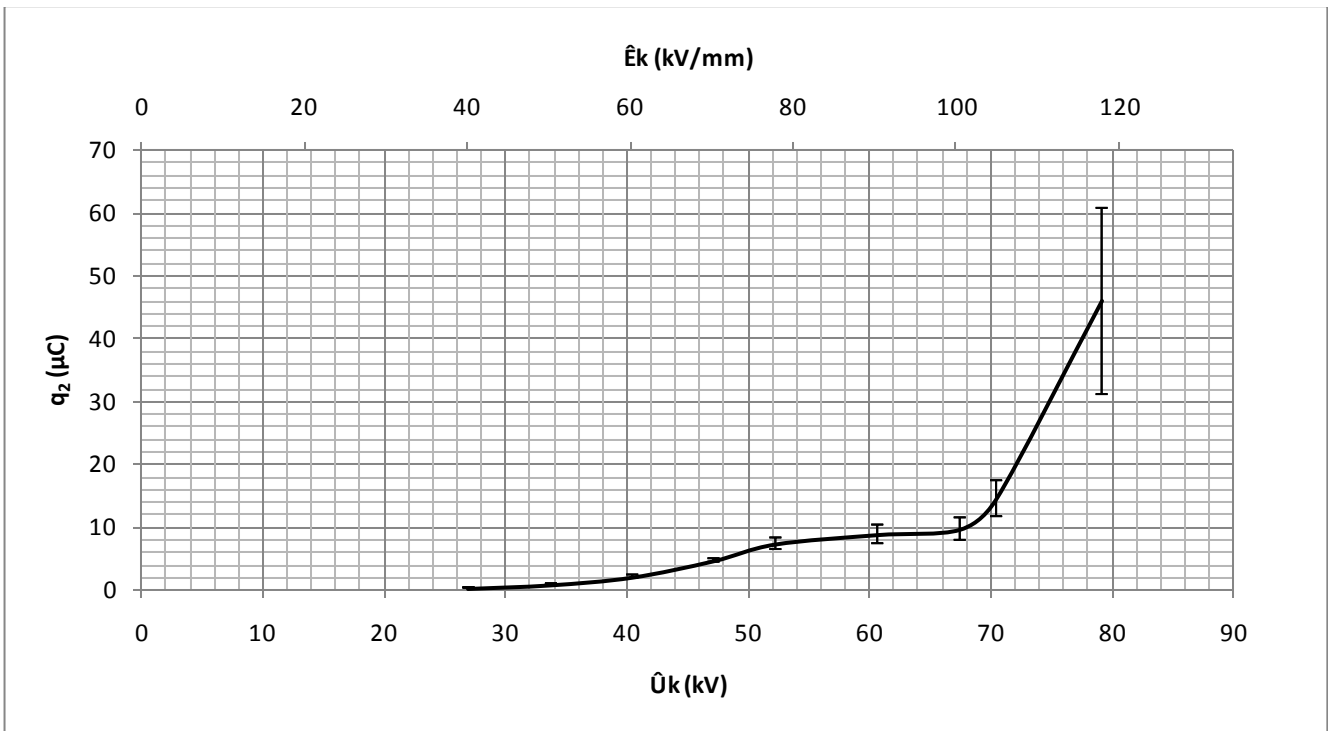
Σχήμα 3.2-16 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



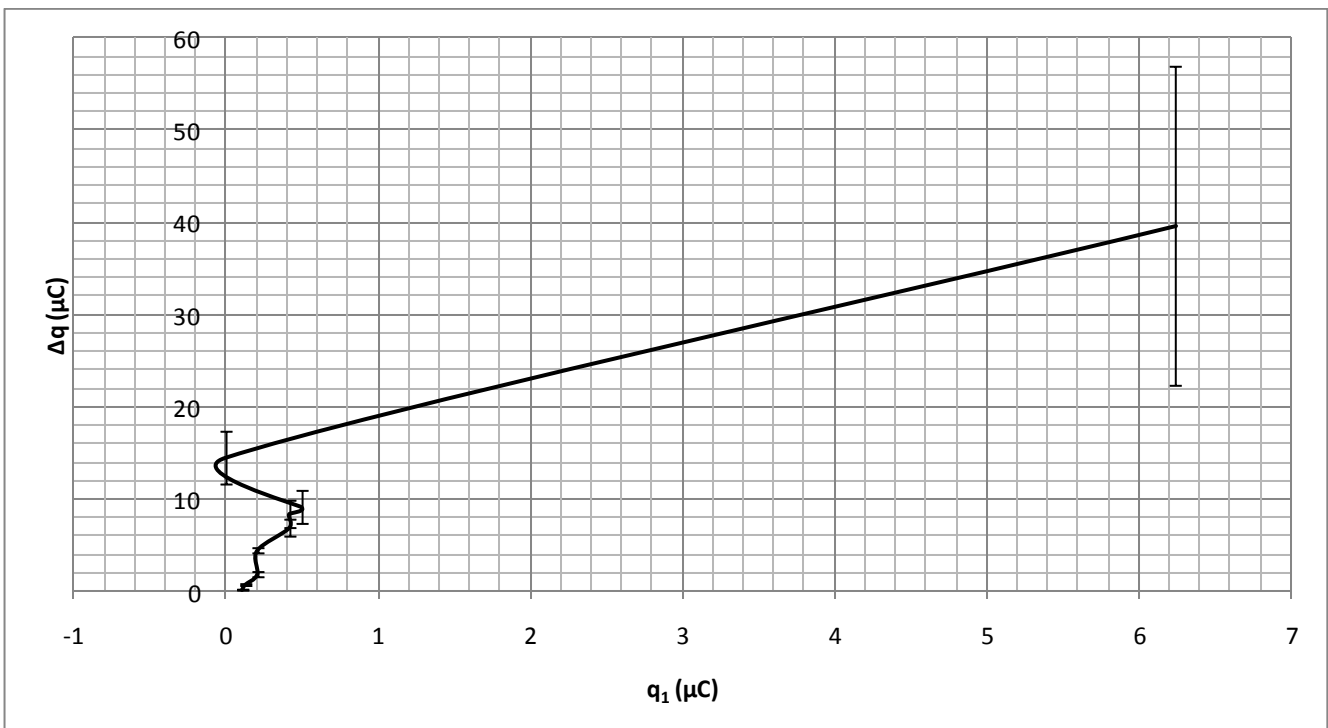
Σχήμα 3.2-17 : Χααρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



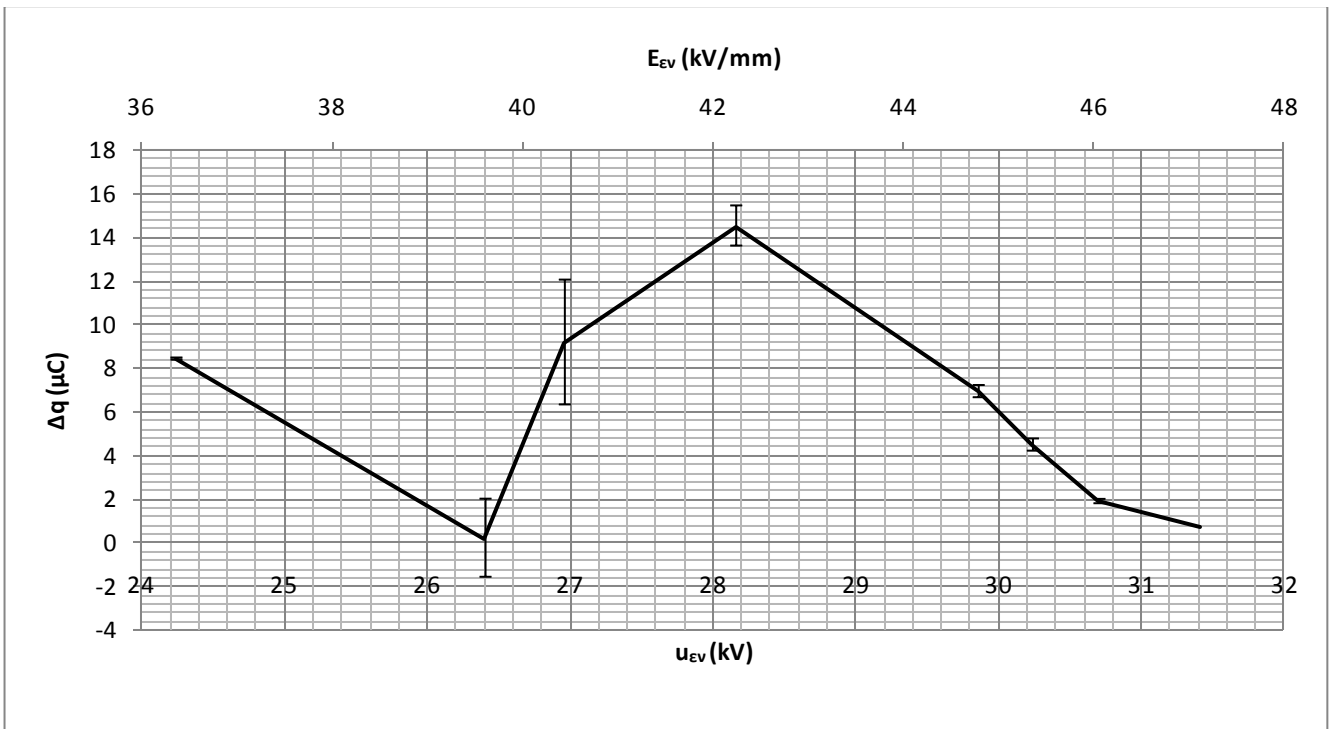
Σχήμα 3.2-18 : Χααρακτηριστική $q_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



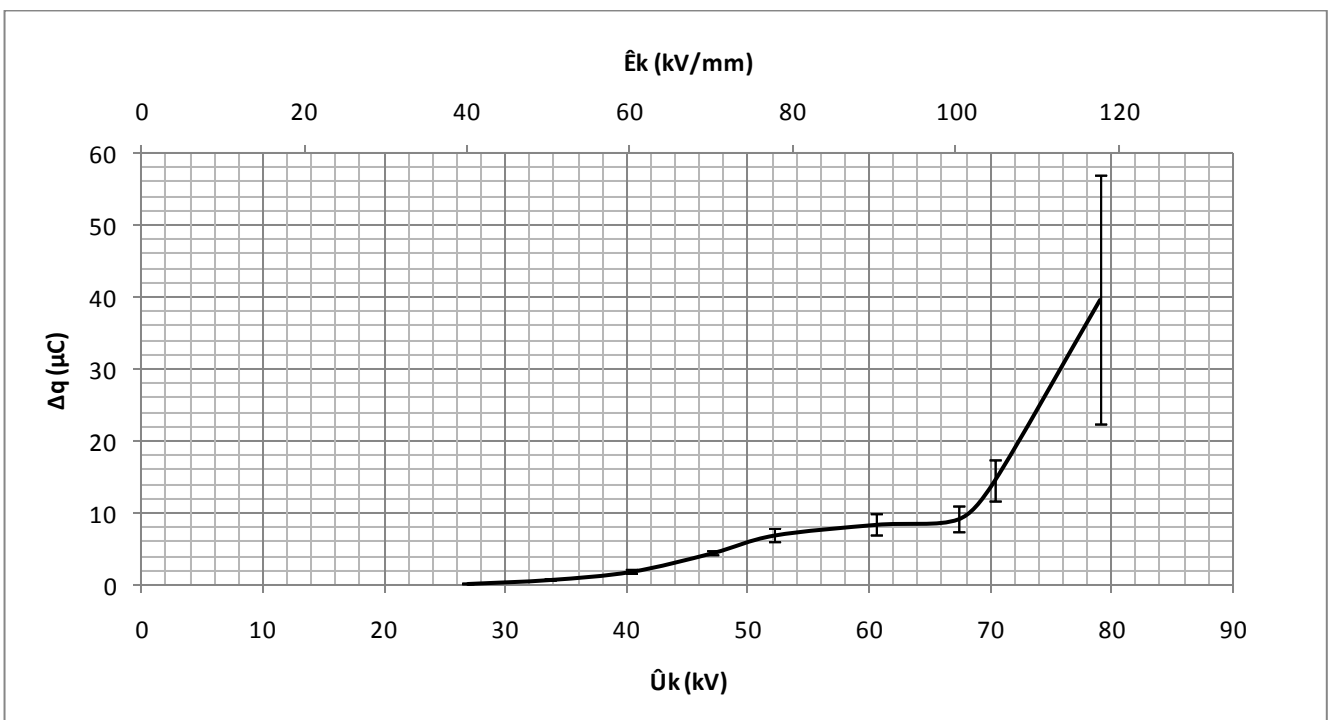
Σχήμα 3.2-19 : Χαρακτηριστική $q_2=f(U_{\max}, E_{\max})$ του συνδυασμού 'πέπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu\text{s}$, $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 U_{\max} : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_{\max} : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{\max}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



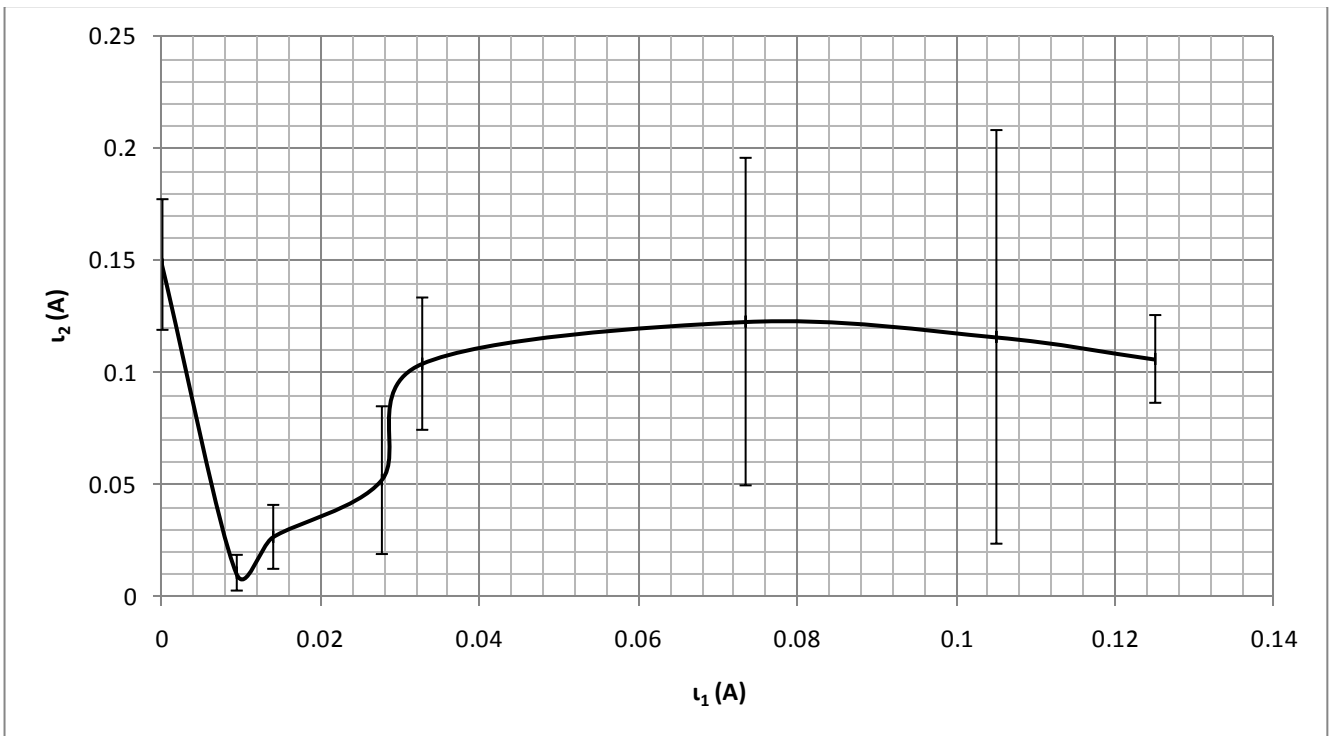
Σχήμα 3.2-20 : Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού 'πέπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu\text{s}$, $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασ των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q=q_2-q_1$)
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



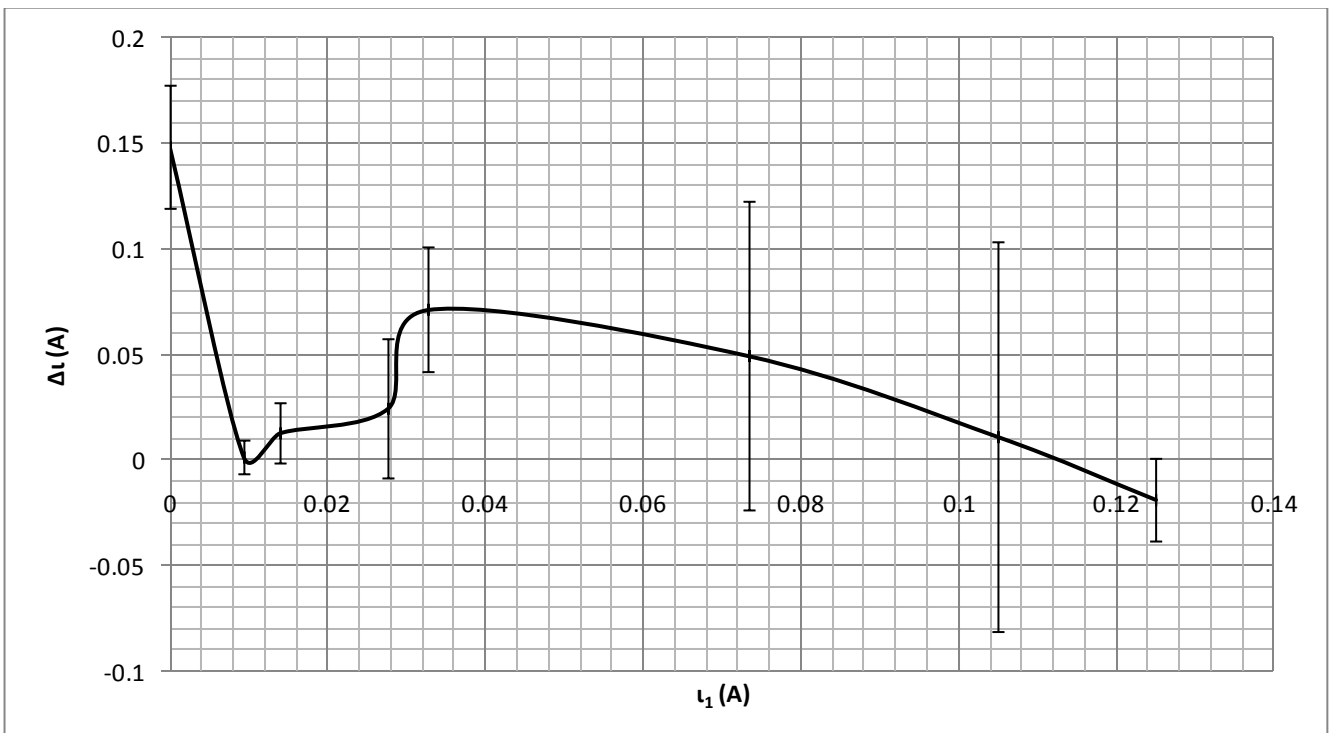
Σχήμα 3.2-21 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρας των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



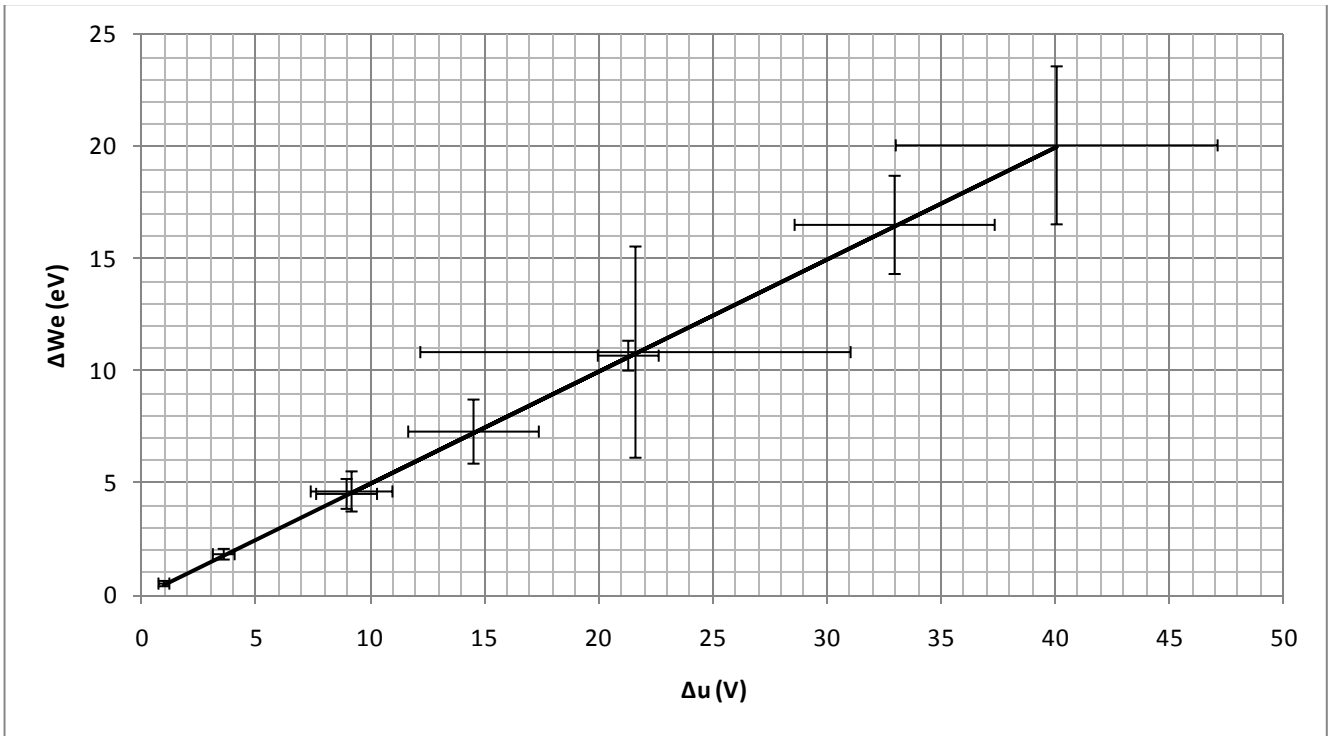
Σχήμα 3.2-22 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(U_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρας των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



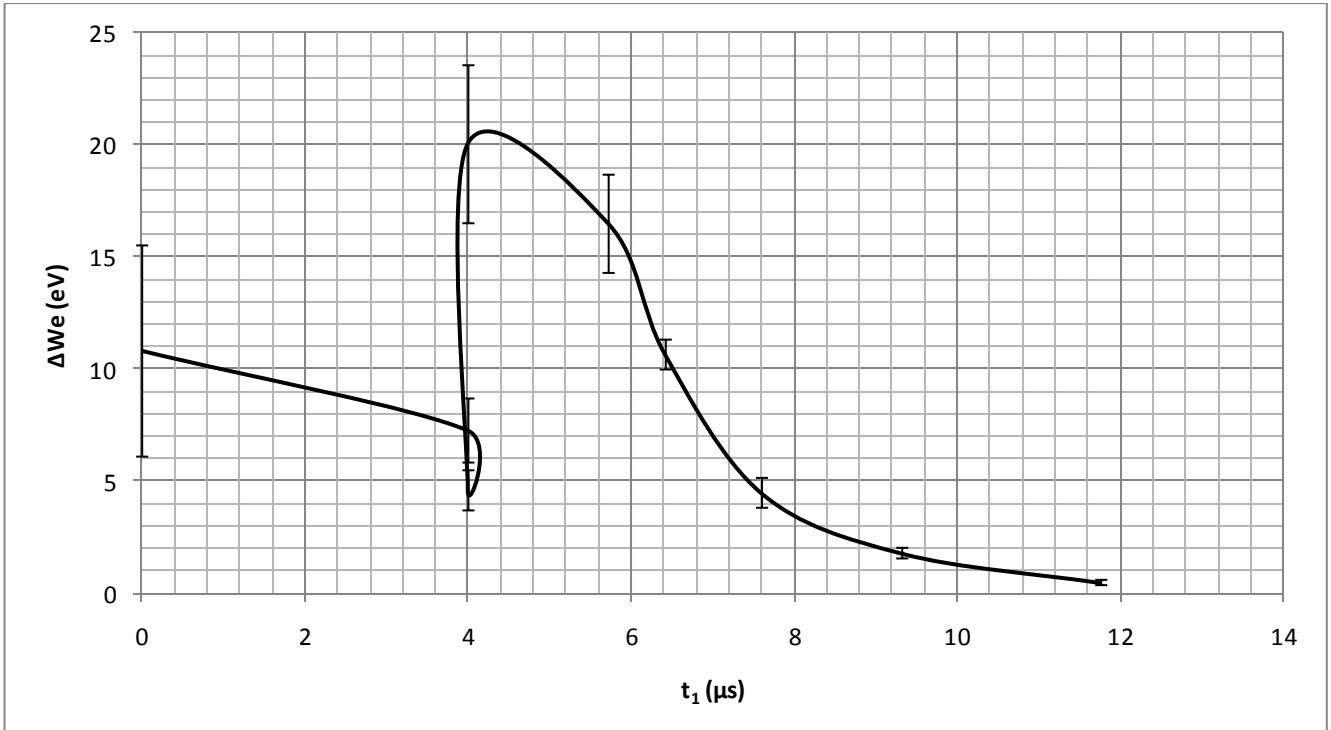
Σχήμα 3.2-23 : Χαρακτηριστική $I_2=f(I_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 I_2 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 I_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



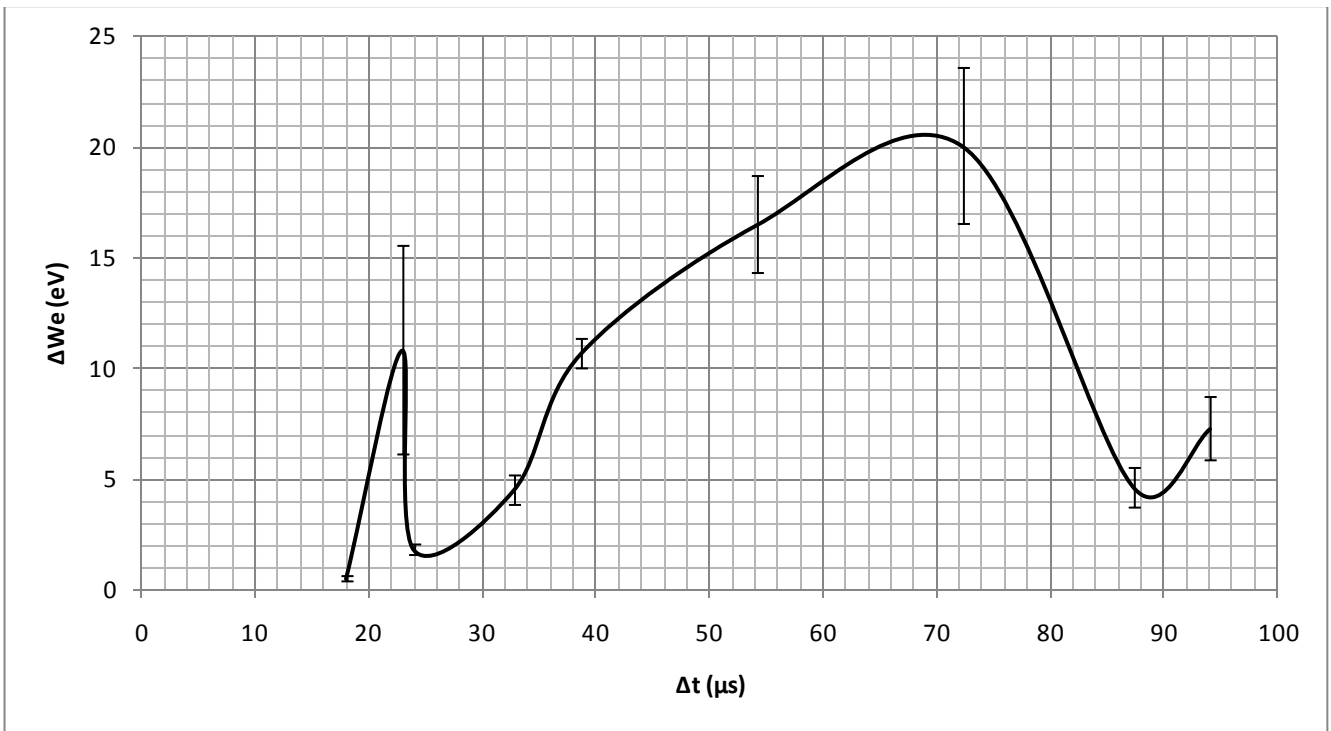
Σχήμα 3.2-24 : Χαρακτηριστική $\Delta I=f(I_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔI : Η διαφορά της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ και την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta I=f(I_1)$)
 I_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



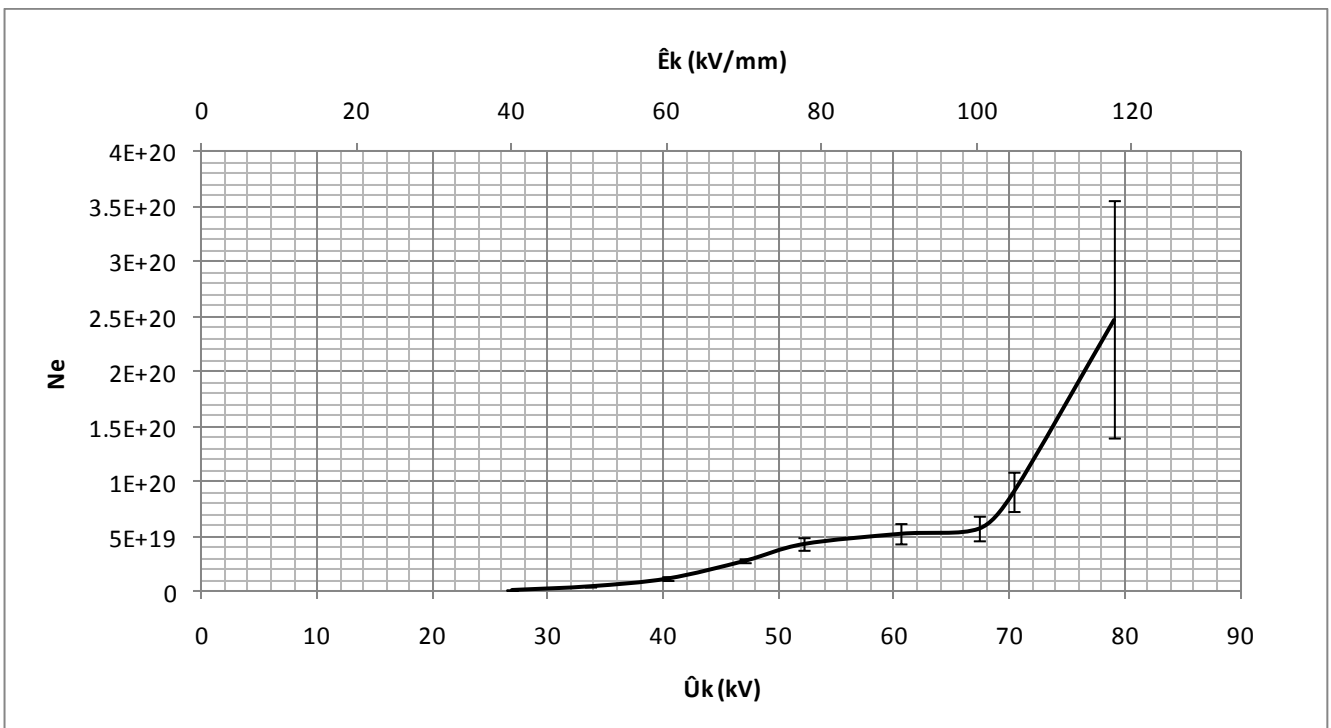
Σχήμα 3.2-25 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta u)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της u_0 κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



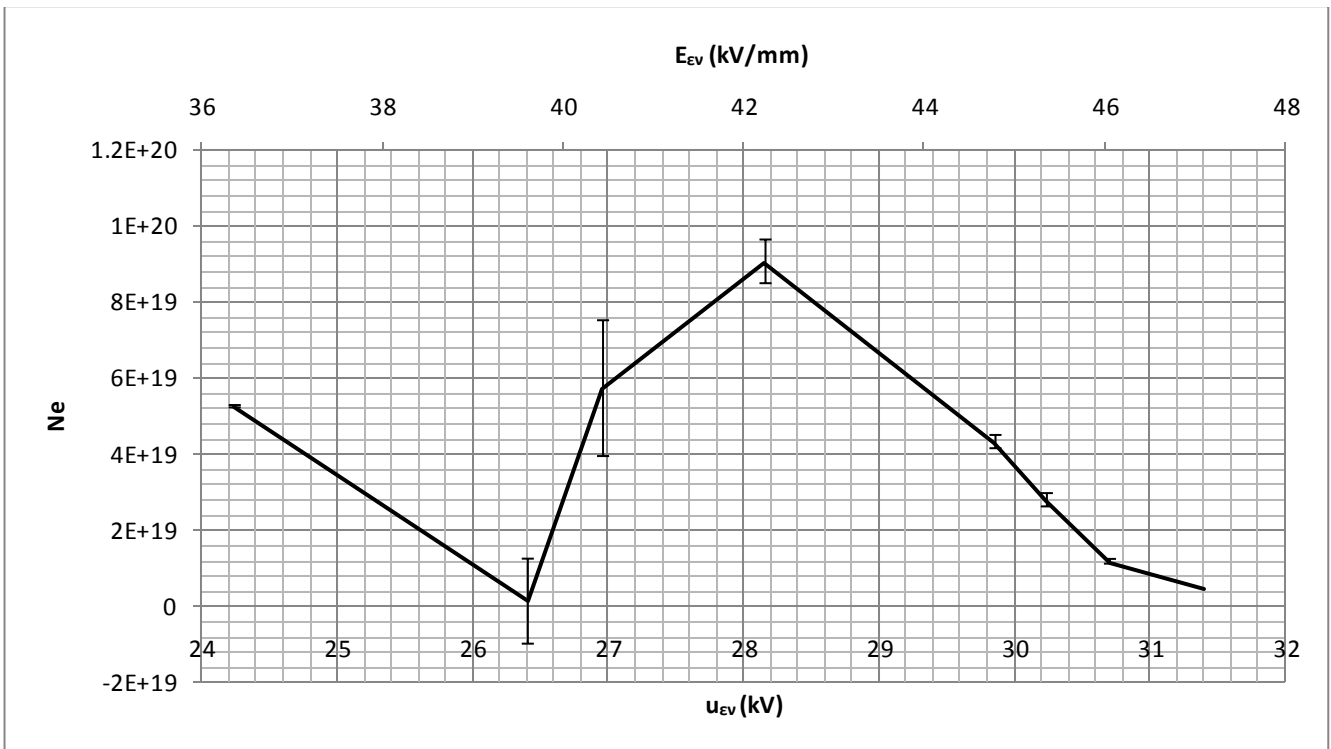
Σχήμα 3.2-26 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



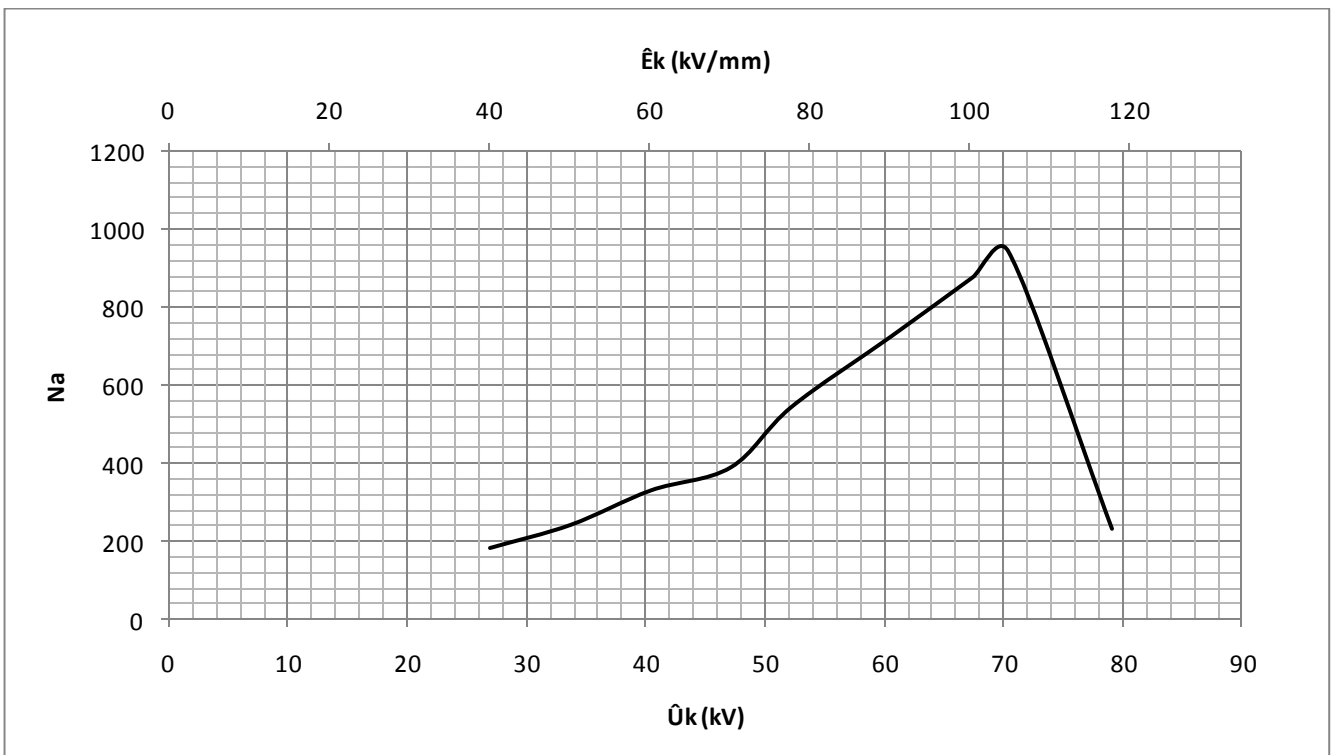
Σχήμα φ : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta t)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t = t_2 - t_1$)
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



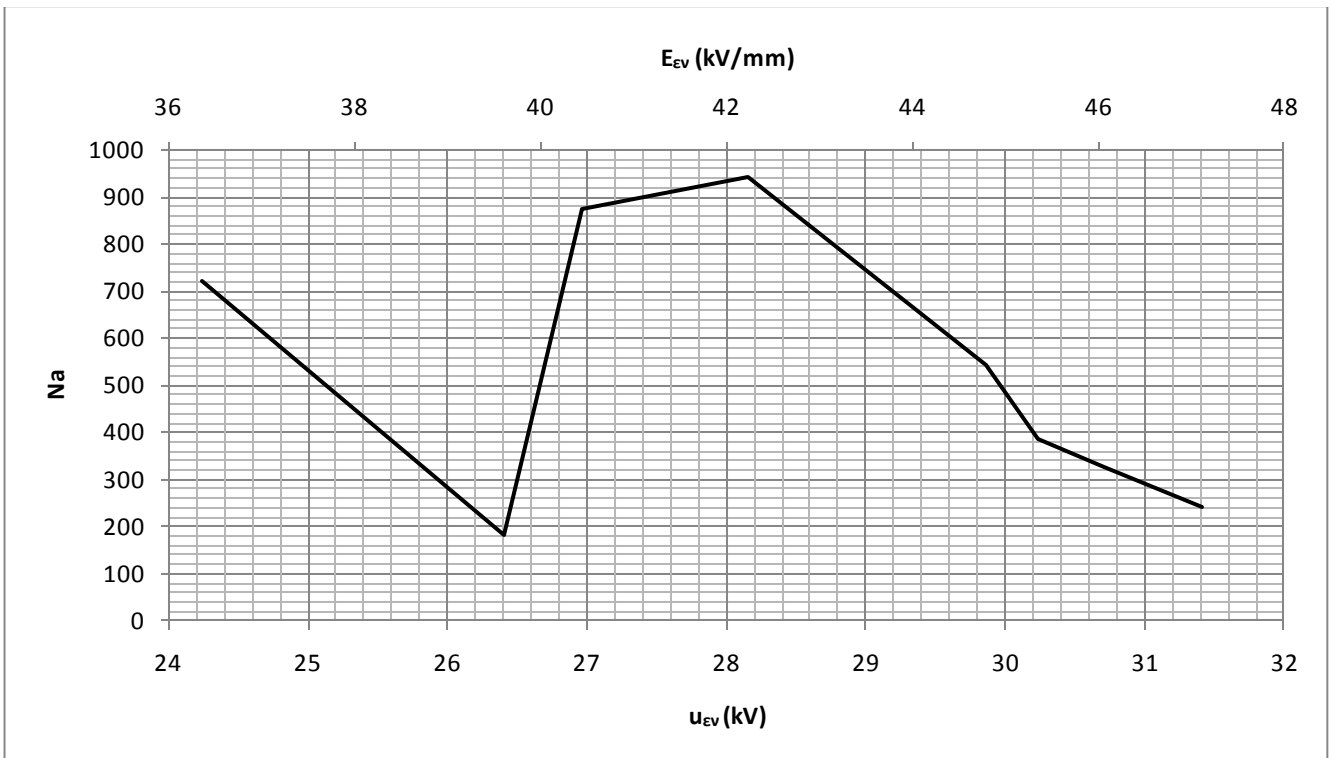
Σχήμα 3.2-28 : Χαρακτηριστική $N_e = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.2-29 : Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.2-30 : Χαρακτηριστική $N_a = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.2-31 : Χαρακτηριστική $N_a = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=1 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »

N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού

u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων

E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}

I : 2 φορές η τυπική απόκλιση

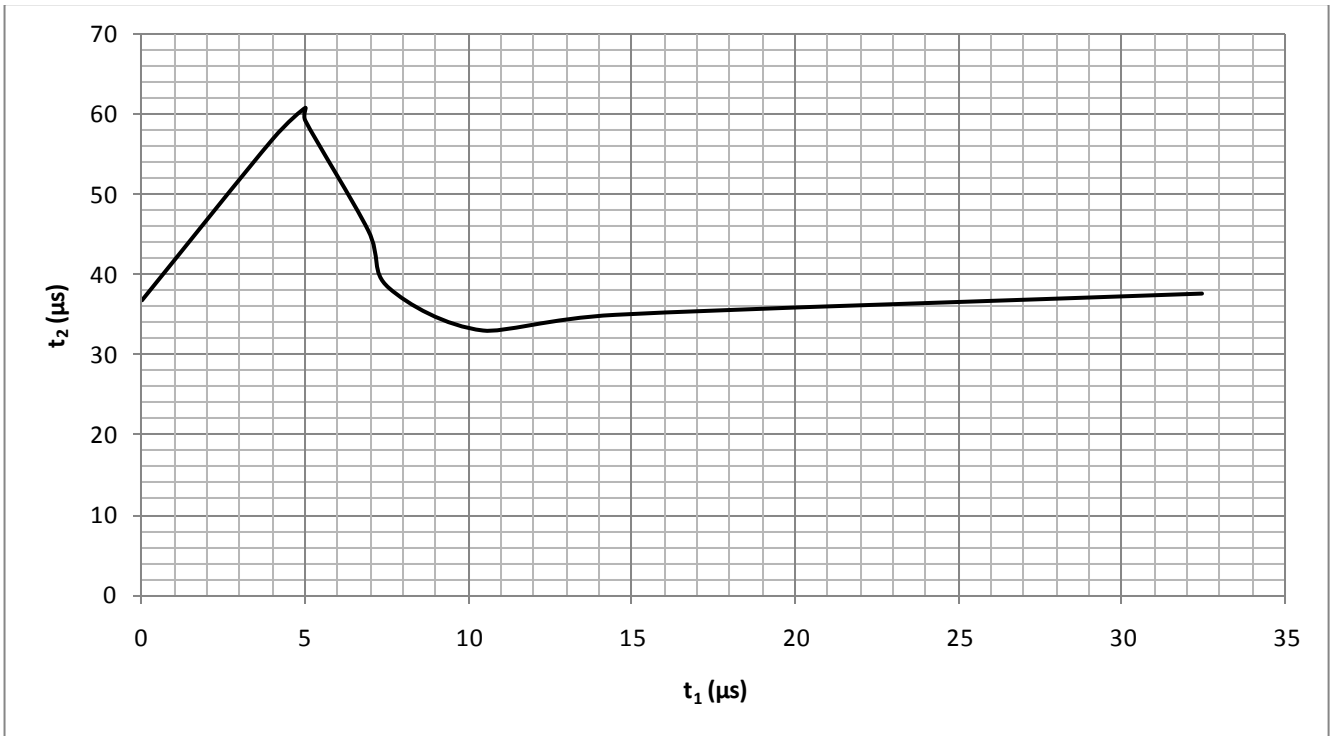
3.3. Κρουστική τάση +10/200 μs για διάκενο $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

\hat{U}_k (kV)	\hat{E}_k (kV/mm)	C_m (nF)	U_1 (V)	U_2 (V)	Δu (V)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	Δt (μs)	q_1 (μC)	q_2 (μC)
26.900	27.361	210.000	0.524	0.905	0.381	32.450	37.640	5.190	0.110	0.190
33.700	34.277	210.000	0.619	1.714	1.095	14.490	34.980	20.490	0.130	0.360
40.400	41.092	210.000	0.810	3.286	2.476	10.440	33.020	22.580	0.170	0.690
47.200	48.008	210.000	1.000	6.714	5.714	7.560	38.340	30.780	0.210	1.410
53.900	54.823	210.000	1.000	12.048	11.048	6.920	45.580	38.660	0.210	2.530
60.600	61.638	210.000	1.000	15.524	14.524	5.000	59.280	54.280	0.210	3.260
67.400	68.554	1000.000	0.420	5.590	5.170	5.000	60.880	55.880	0.420	5.590
74.100	75.369	1000.000	0.000	3.860	3.860	4.000	56.960	52.960	0.000	3.860
80.800	82.184	1835.000	2.000	20.910	18.910	0.000	36.800	36.800	3.670	38.370

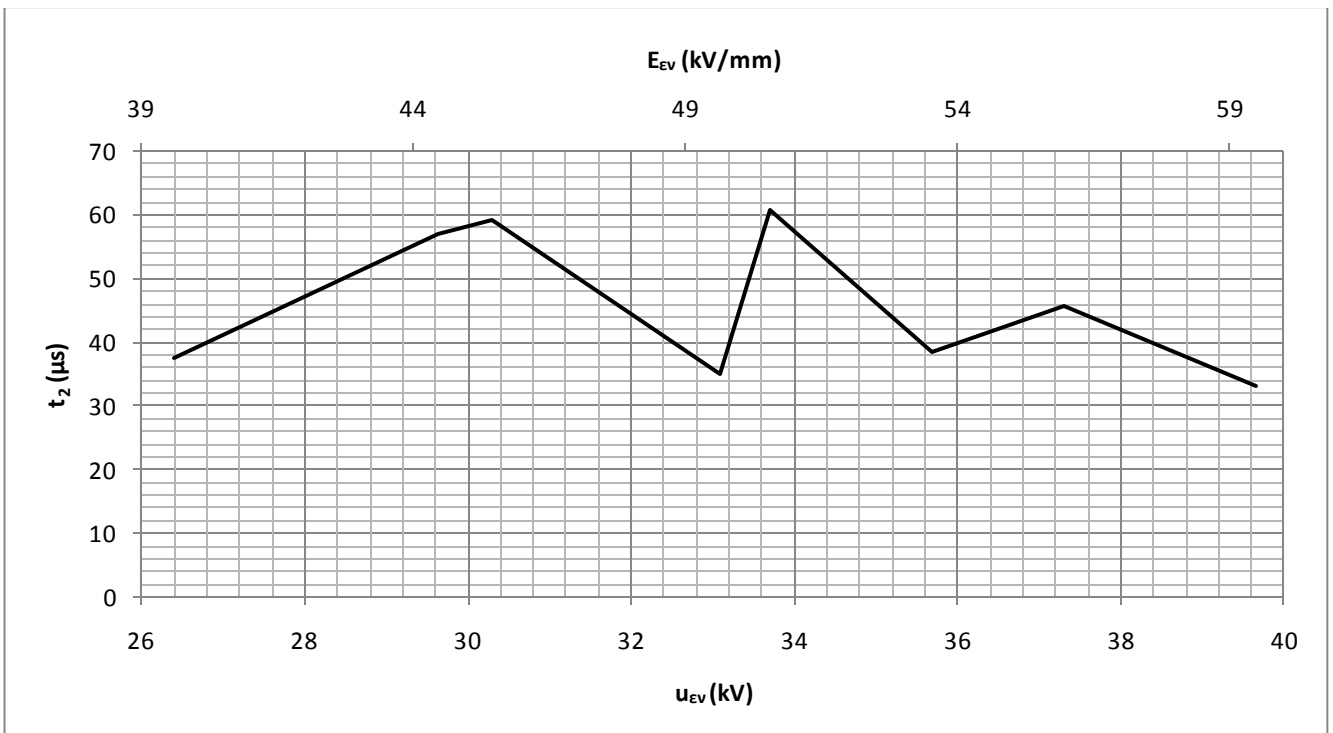
\hat{U}_k (kV)	Δq (μC)	i_1 (A)	i_2 (A)	Δi (A)	u_{ev} (kV)	E_{ev} (kV/mm)	ΔWe (eV)	Ne	Na
26.900	0.080	0.003	0.005	0.002	26.404	26.856	0.191	4.99E+17	52
33.700	0.230	0.009	0.010	0.001	33.079	33.645	0.548	1.44E+18	205
40.400	0.520	0.016	0.021	0.005	39.655	40.334	1.238	3.25E+18	226
47.200	1.200	0.028	0.037	0.009	35.683	36.294	2.857	7.49E+18	308
53.900	2.320	0.030	0.056	0.025	37.298	37.937	5.524	1.45E+19	387
60.600	3.050	0.042	0.055	0.013	30.300	30.818	7.262	1.9E+19	543
67.400	5.170	0.084	0.092	0.008	33.700	34.277	2.585	3.23E+19	559
74.100	3.860	0.000	0.068	0.068	29.640	30.147	1.930	2.41E+19	530
80.800	34.700	0.000	1.043	0.000	0.000	0.000	9.455	2.17E+20	368

Πίνακας 3.3-1: Στατιστική ανάλυση των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στα σχήματα 2-1, 2-2, 2-3 και στις σχέσεις 2-1 έως 2-8 για κρουστική τάση +10/200, $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

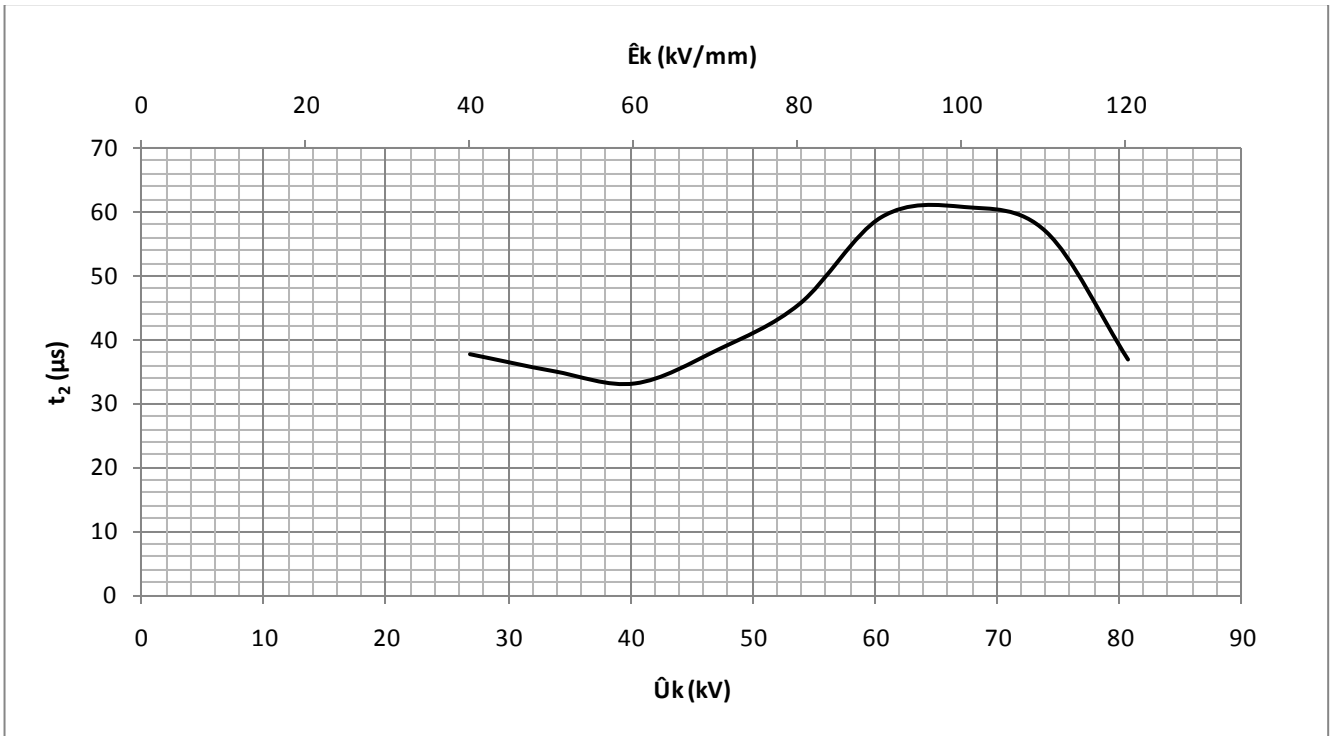
\hat{U}_k	Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
\hat{E}_k	Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
C_m	Πυκνωτής μέτρησης
u_1	Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
u_2	Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δu	$u_2 - u_1$
q_1	Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
q_2	Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δq	$q_2 - q_1$
t_1	Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
t_2	Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δt	$t_2 - t_1$
i_1	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
i_2	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δi	$i_2 - i_1$
u_{ev}	Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
E_{ev}	Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}
ΔWe	Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Ne	Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
Na	Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



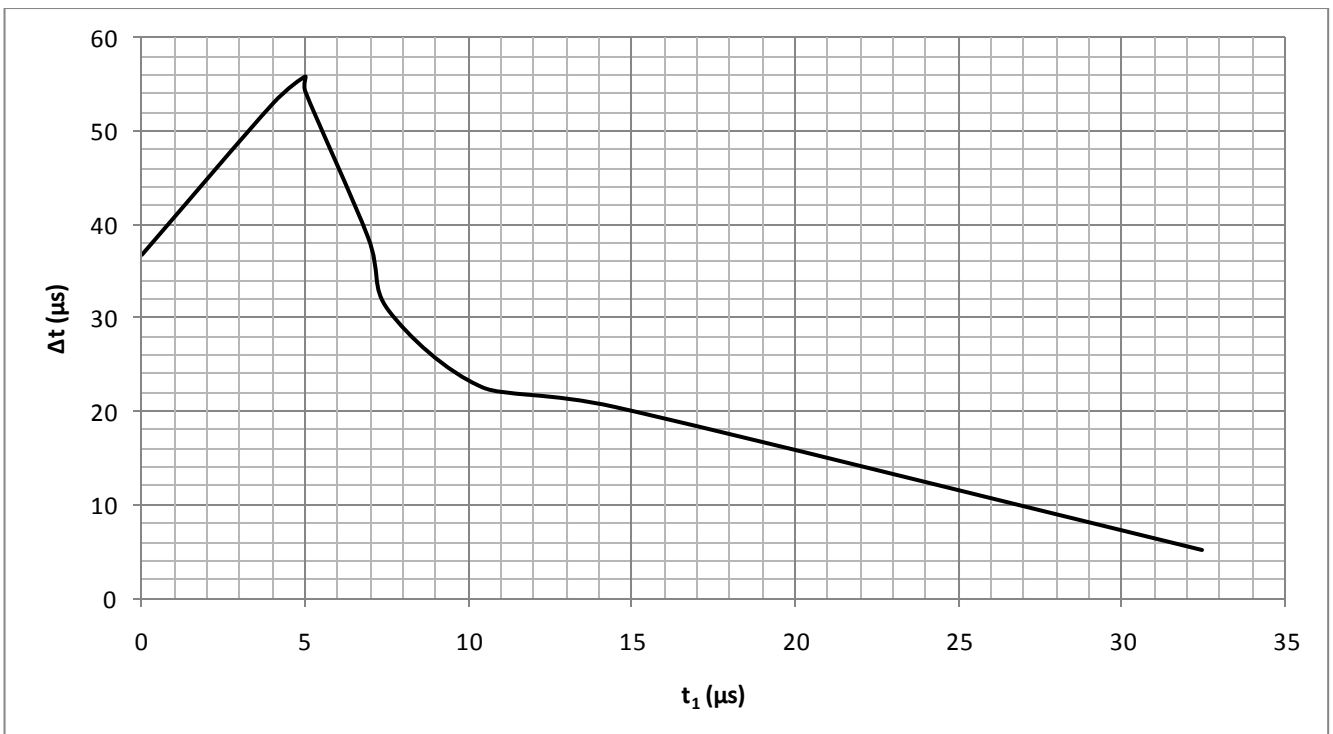
Σχήμα 3.3-1 : Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπτεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



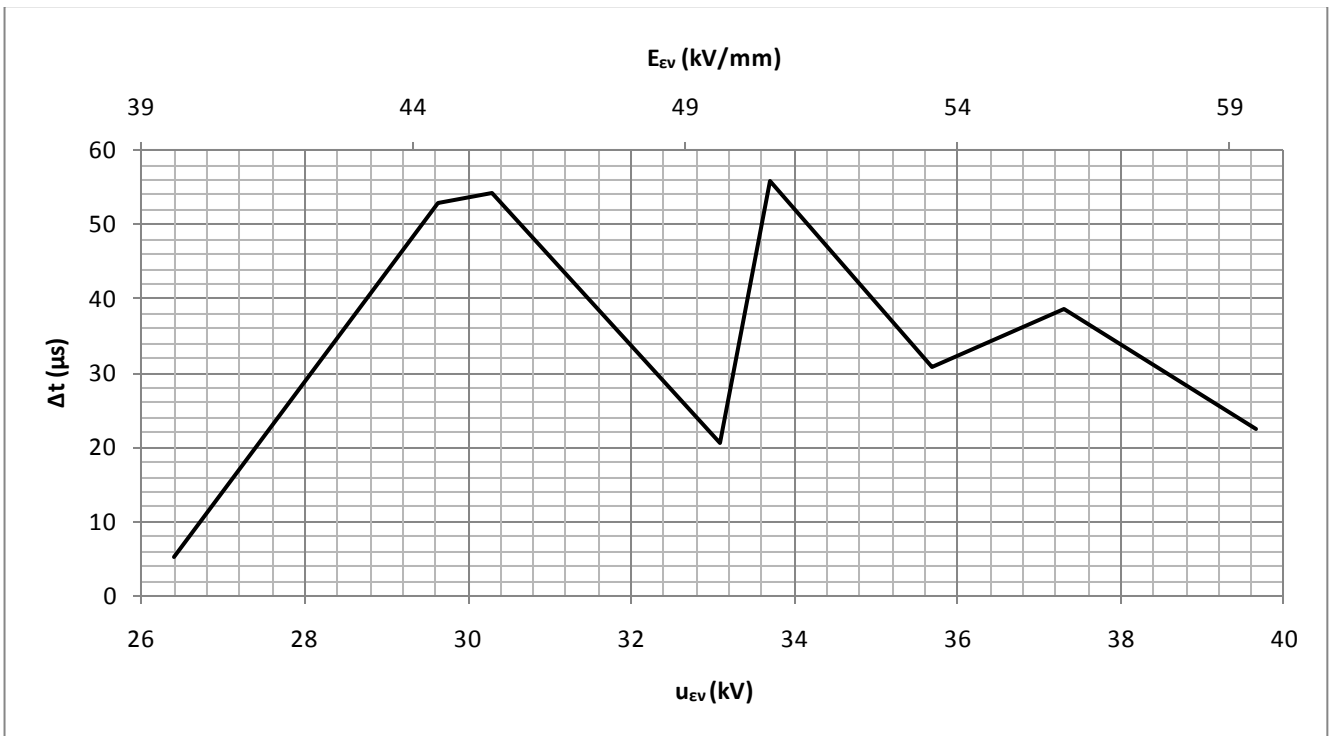
Σχήμα 3.3-2 : Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπτεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}



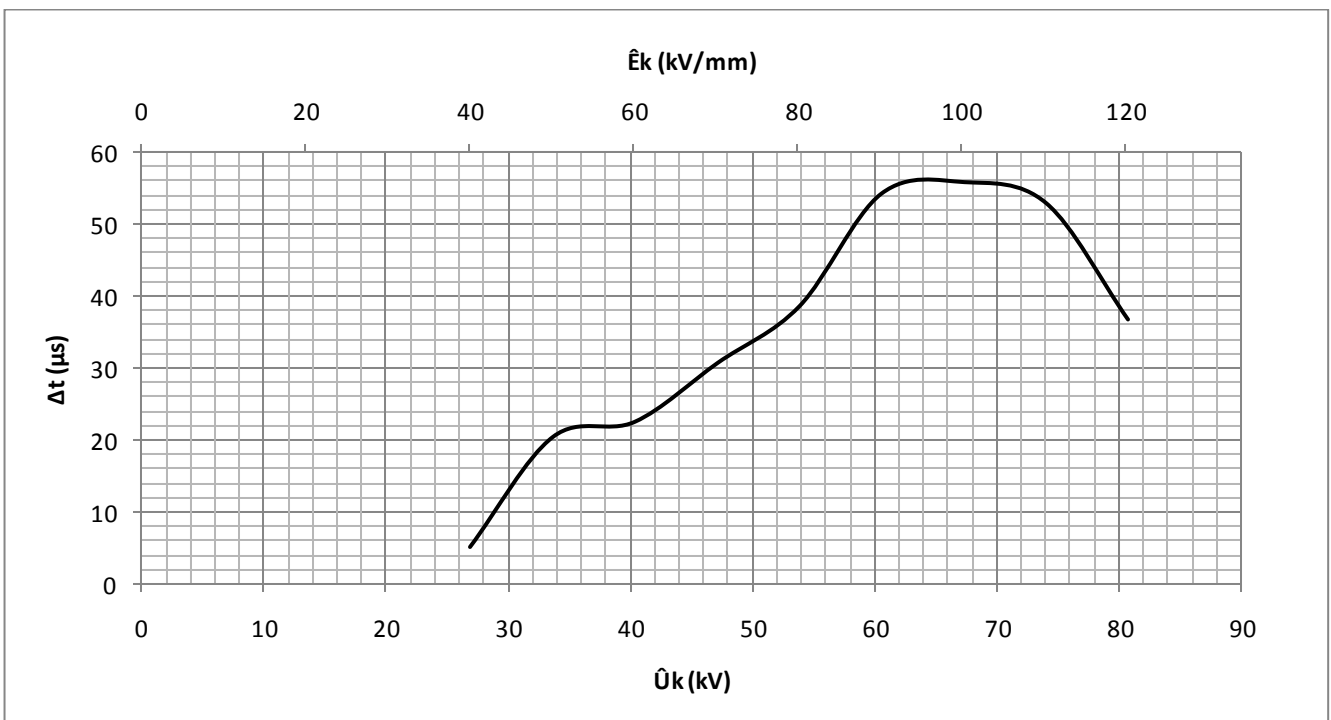
Σχήμα 3.3-3 : Χαρακτηριστική $t_2=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



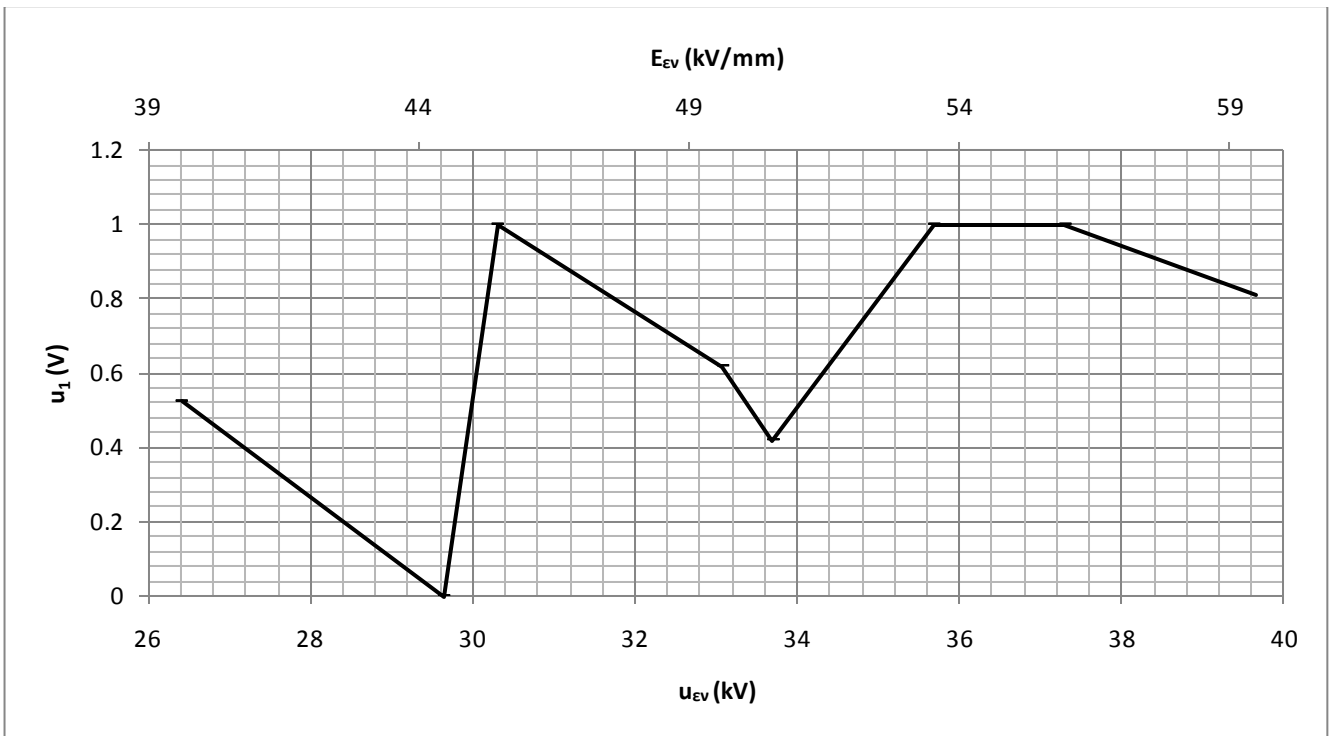
Σχήμα 3.3-4 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



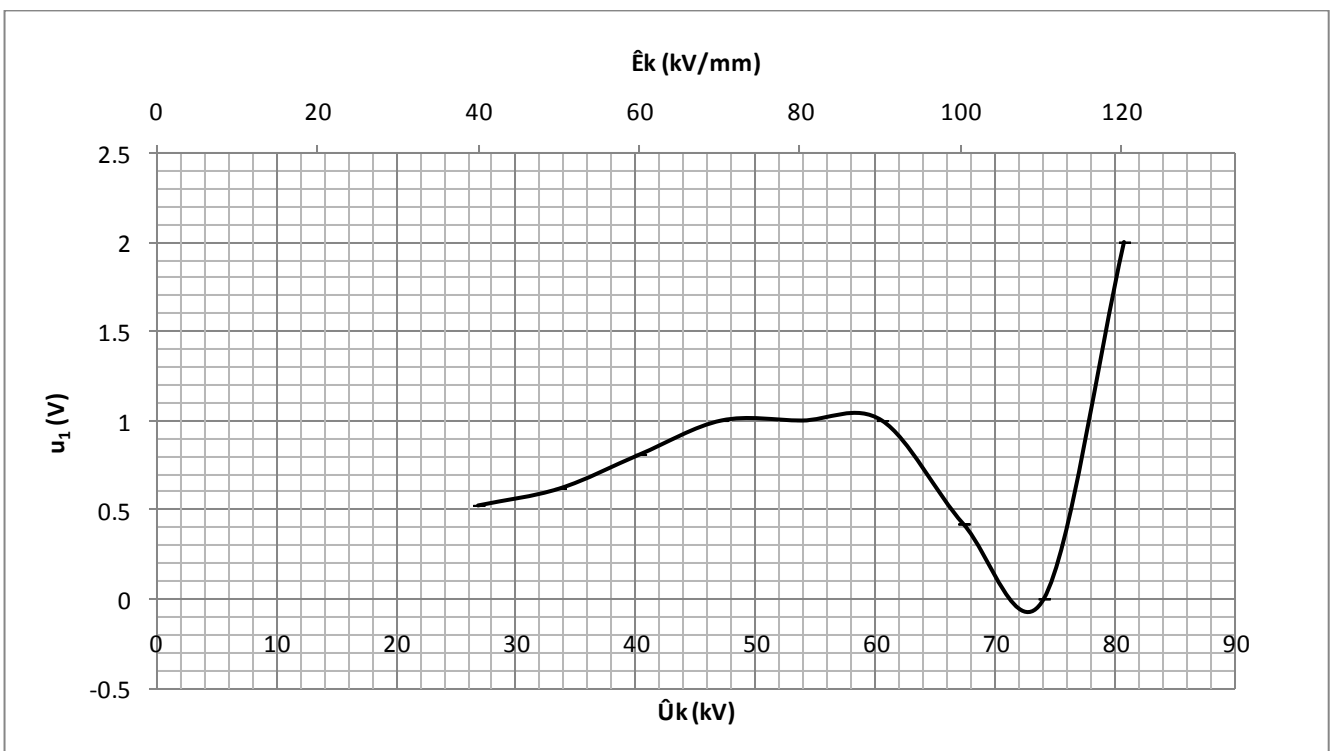
Σχήμα 3.3-5 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}



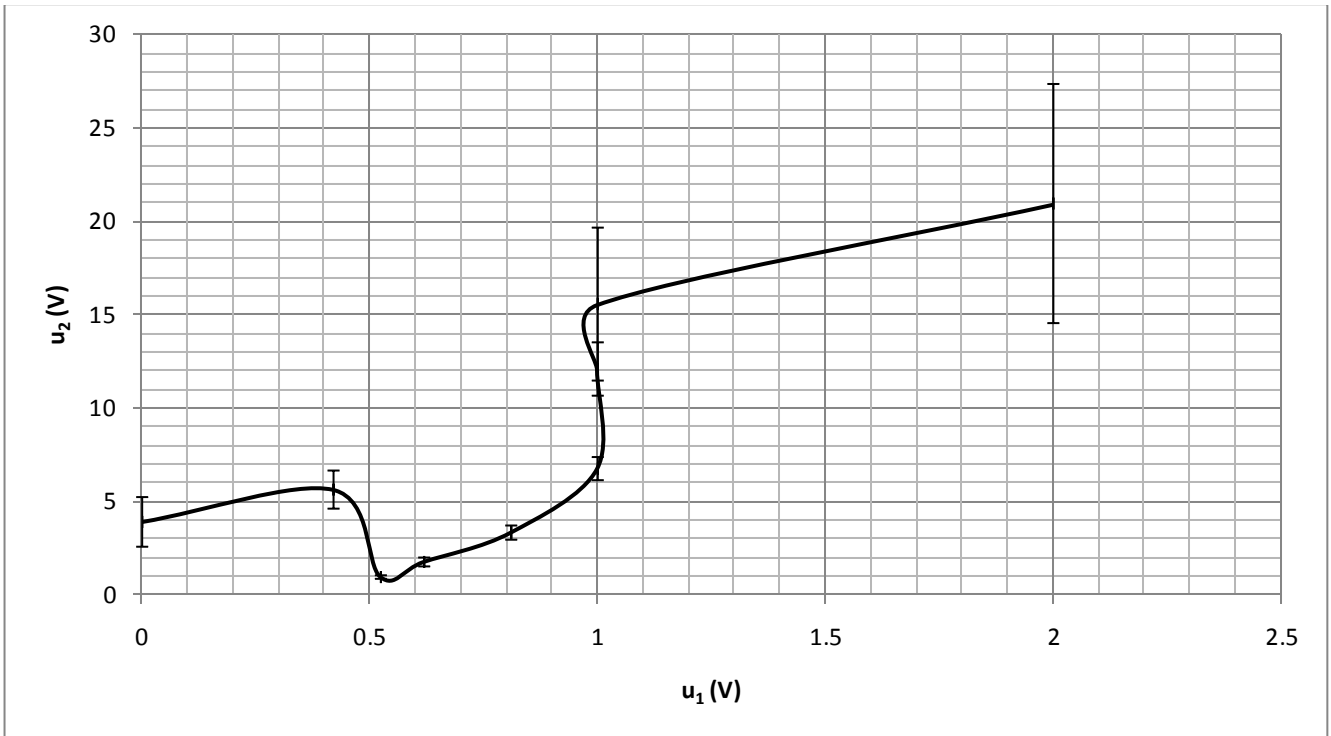
Σχήμα 3.3-6 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



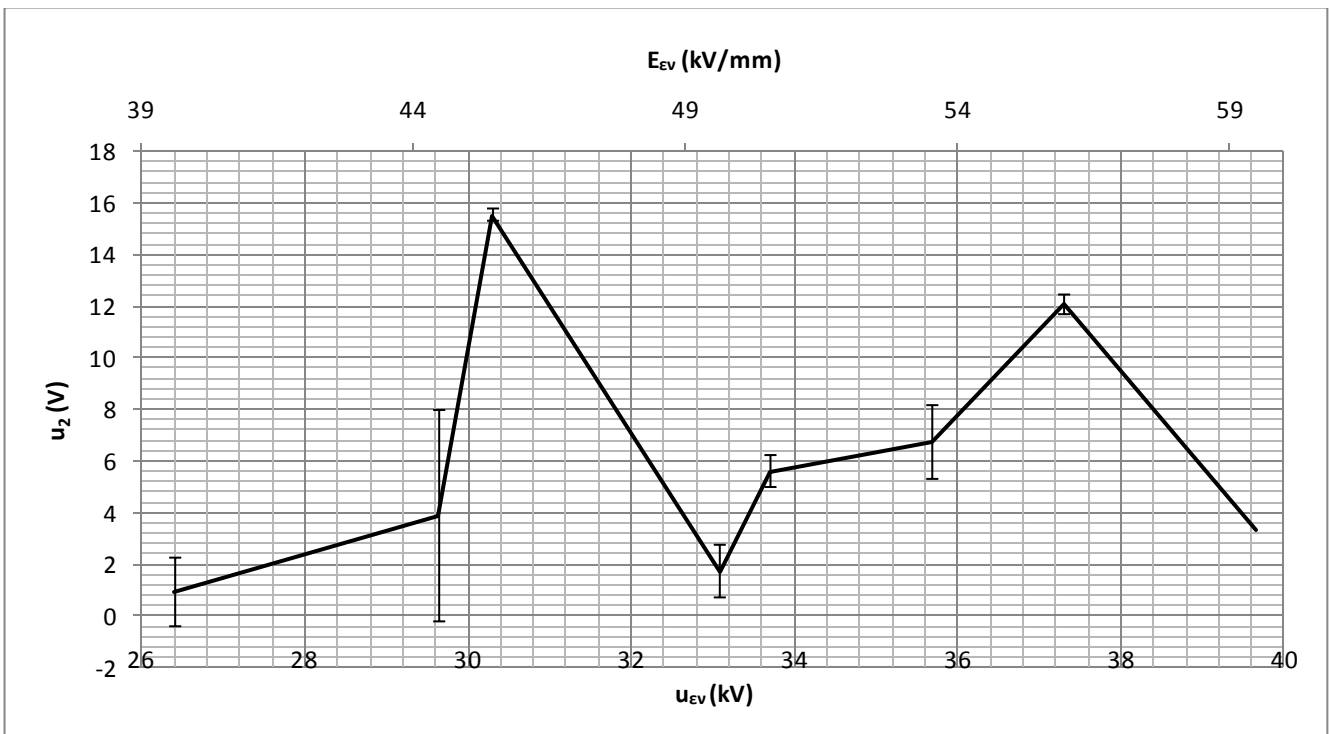
Σχήμα 3.3-7 : Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}



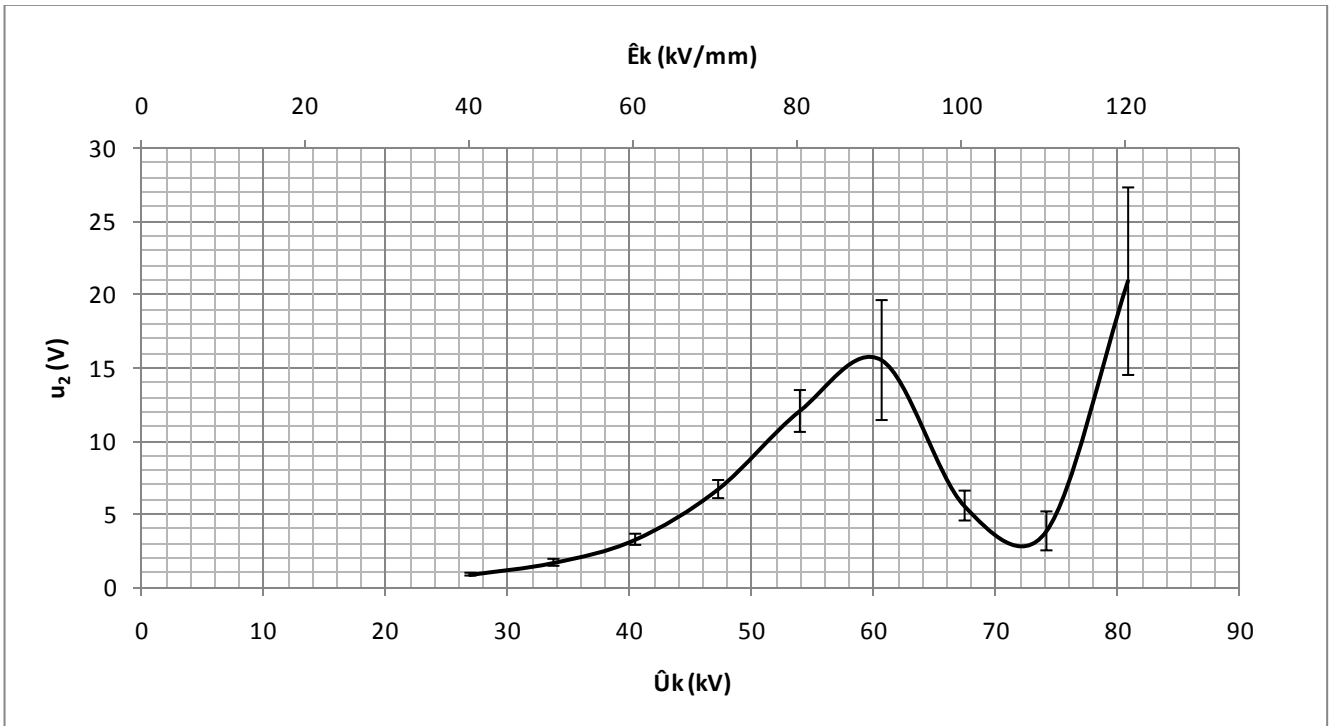
Σχήμα 3.3-8 : Χαρακτηριστική $u_1=f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



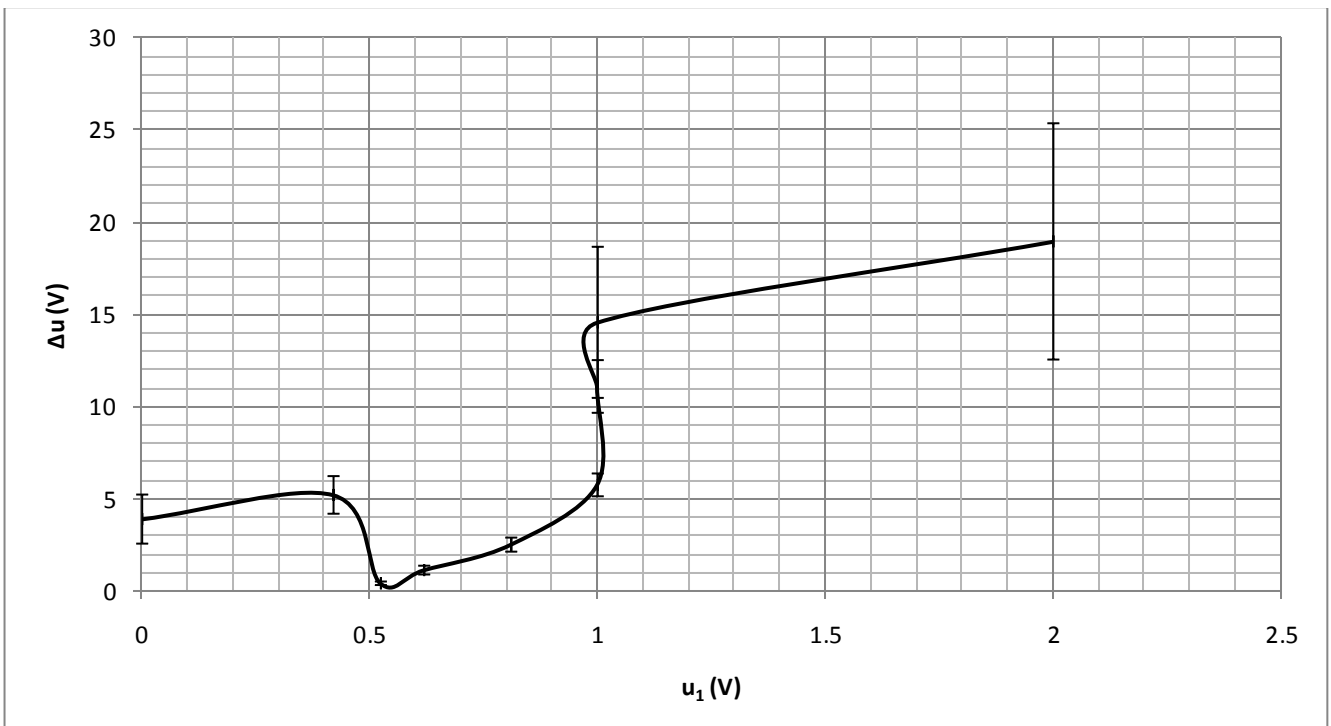
Σχήμα 3.3-9 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



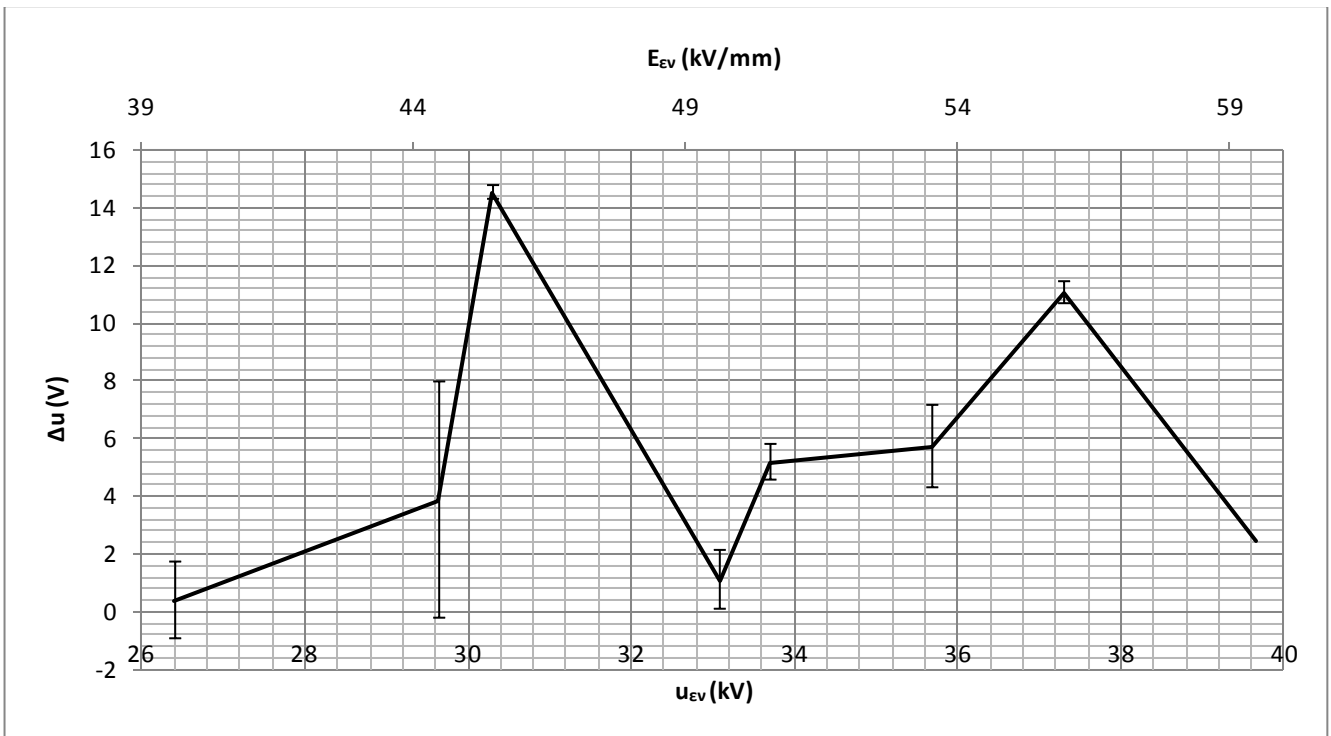
Σχήμα 3.3-10 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



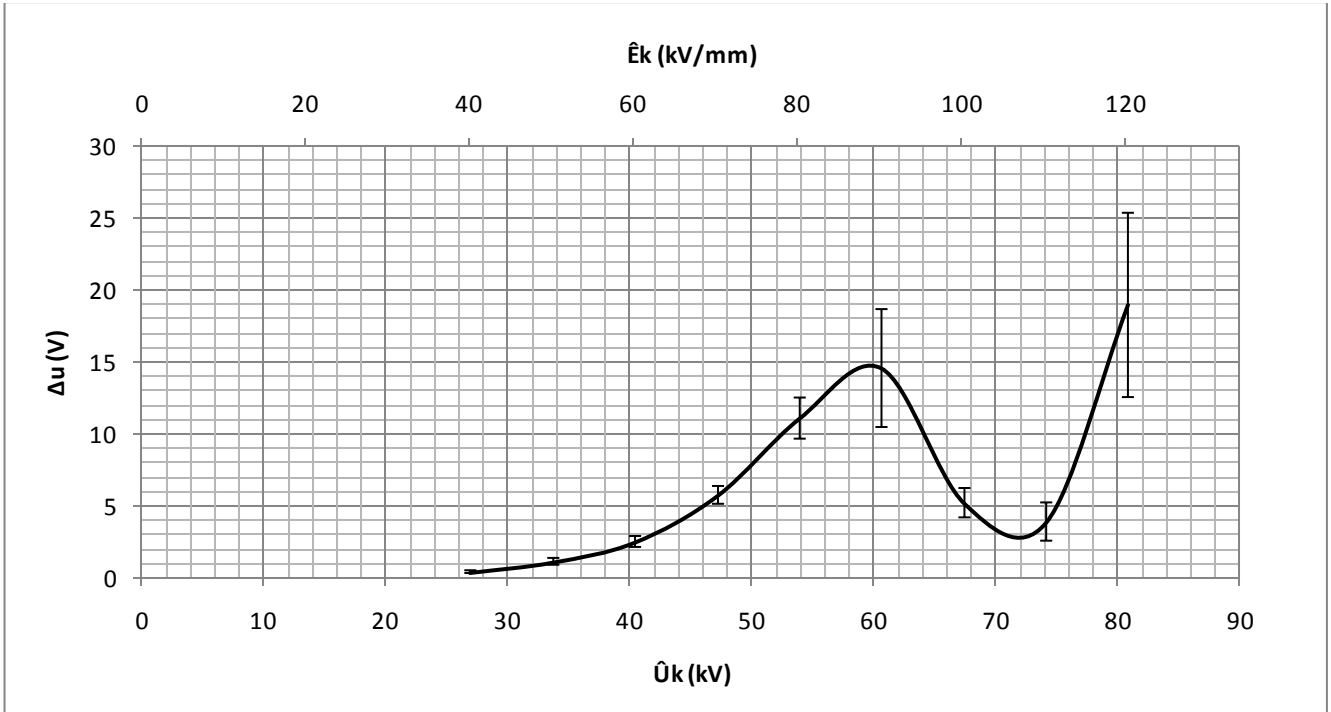
Σχήμα 3.3-11 : Χαρακτηριστική $u_2 = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



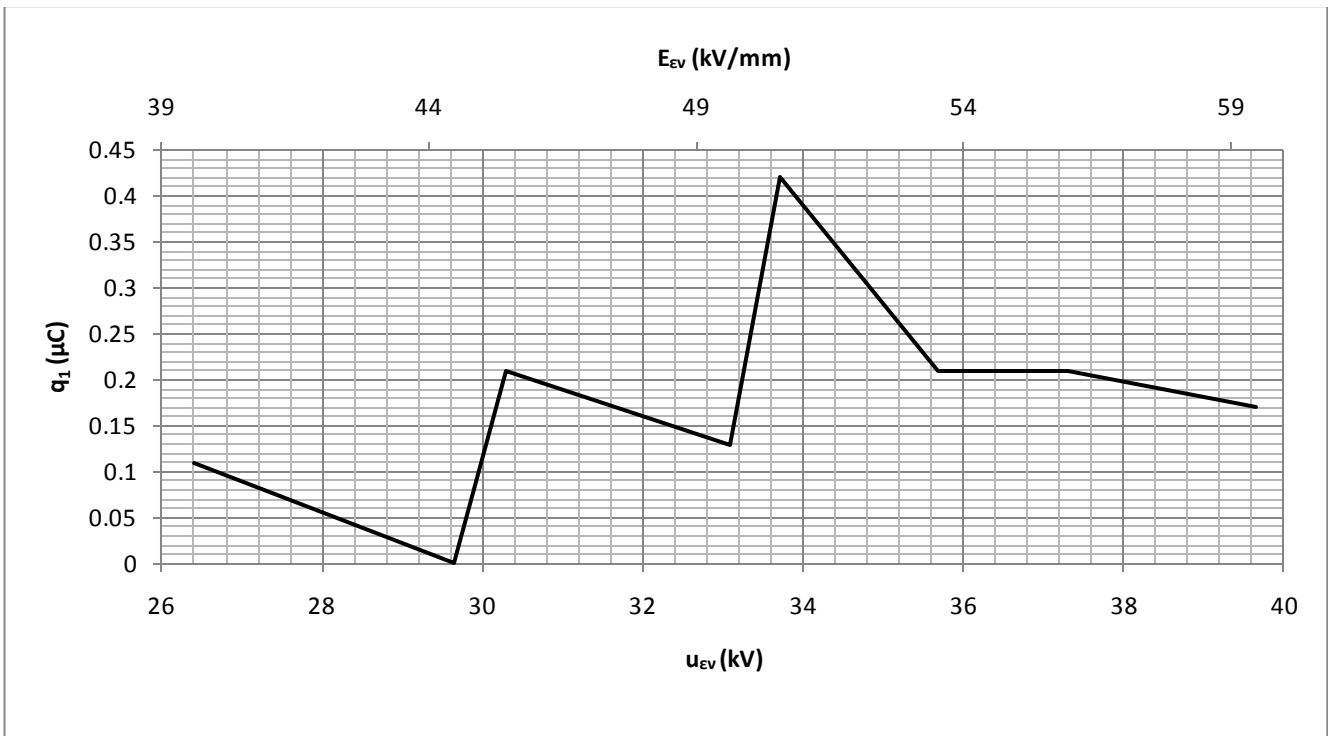
Σχήμα 3.3-12 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(u_1)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



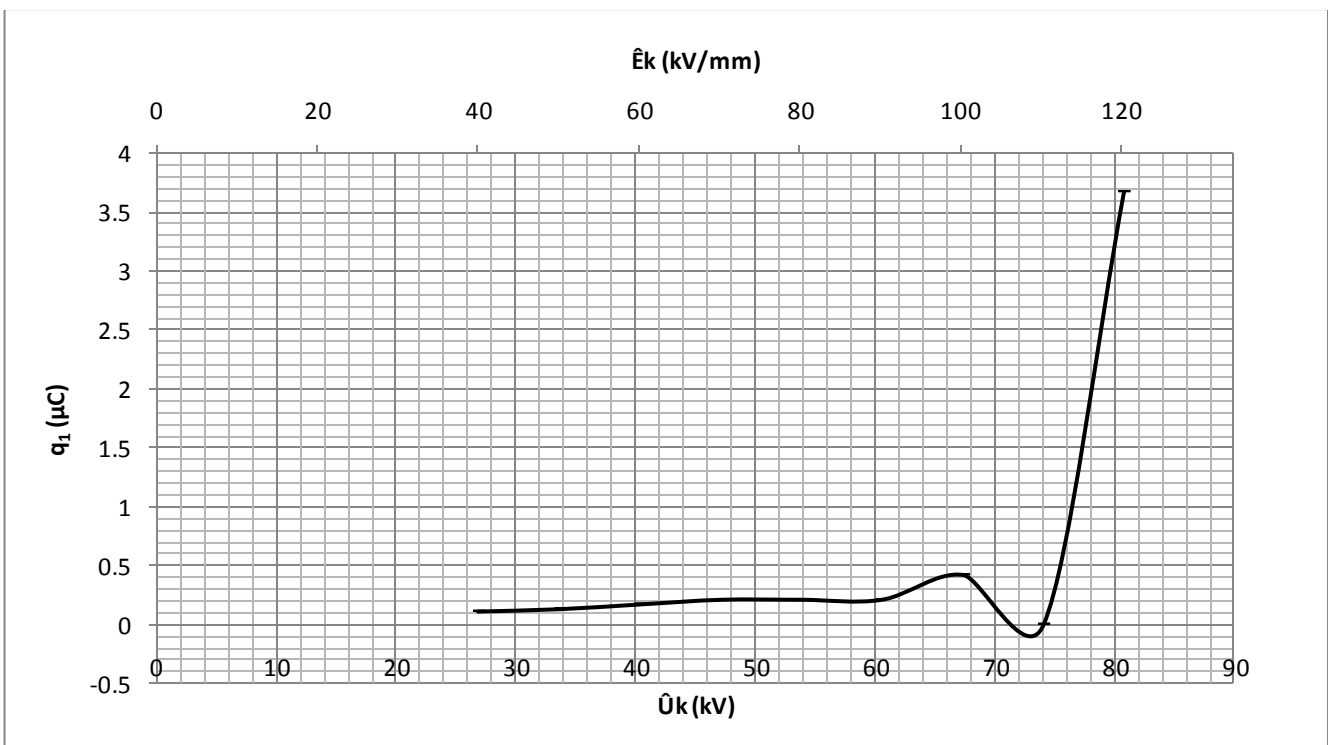
Σχήμα 3.3-13 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



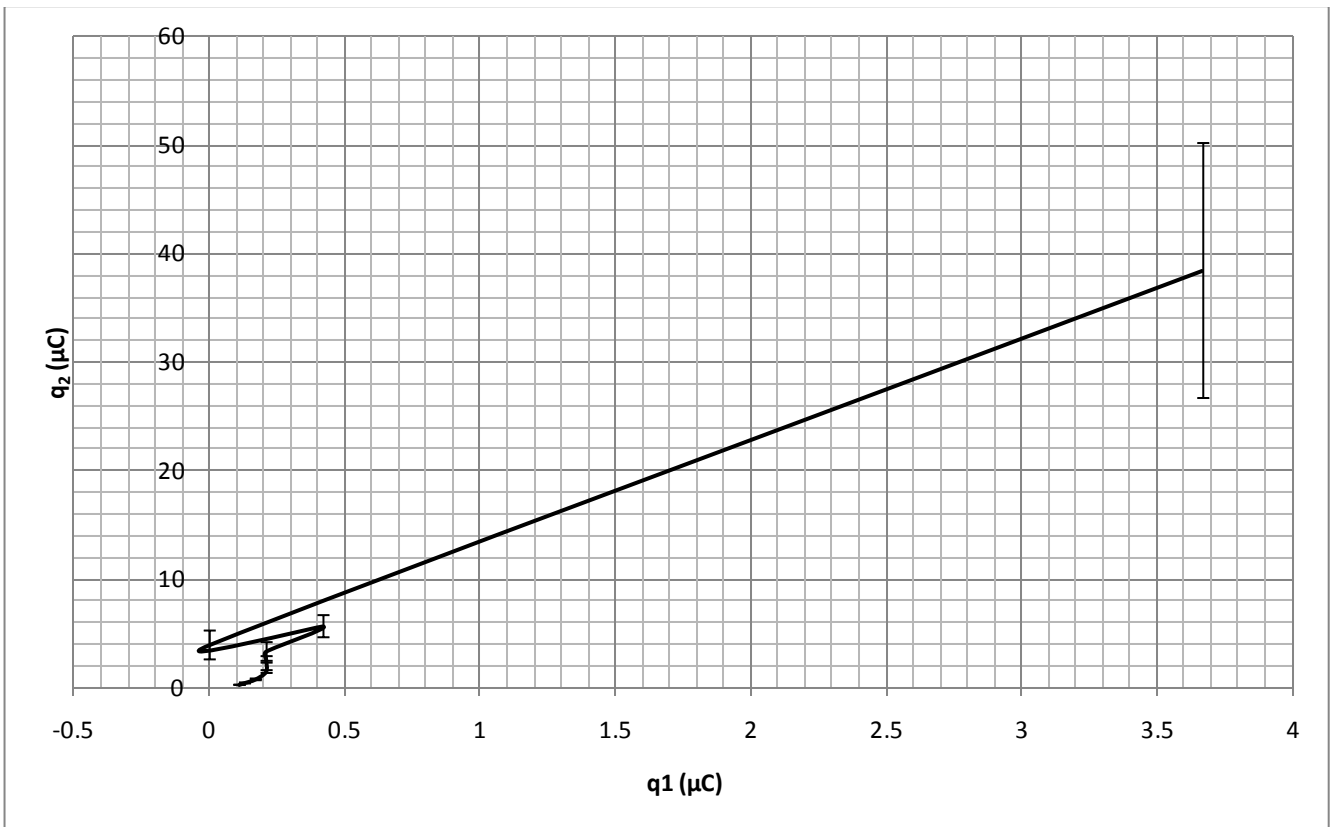
Σχήμα 3.3-14 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή’ υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



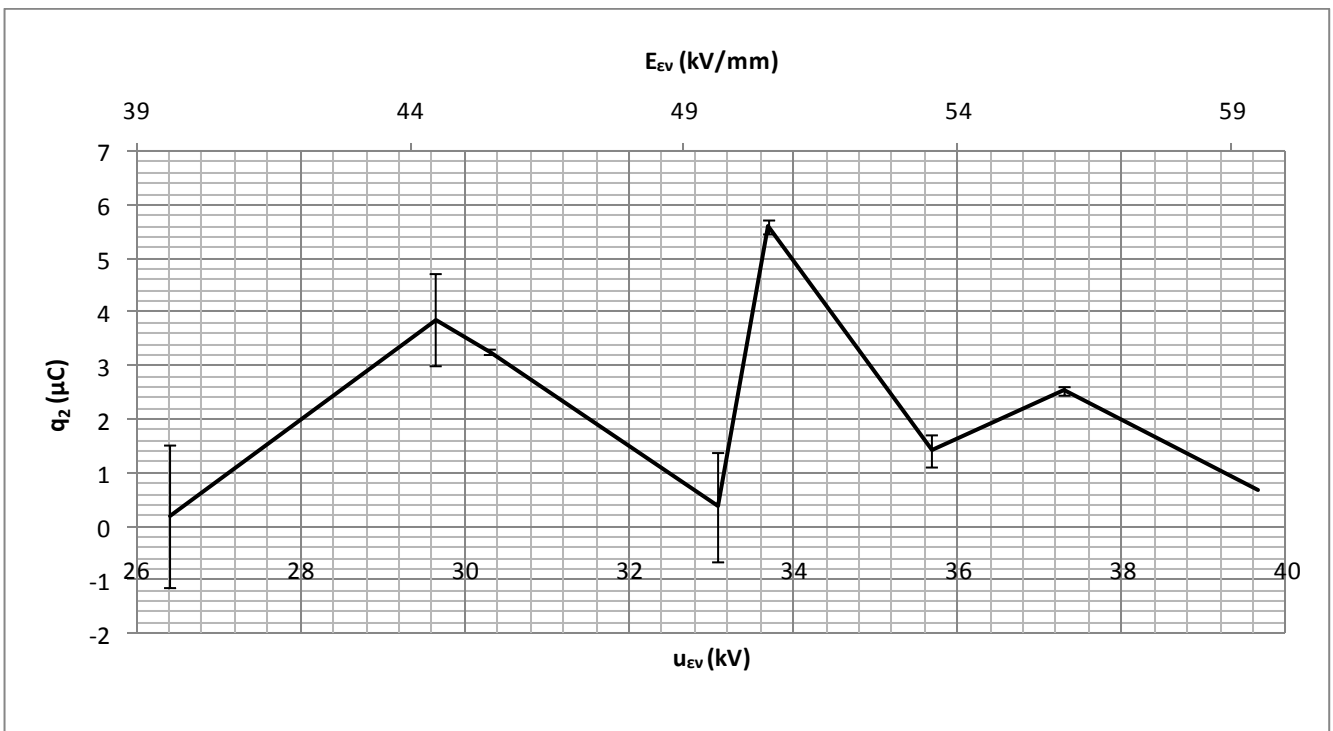
Σχήμα 3.3-15 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού ‘πεπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



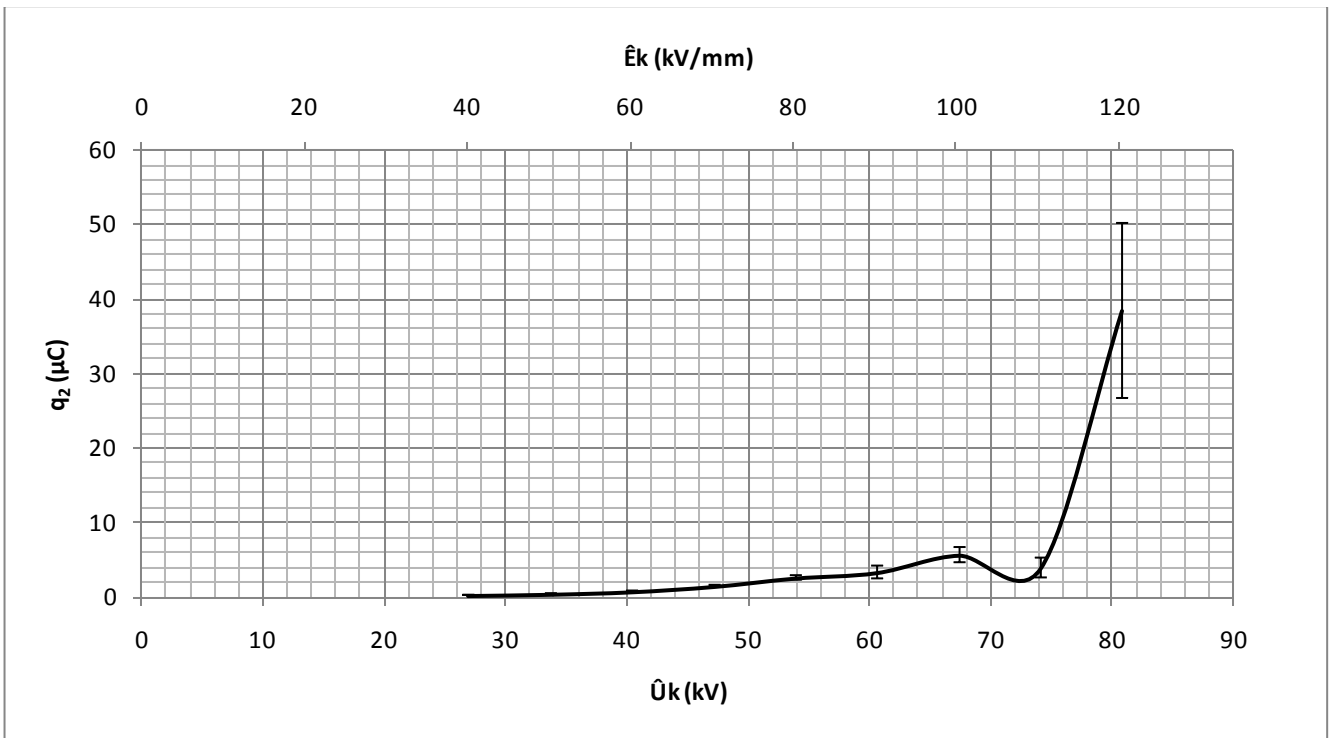
Σχήμα 3.3-16 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(U_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού ‘πεπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



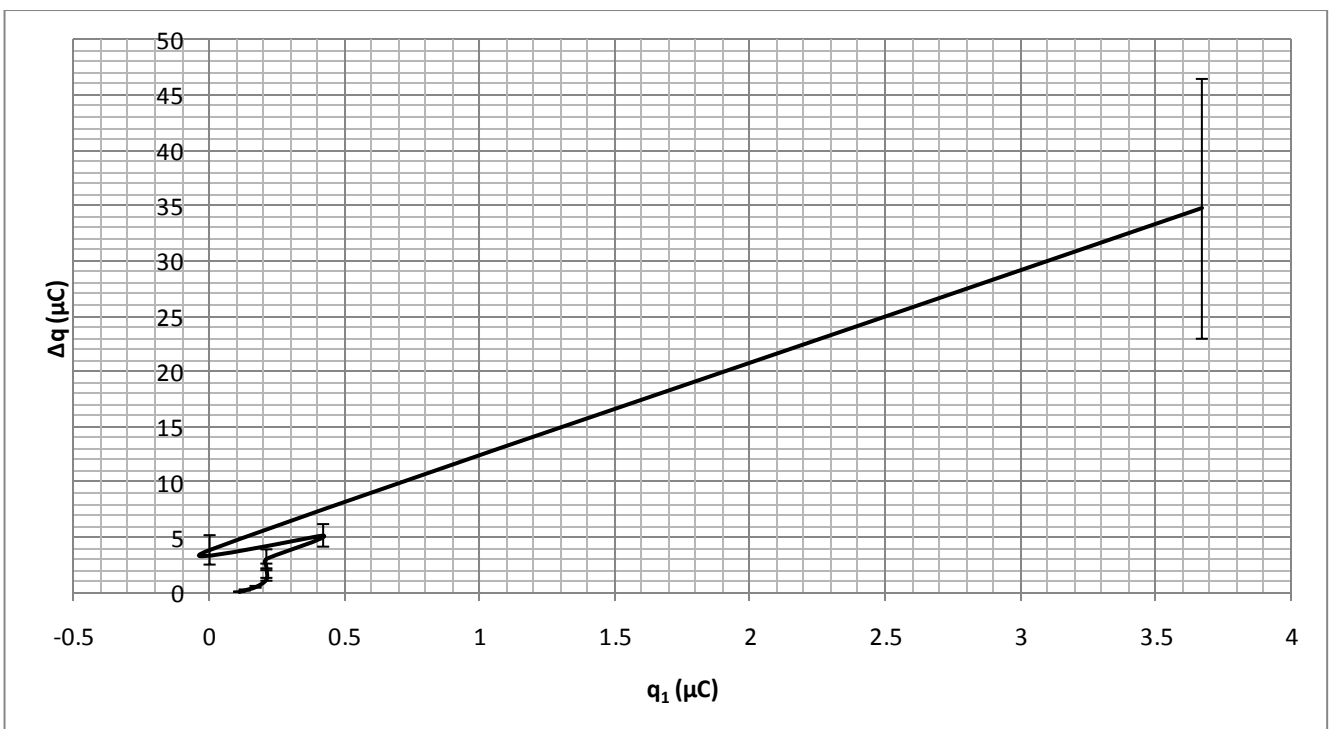
Σχήμα 3.3-17 : Χααρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, d=2mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



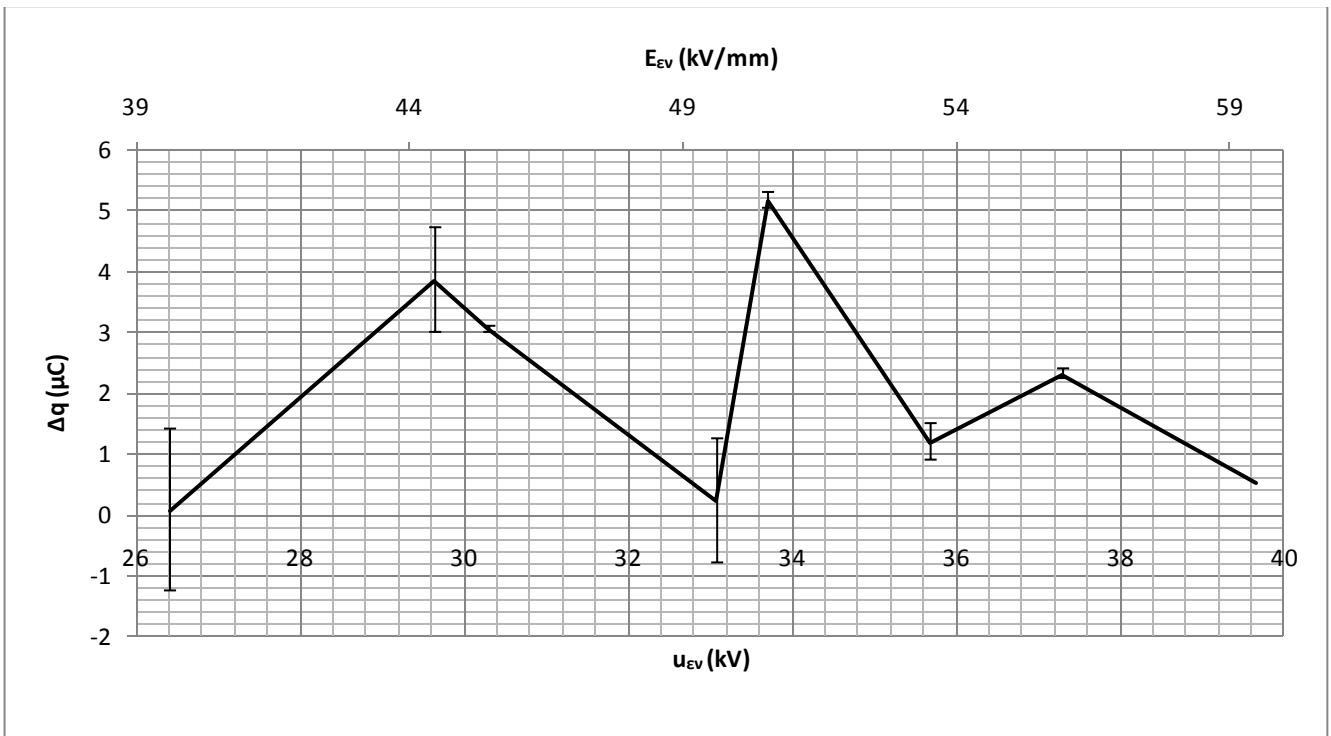
Σχήμα 3.3-18 : Χααρακτηριστική $q_2=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού ‘πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή’ υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, d=2mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



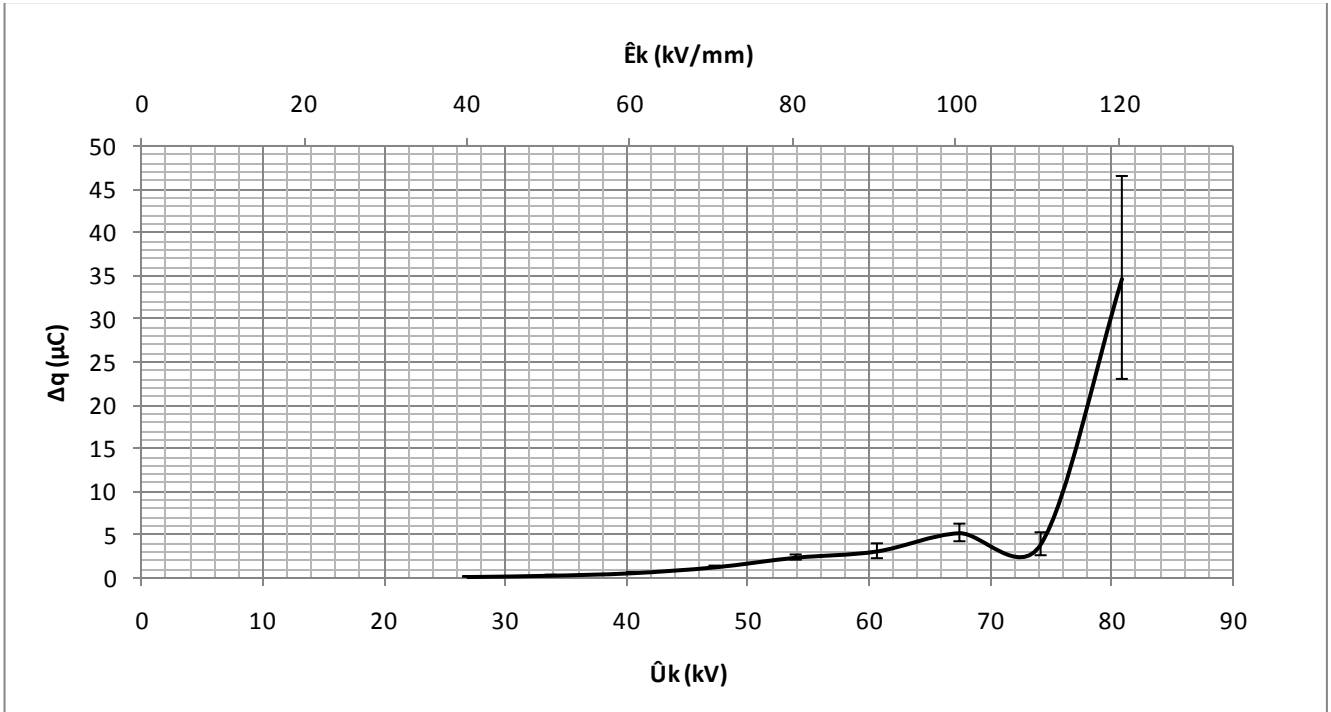
Σχήμα 3.3-19 : Χαρακτηριστική $q_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



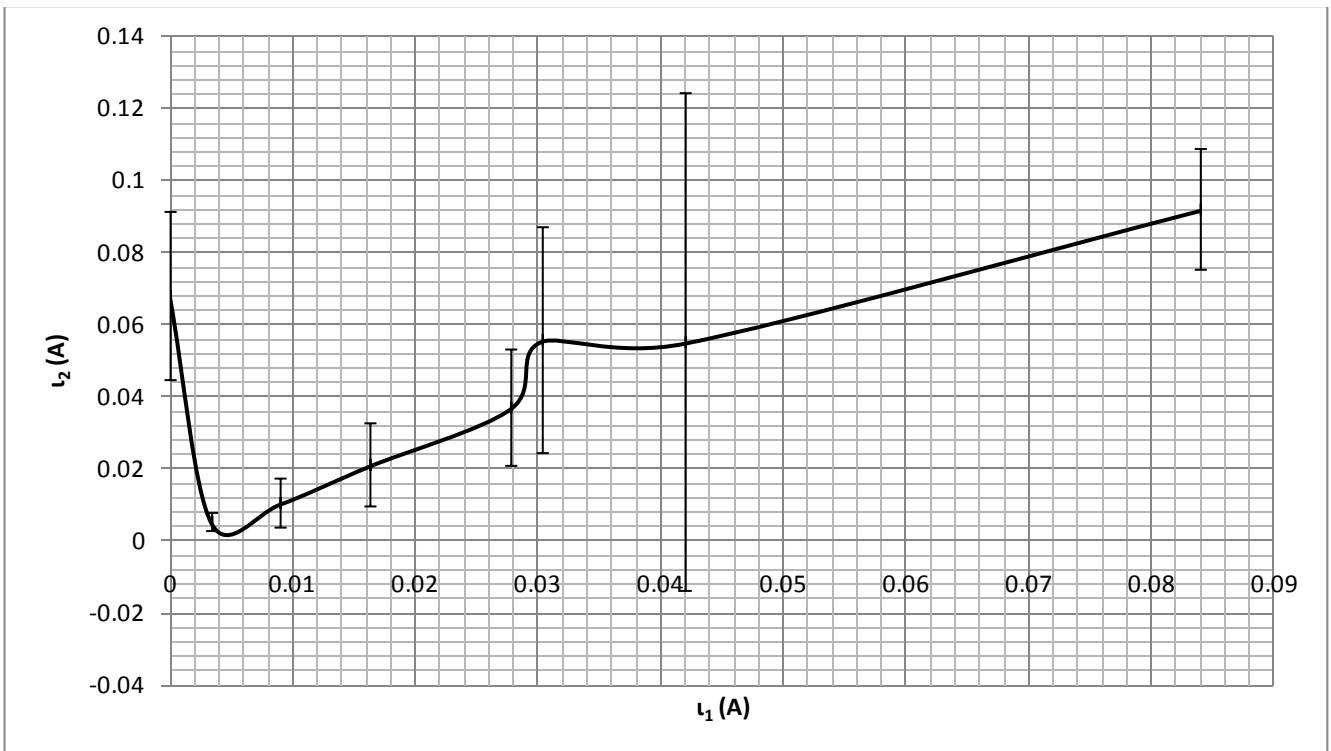
Σχήμα 3.3-20 : Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασ των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q=q_2-q_1$)
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



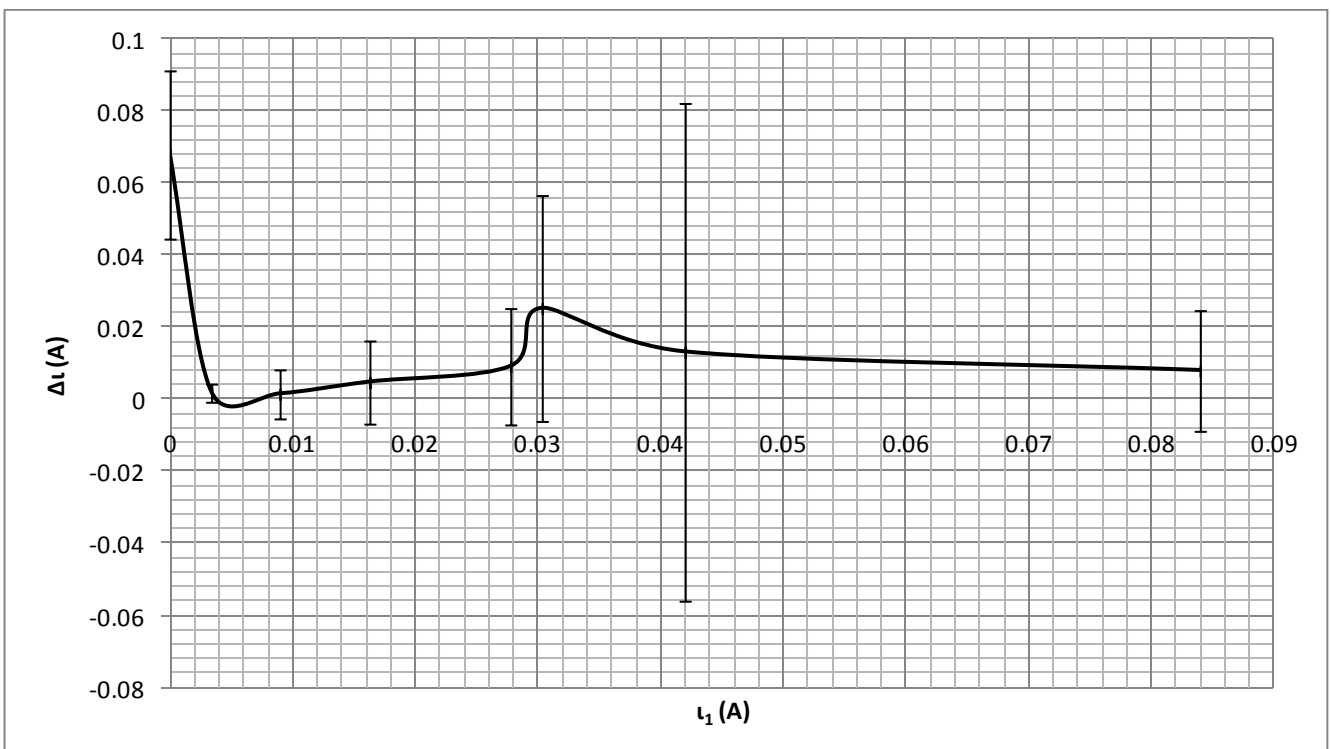
Σχήμα 3.3-21 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



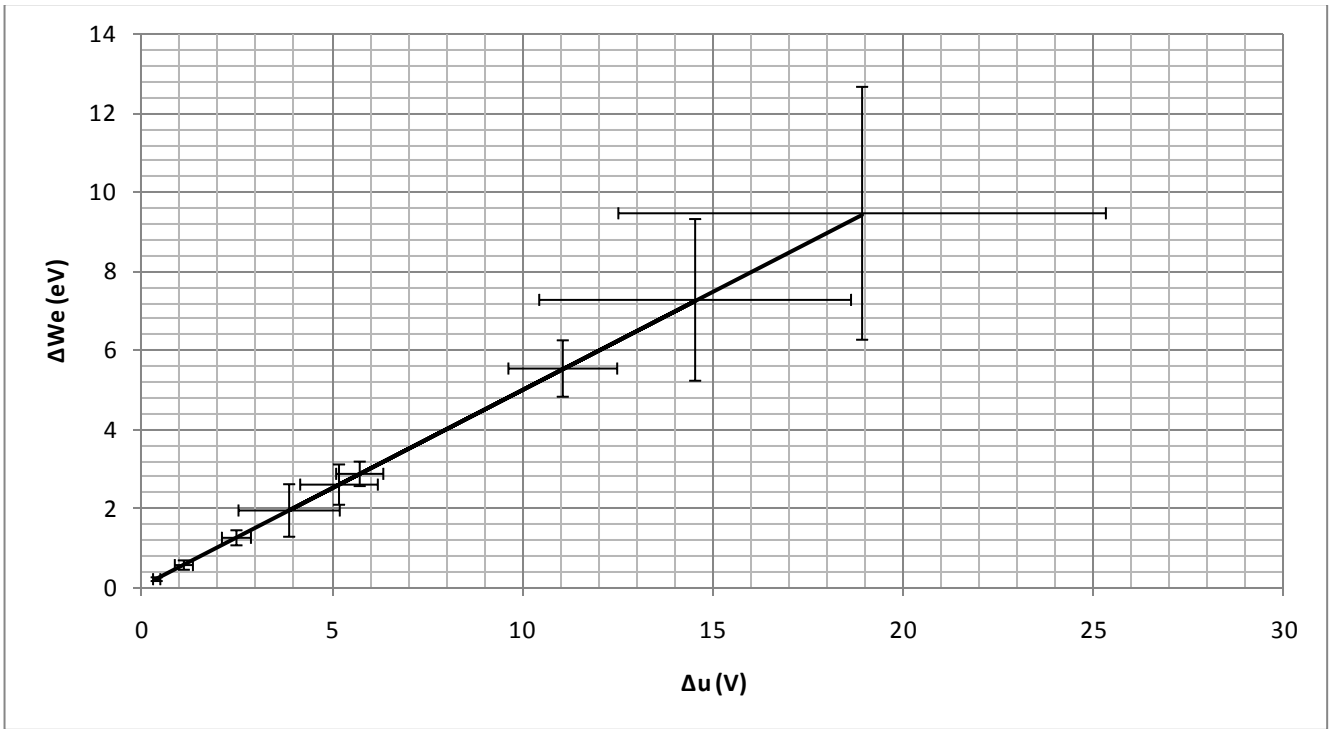
Σχήμα 3.3-22 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



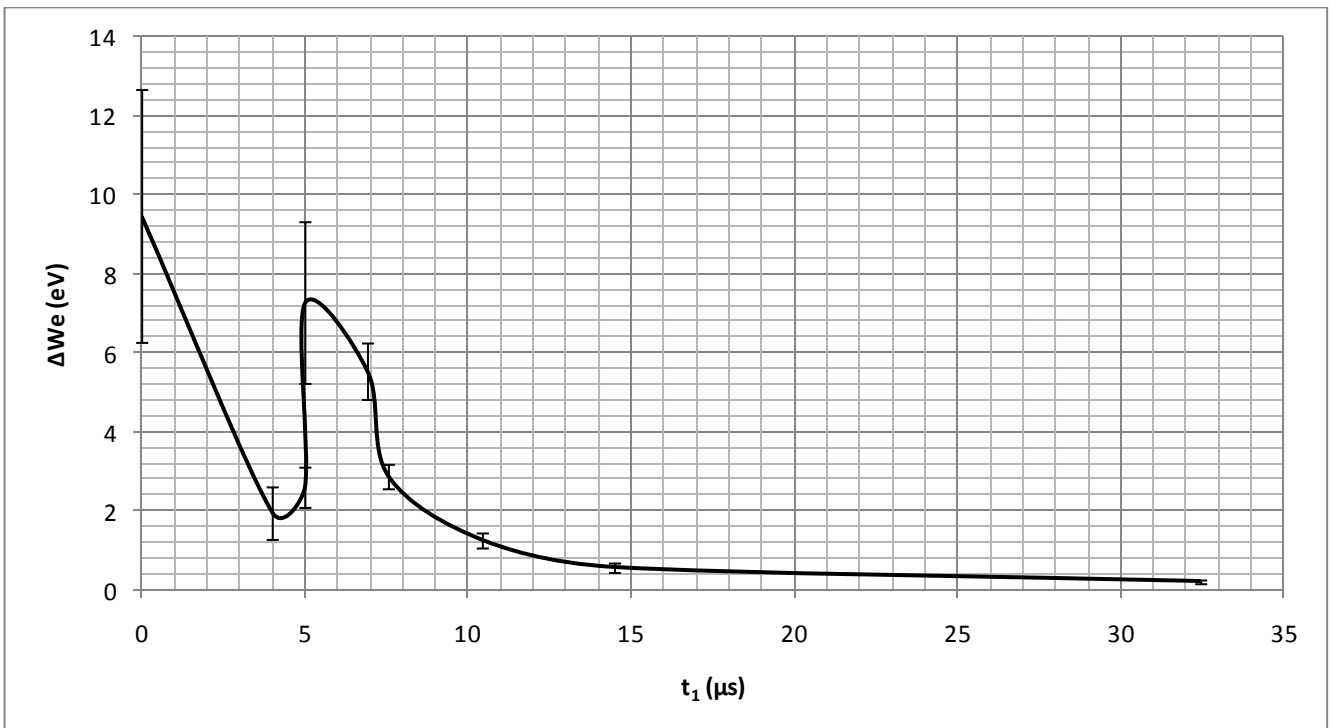
Σχήμα 3.3-23 : Χαρακτηριστική $I_2=f(I_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 I_2 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 I_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



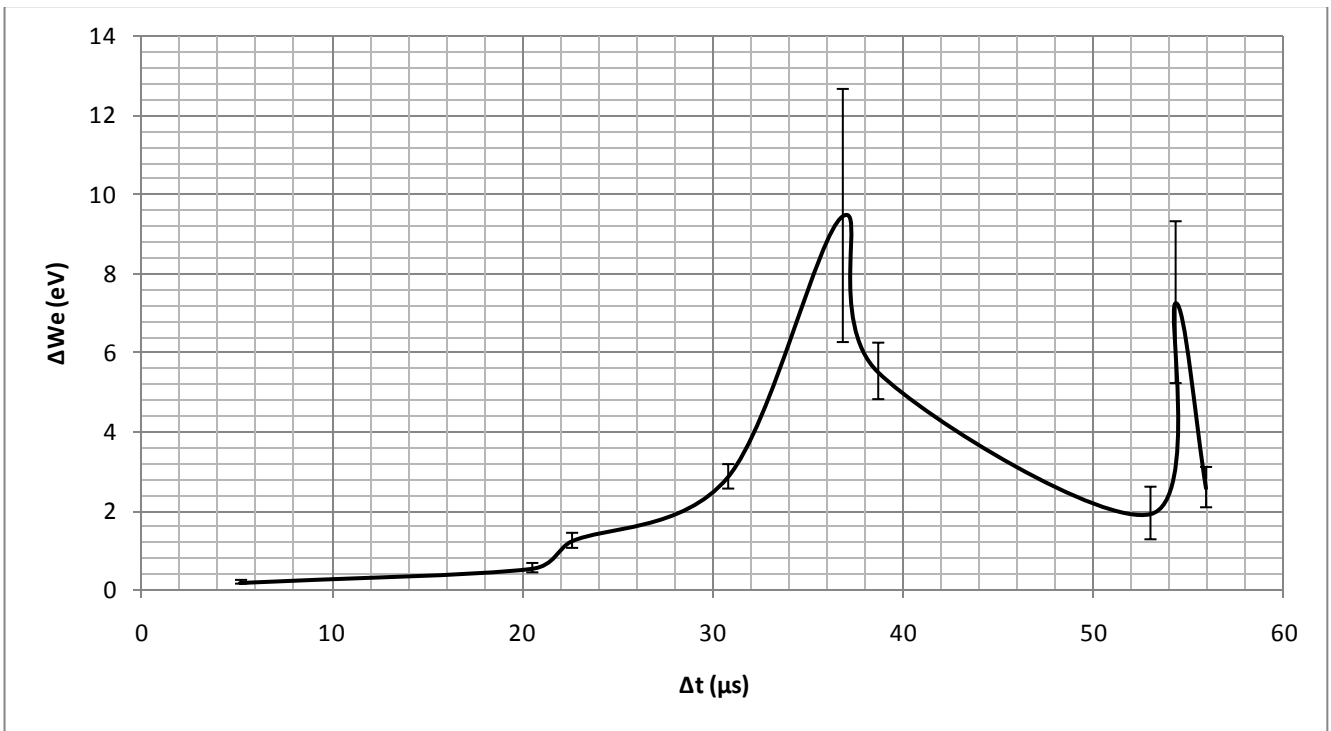
Σχήμα 3.3-24 : Χαρακτηριστική $\Delta I=f(I_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔI : Η διαφορά της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ και την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta I=f(I_1)$)
 I_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



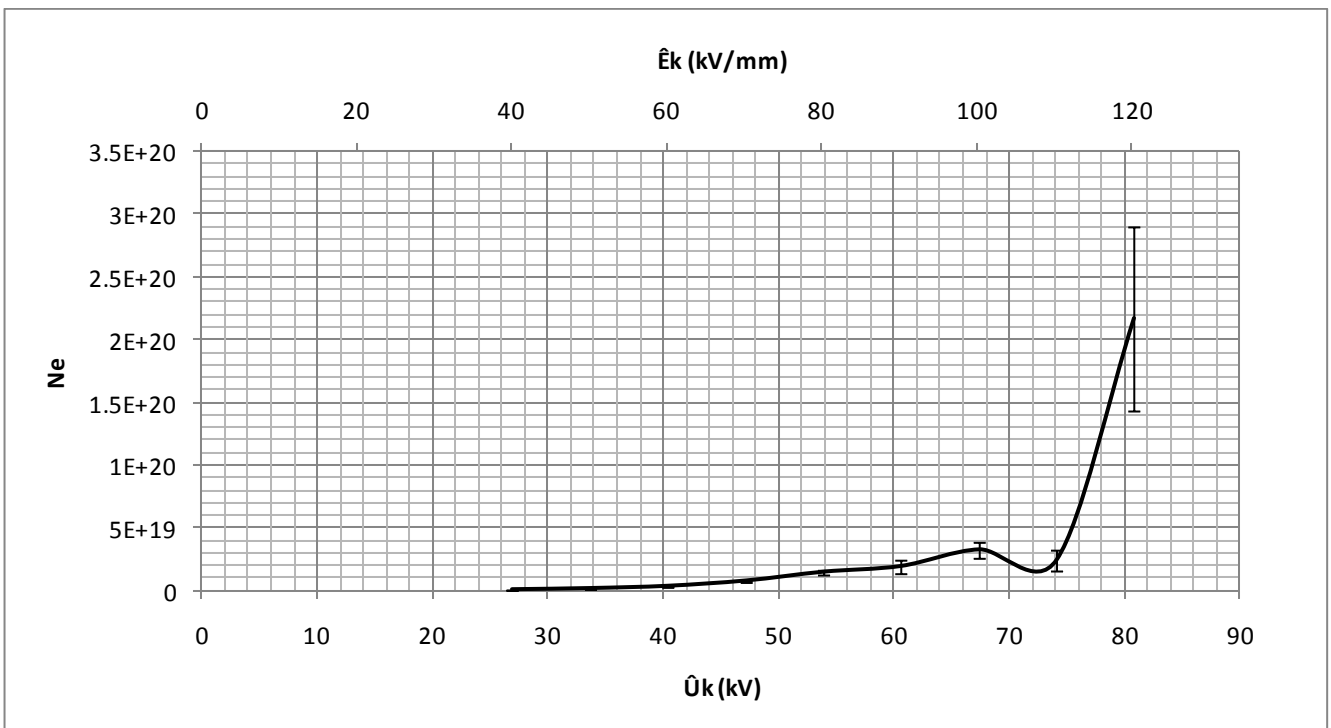
Σχήμα 3.3-25 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta u)$ του συνδυασμού 'πέπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



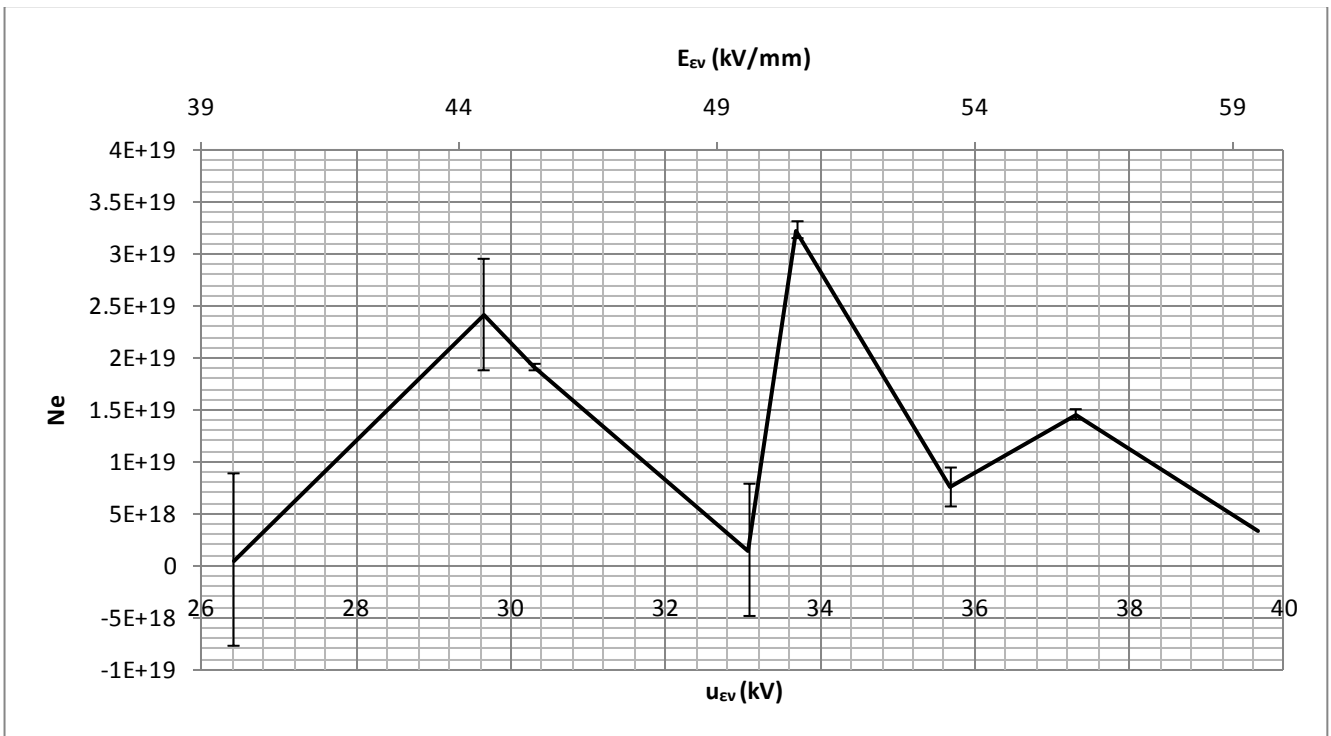
Σχήμα 3.3-26 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(t_1)$ του συνδυασμού 'πέπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



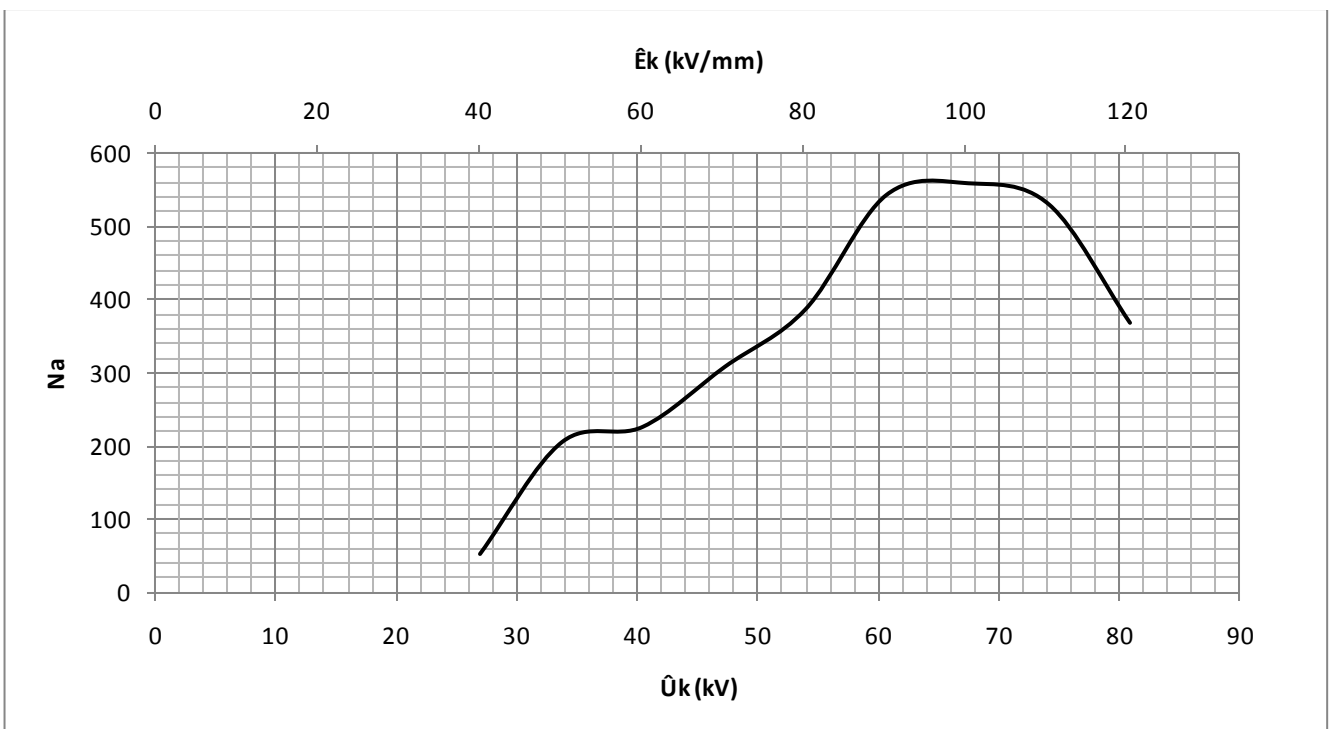
Σχήμα 3.3-27 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta t)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



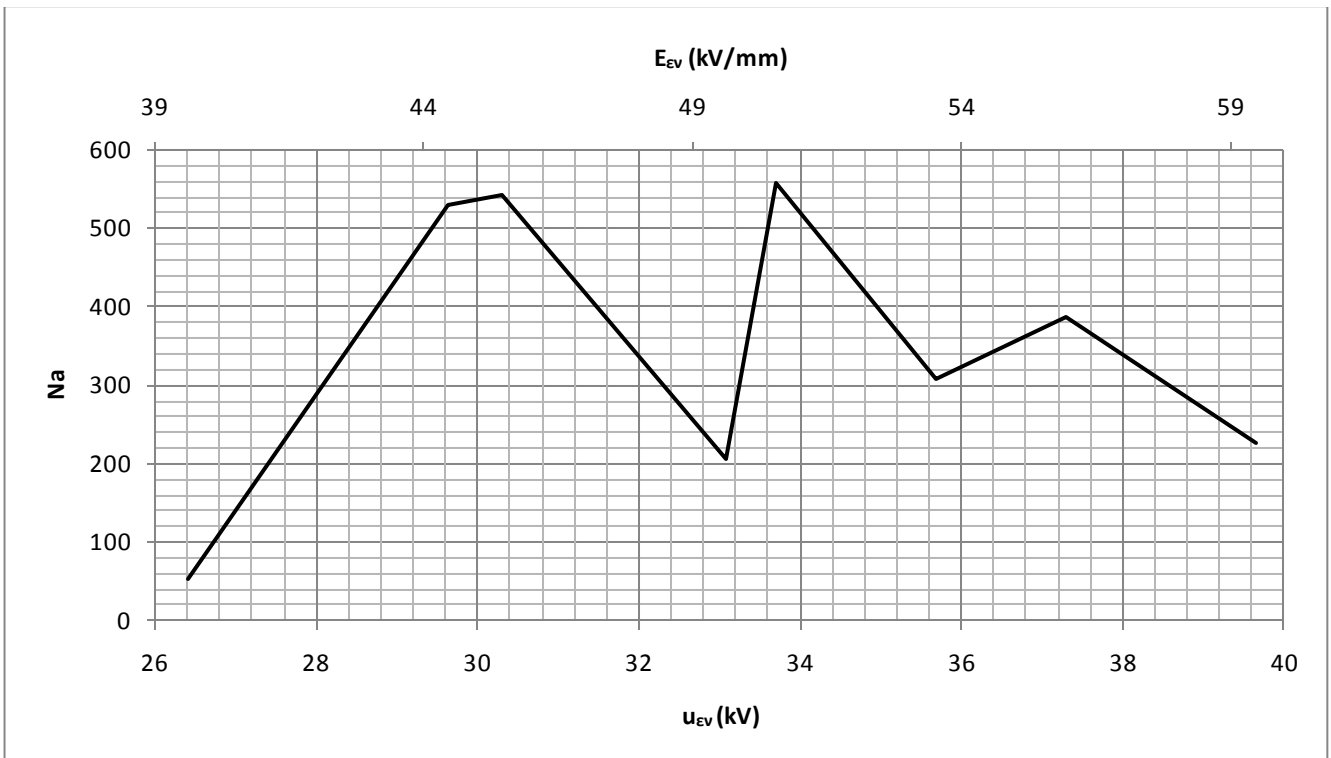
Σχήμα 3.3-28 : Χαρακτηριστική $N_e = f(U_0, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 U_0 : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_0
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.3-29 : Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πέπαισμένο χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 \pm : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.3-30 : Χαρακτηριστική $N_a = f(U_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πέπαισμένο χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 \pm : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.3-31 : Χαρακτηριστική $N_a = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση

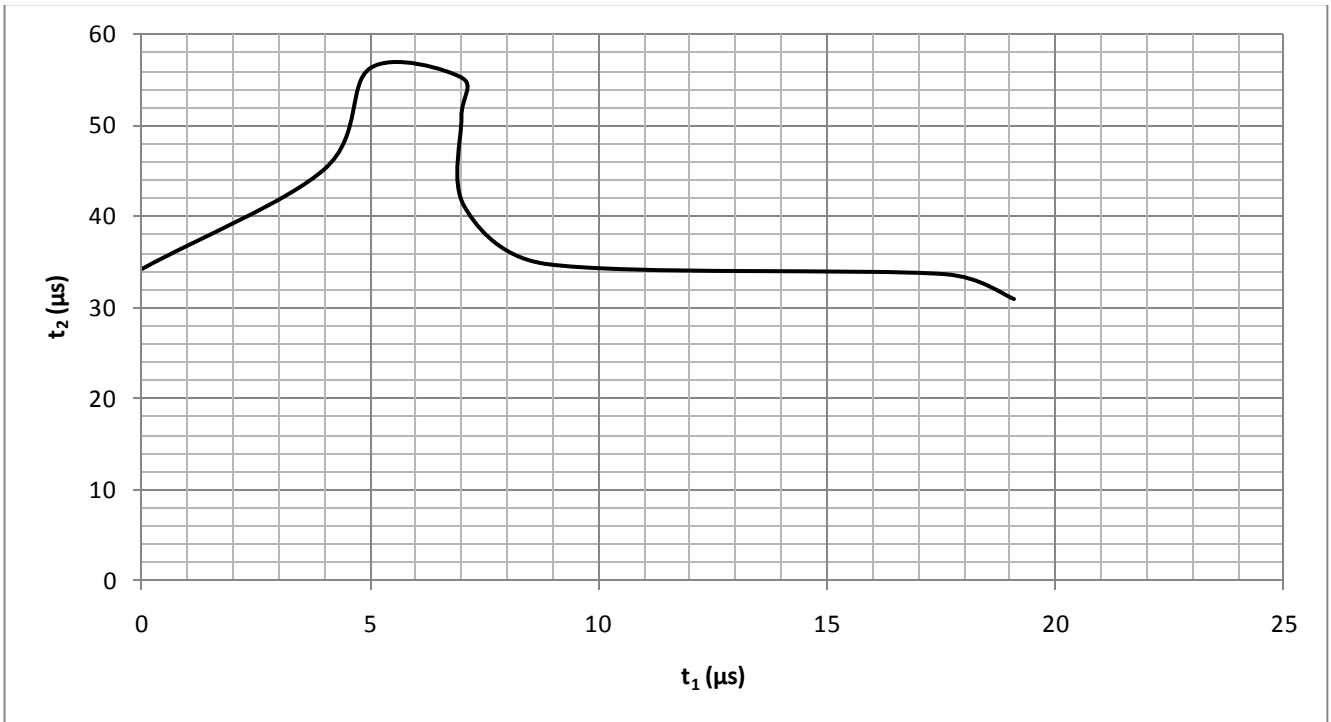
3.4. Κρουστική τάση -10/200 μs για διάκενο $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

\hat{U}_k (kV)	\hat{E}_k (kV/mm)	C_m (nF)	u_1 (V)	u_2 (V)	Δu (V)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	Δt (μs)	q_1 (μC)	q_2 (μC)
28.600	29.090	210.000	0.429	0.667	0.238	19.110	30.890	11.780	0.090	0.140
35.400	36.006	210.000	0.619	1.286	0.667	17.600	33.620	16.020	0.130	0.270
42.100	42.821	210.000	0.810	3.000	2.190	8.840	34.760	25.920	0.170	0.630
48.800	49.636	210.000	0.571	5.333	4.762	7.060	41.120	34.060	0.120	1.120
57.300	58.281	210.000	1.000	8.286	7.286	7.000	50.900	43.900	0.210	1.740
60.600	61.638	210.000	1.000	11.190	10.190	7.000	55.280	48.280	0.210	2.350
64.000	65.096	1000.000	0.200	3.310	3.110	5.000	56.300	51.300	0.200	3.310
67.400	68.554	1000.000	0.000	6.190	6.190	4.000	45.200	41.200	0.000	6.190
70.700	71.911	1835.000	4.916	29.210	24.294	0.000	34.200	34.200	9.021	53.600

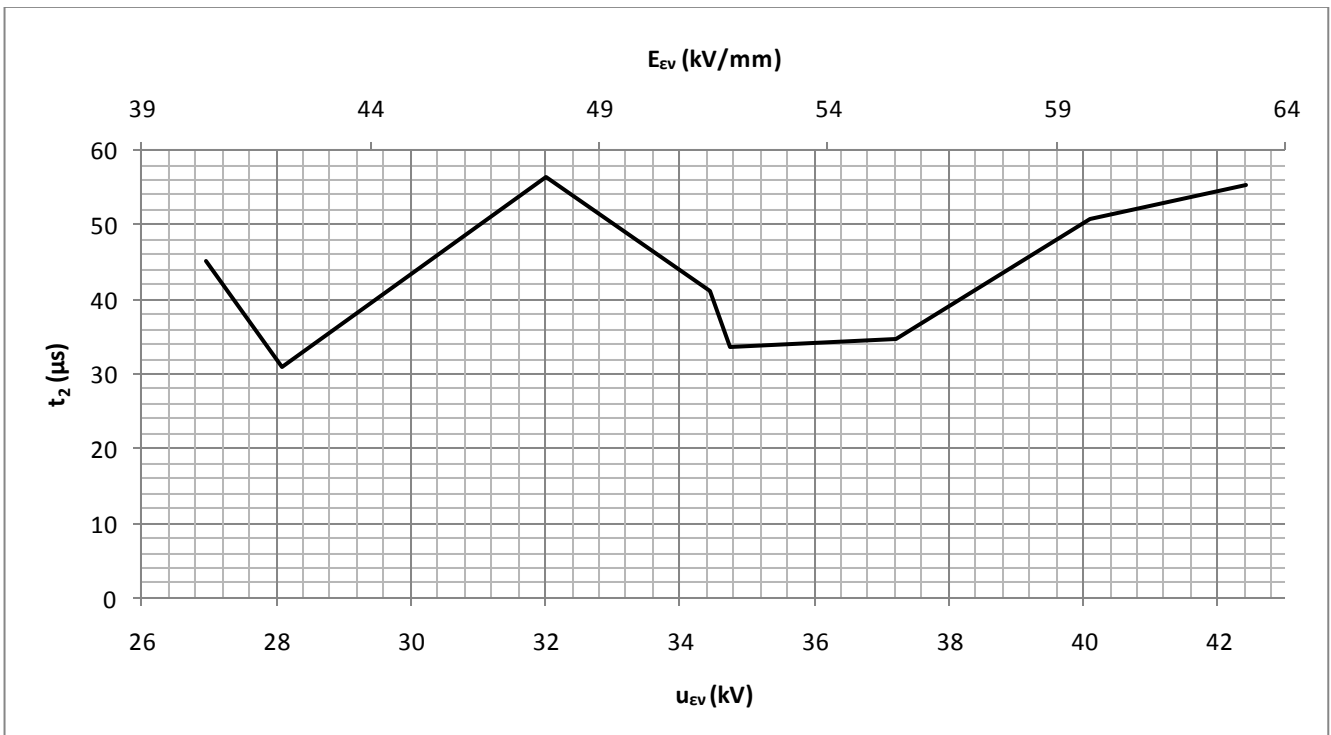
\hat{U}_k (kV)	Δq (μC)	i_1 (A)	i_2 (A)	Δi (A)	u_{ev} (kV)	E_{ev} (kV/mm)	ΔWe (eV)	Ne	Na
28.600	0.050	0.005	0.005	0.000	28.073	28.554	0.119	3.12E+17	118
35.400	0.140	0.007	0.008	0.001	34.748	35.343	0.334	8.74E+17	160
42.100	0.460	0.019	0.018	-0.001	37.216	37.854	1.095	2.87E+18	259
48.800	1.000	0.017	0.027	0.010	34.453	35.042	2.381	6.24E+18	341
57.300	1.530	0.030	0.034	0.004	40.110	40.797	3.643	9.55E+18	439
60.600	2.140	0.030	0.043	0.013	42.420	43.146	5.095	1.34E+19	483
64.000	3.110	0.040	0.059	0.019	32.000	32.548	1.555	1.94E+19	513
67.400	6.190	0.000	0.137	0.137	26.960	27.422	3.095	3.86E+19	412
70.700	44.579	0.000	1.567	0.000	0.000	0.000	12.147	2.78E+20	342

Πίνακας 3.4-1: Στατιστική ανάλυση των μερικών εκκενώσεων με βάση τα μεγέθη που ορίστηκαν στα σχήματα 2-1, 2-2, 2-3 και στις σχέσεις 2-1 έως 2-8 για κρουστική τάση +10/200, $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

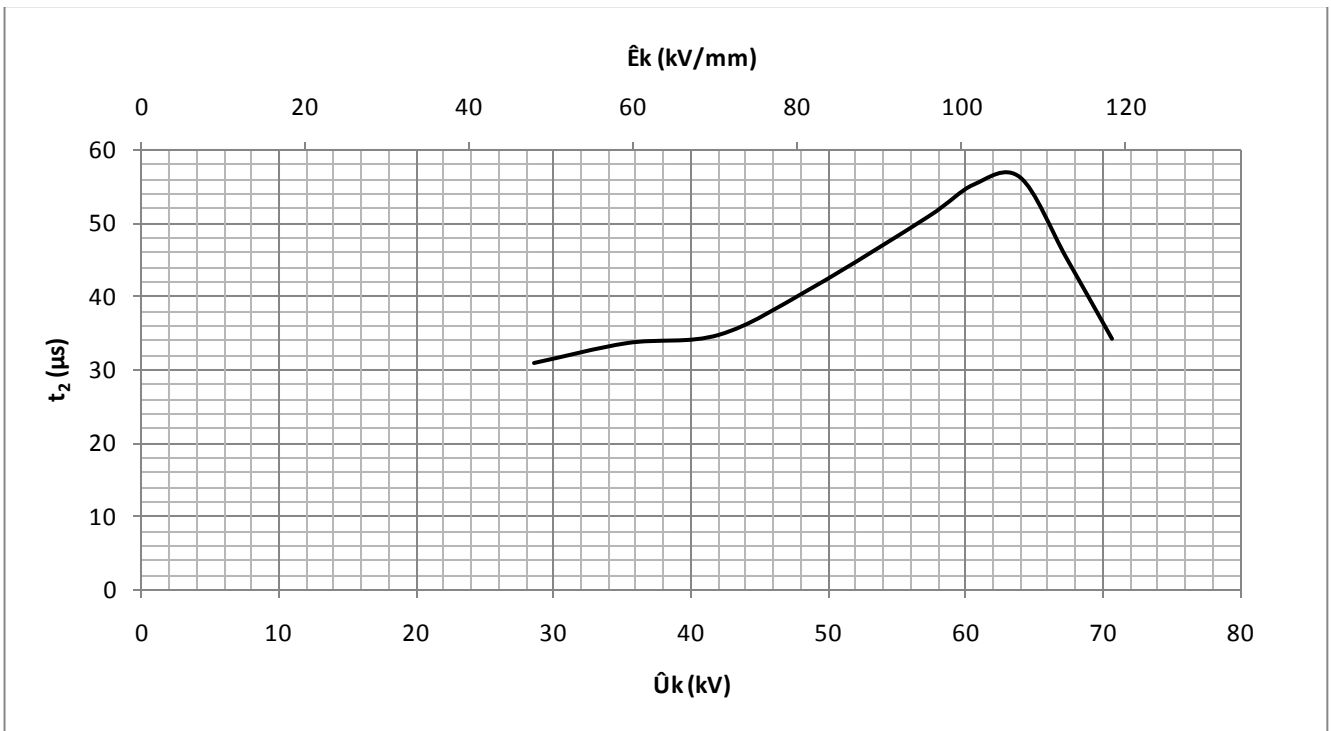
\hat{U}_k	Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
\hat{E}_k	Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
C_m	Πυκνωτής μέτρησης
u_1	Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
u_2	Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δu	$u_2 - u_1$
q_1	Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
q_2	Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δq	$q_2 - q_1$
t_1	Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
t_2	Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δt	$t_2 - t_1$
i_1	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
i_2	Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Δi	$i_2 - i_1$
u_{ev}	Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
E_{ev}	Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}
ΔWe	Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
Ne	Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
Na	Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού



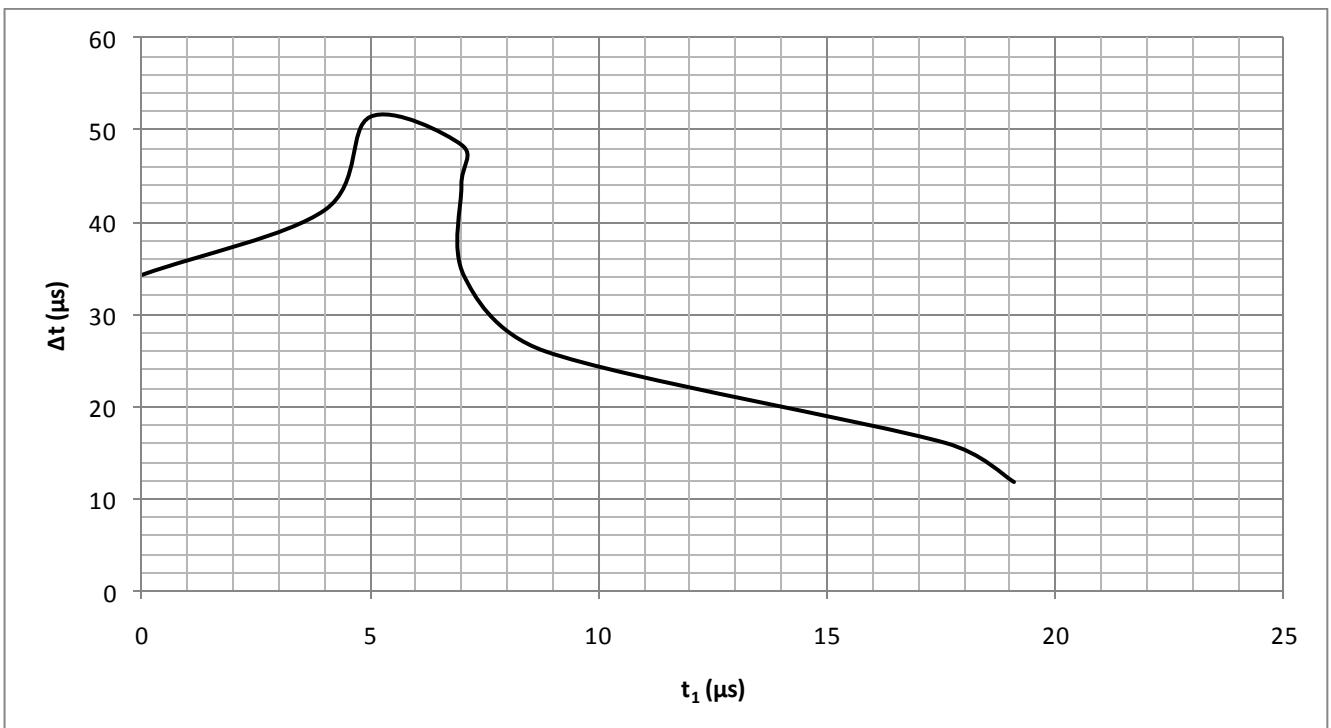
Σχήμα 3.4-1 : Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



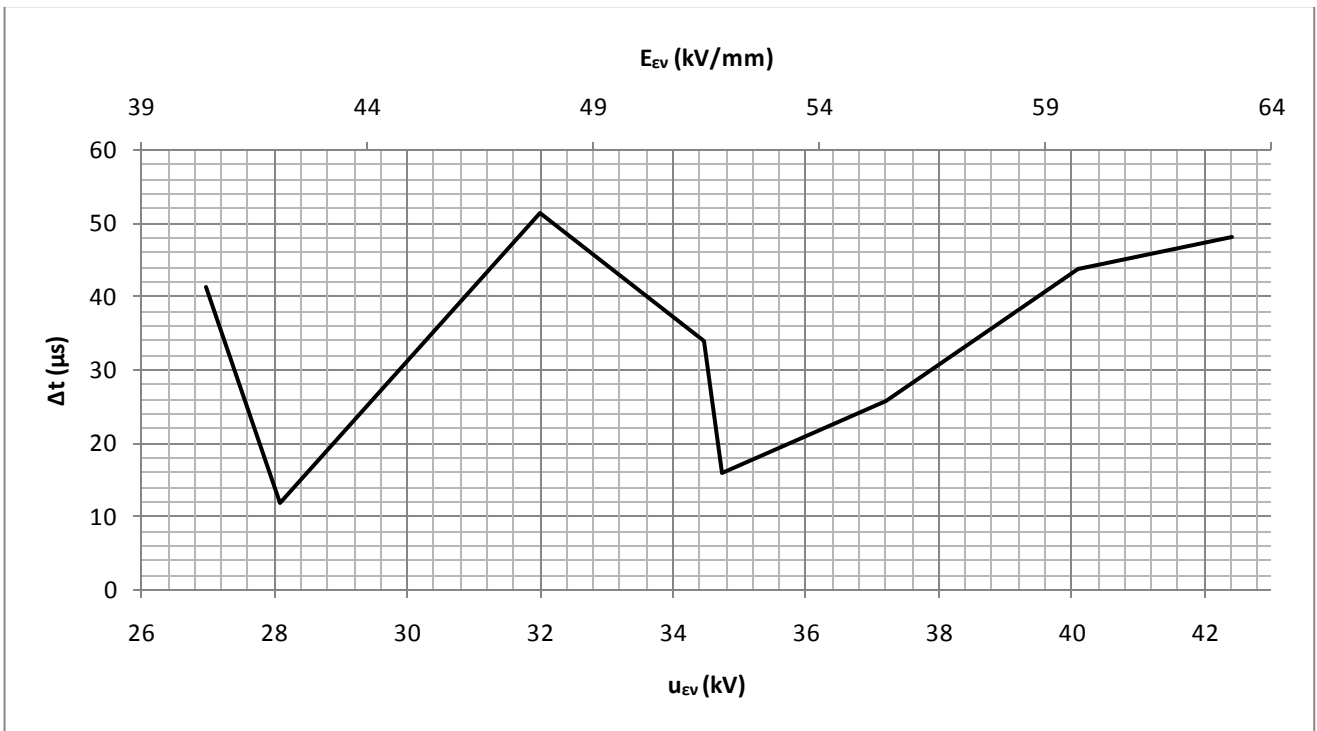
Σχήμα 3.4-2 : Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπαισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}



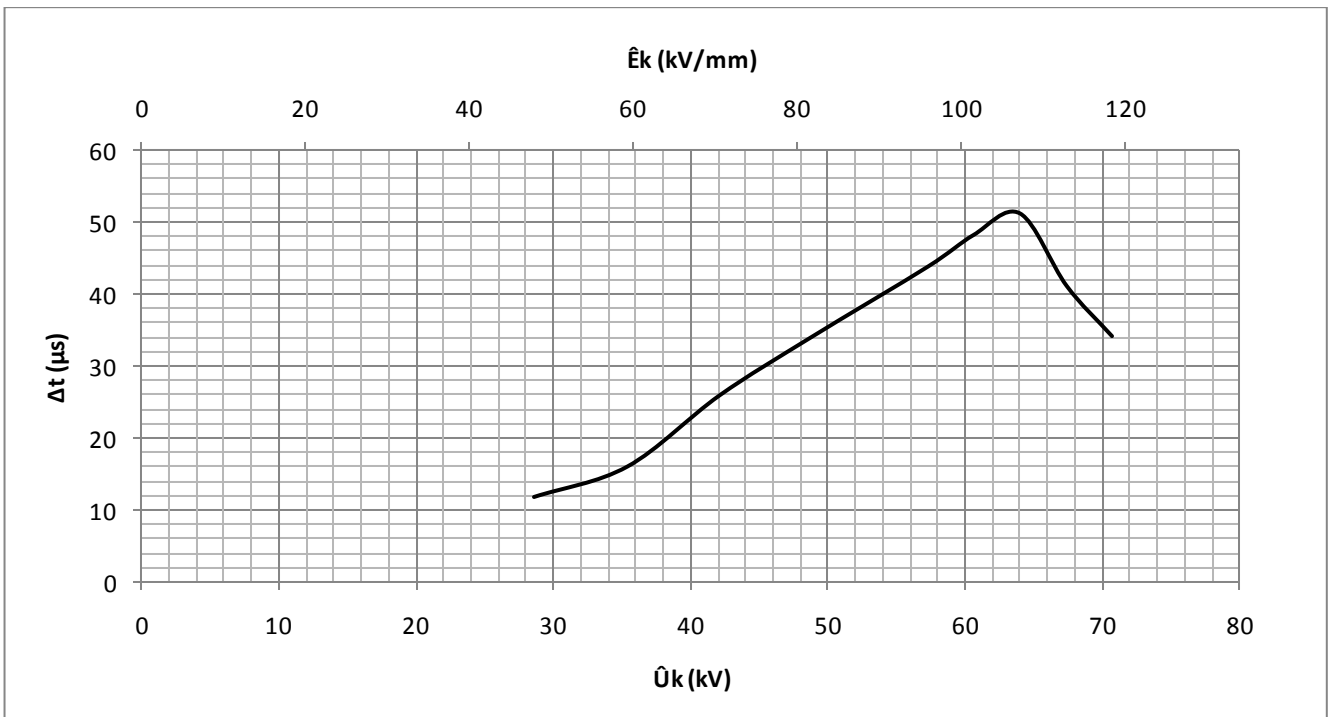
Σχήμα 3.4-3 : Χαρακτηριστική $t_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



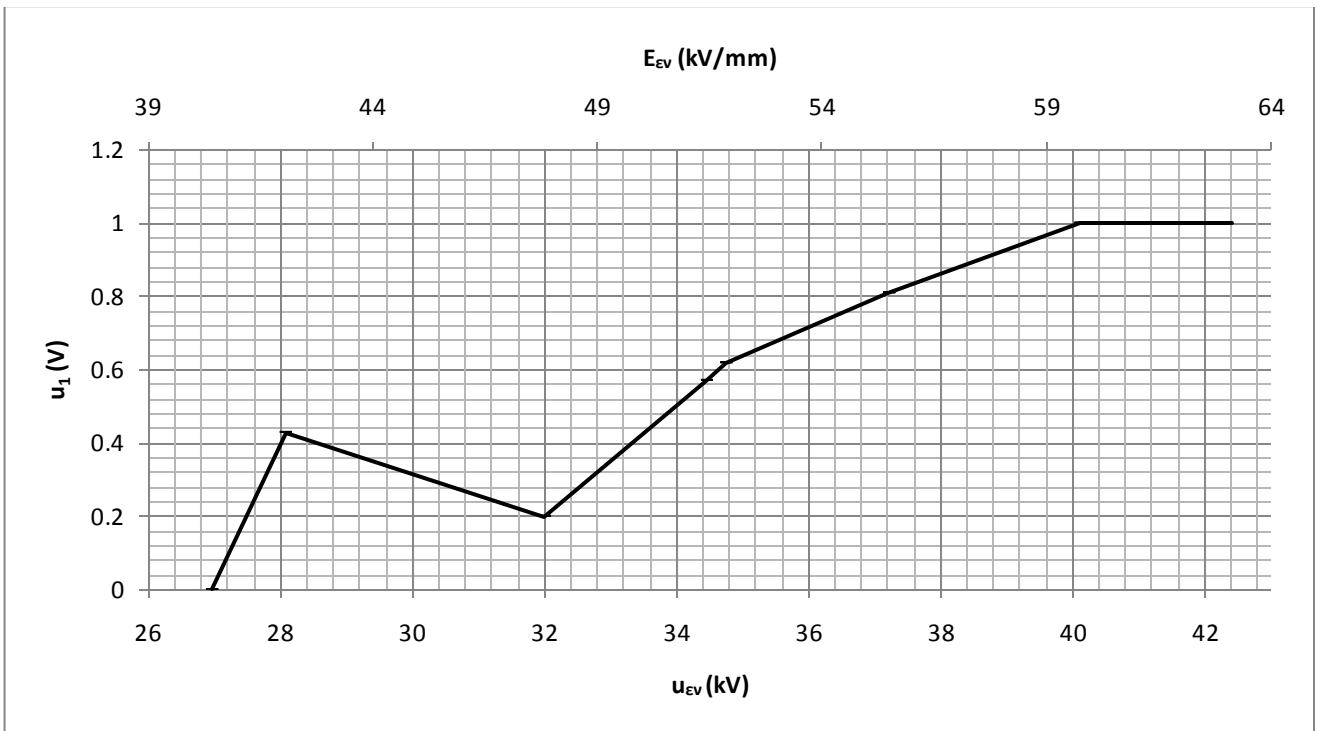
Σχήμα 3.4-4 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρας μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



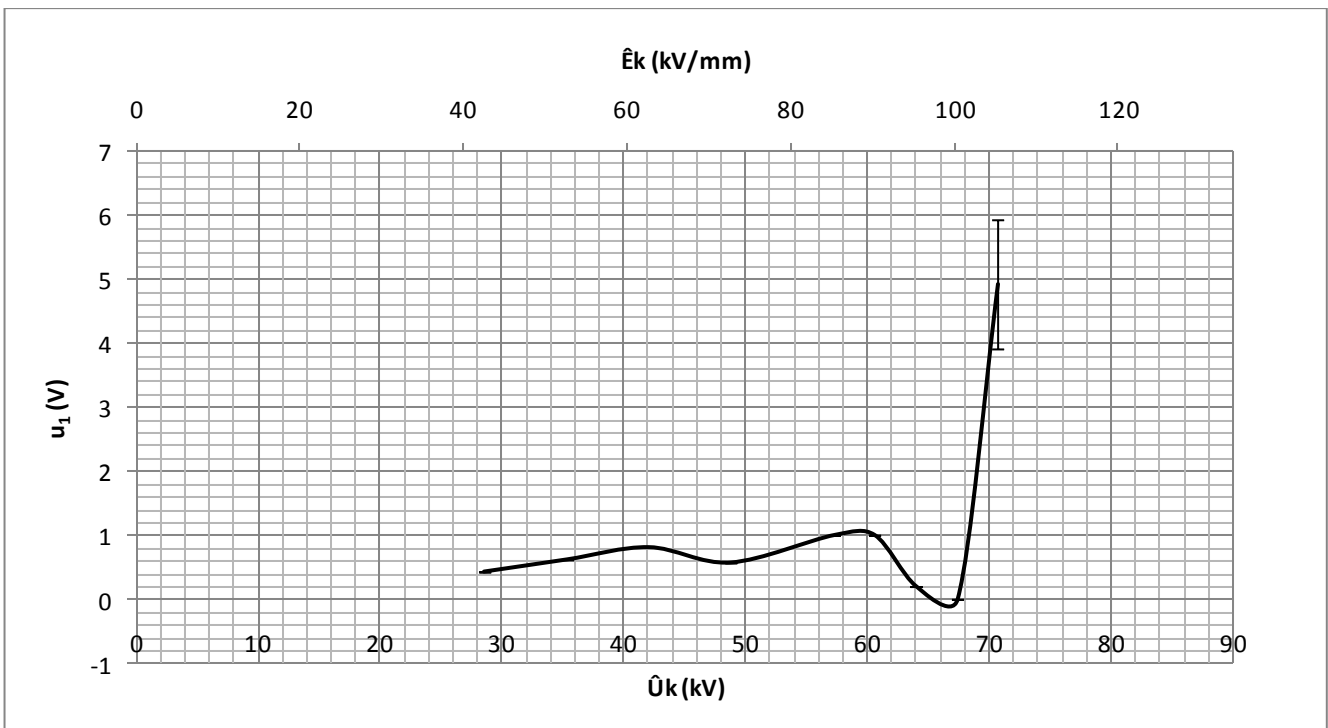
Σχήμα 3.4-5 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}



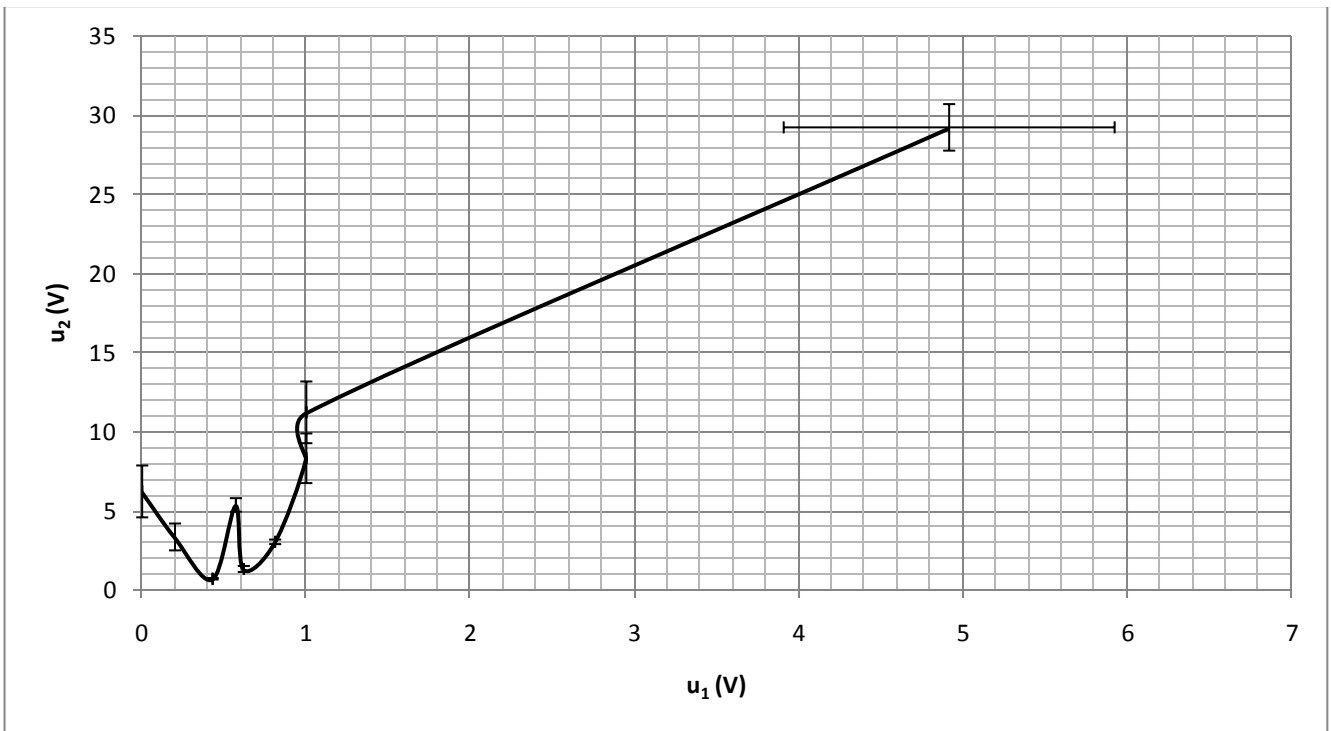
Σχήμα 3.4-6 : Χαρακτηριστική $\Delta t=f(U_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2 mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t=t_2-t_1$)
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k



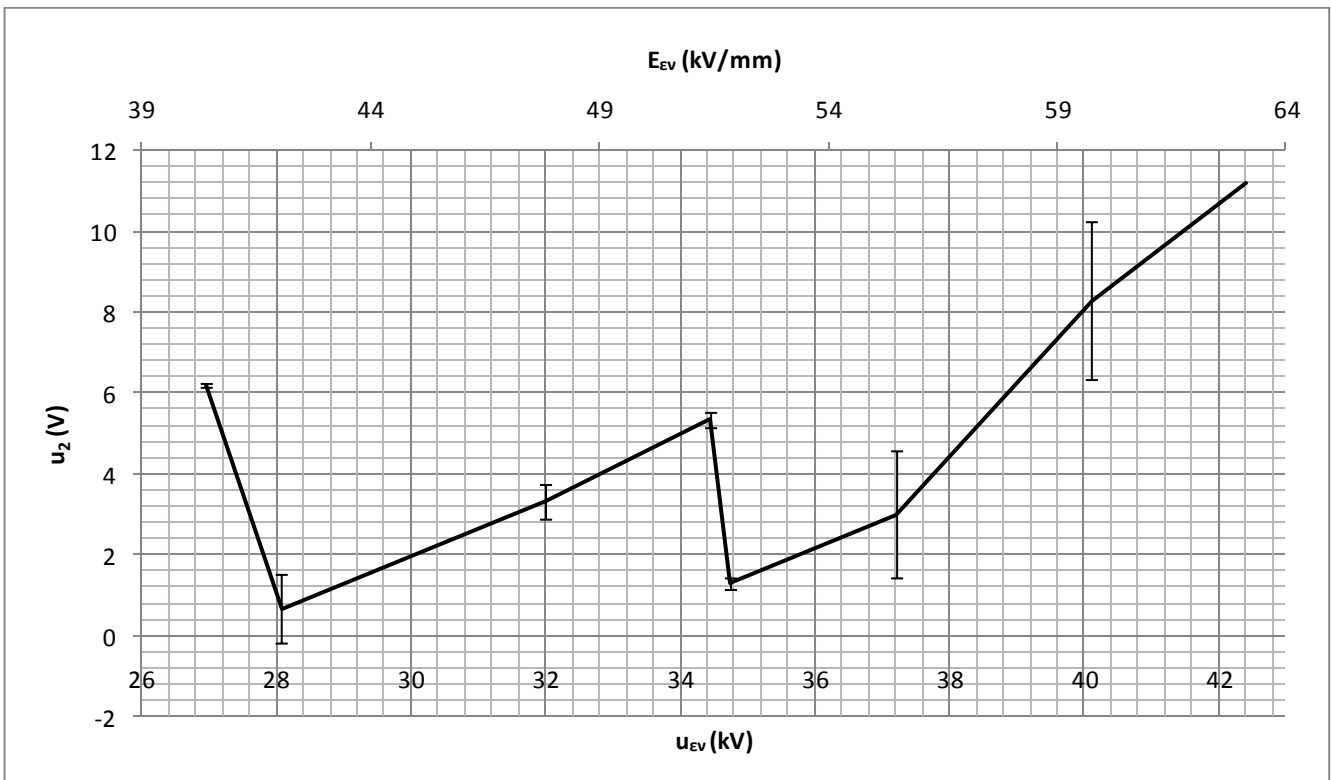
Σχήμα 3.4-7 : Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}



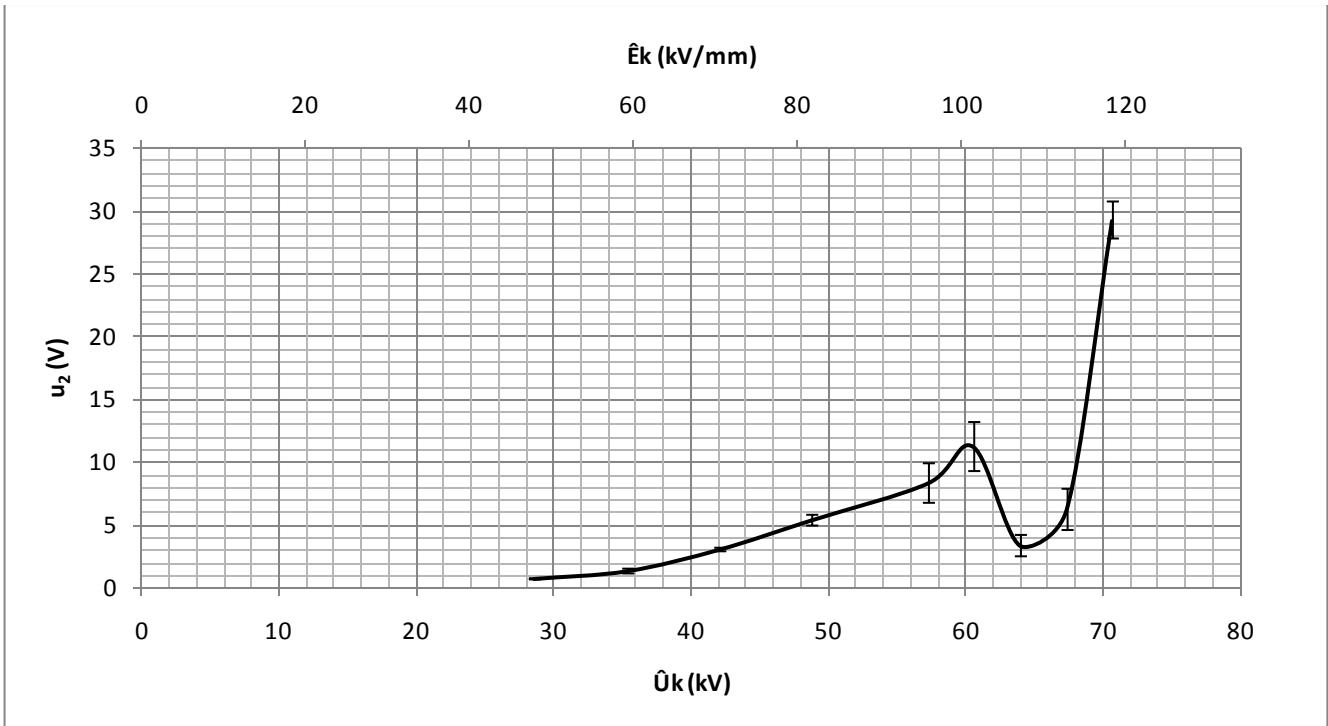
Σχήμα 3.4-8 : Χαρακτηριστική $u_1=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



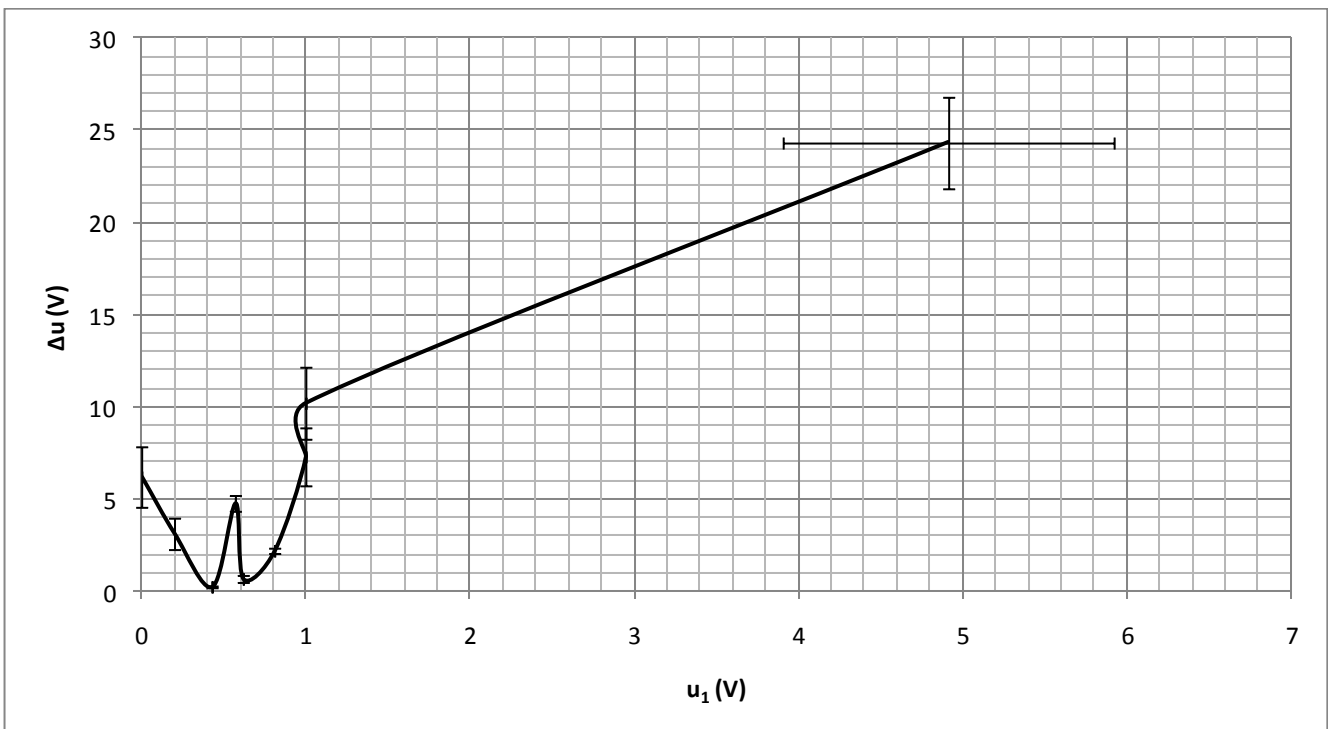
Σχήμα 3.4-9 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση -10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_1 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



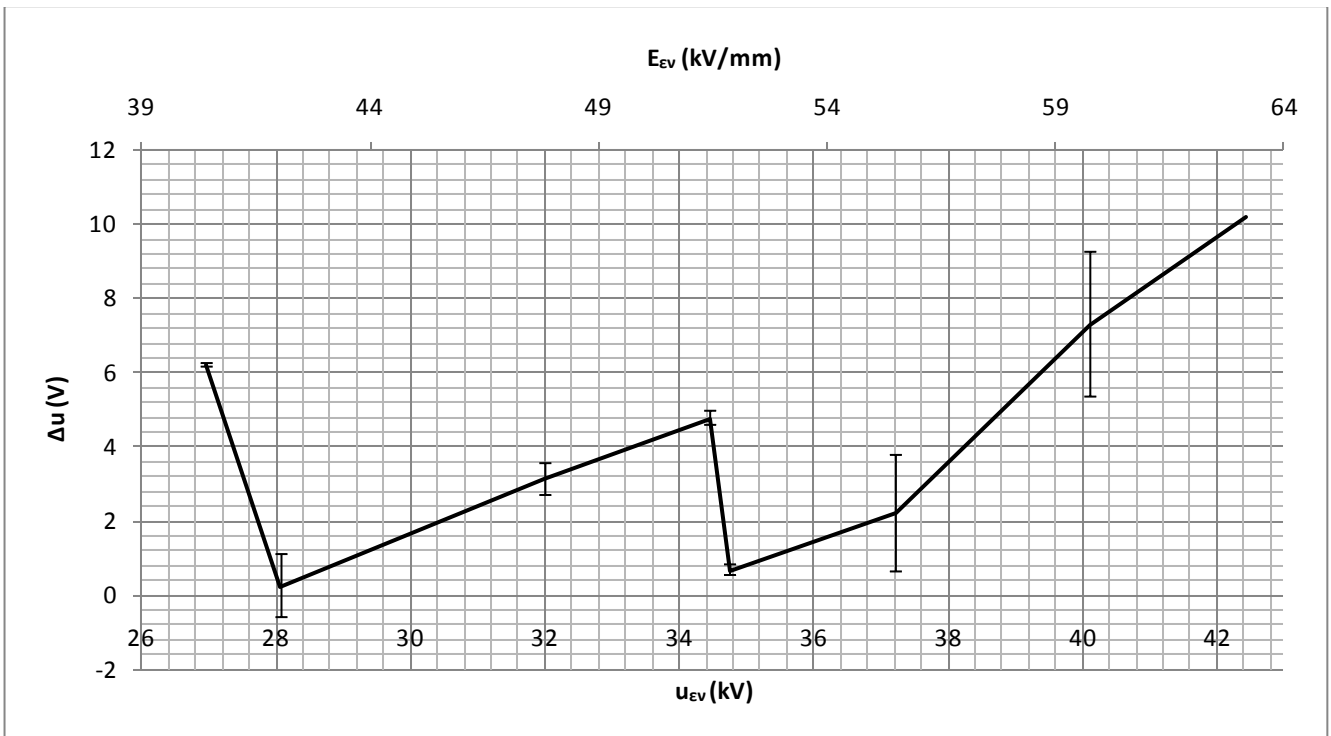
Σχήμα 3.4-10 : Χαρακτηριστική $u_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση -10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



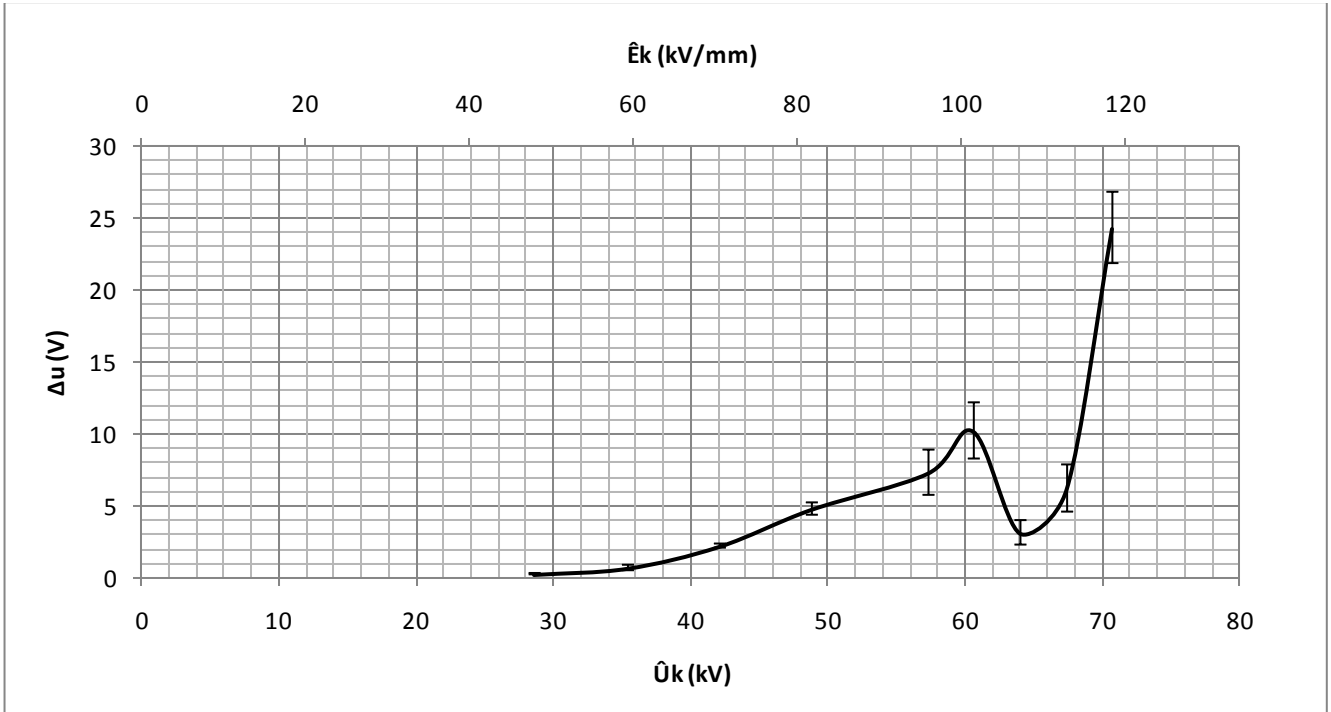
Σχήμα 3.4-11 : Χαρακτηριστική $u_2 = f(\dot{U}_k, \dot{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_2 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \dot{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \dot{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \dot{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



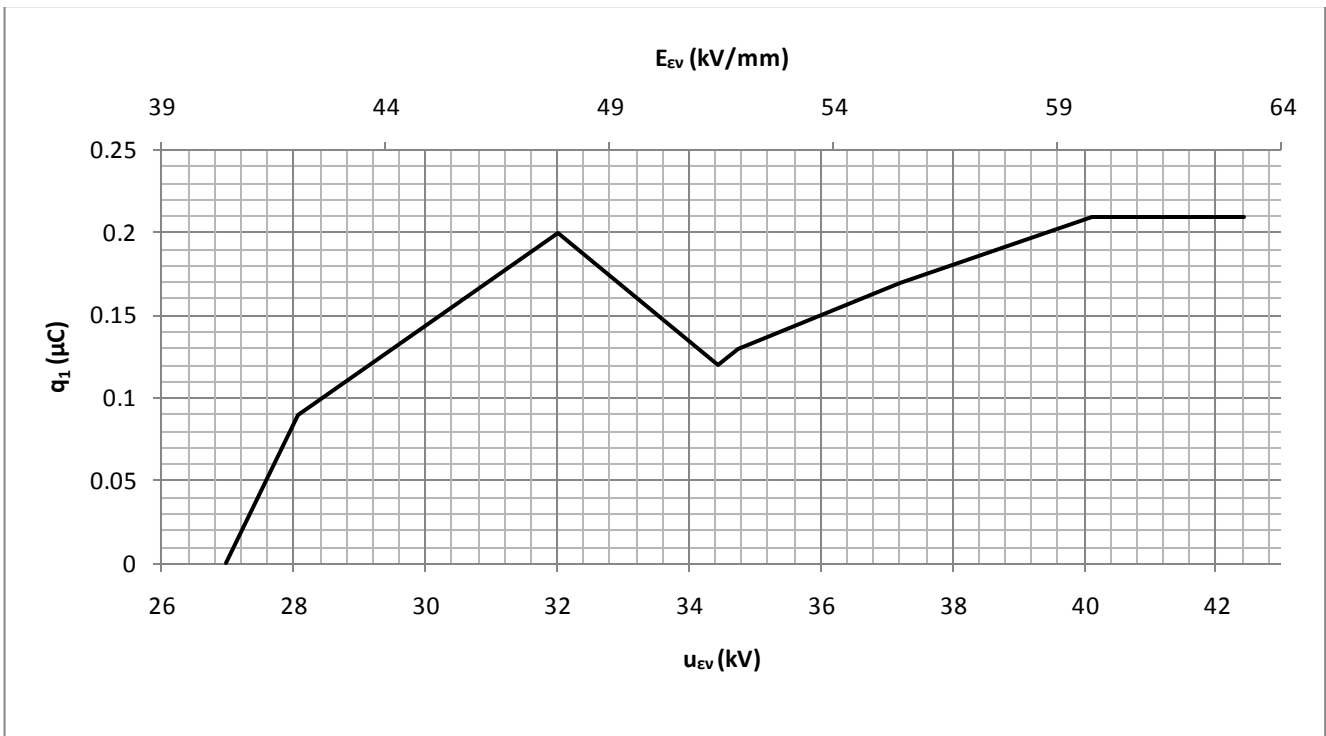
Σχήμα 3.4-12 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(u_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 u_1 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



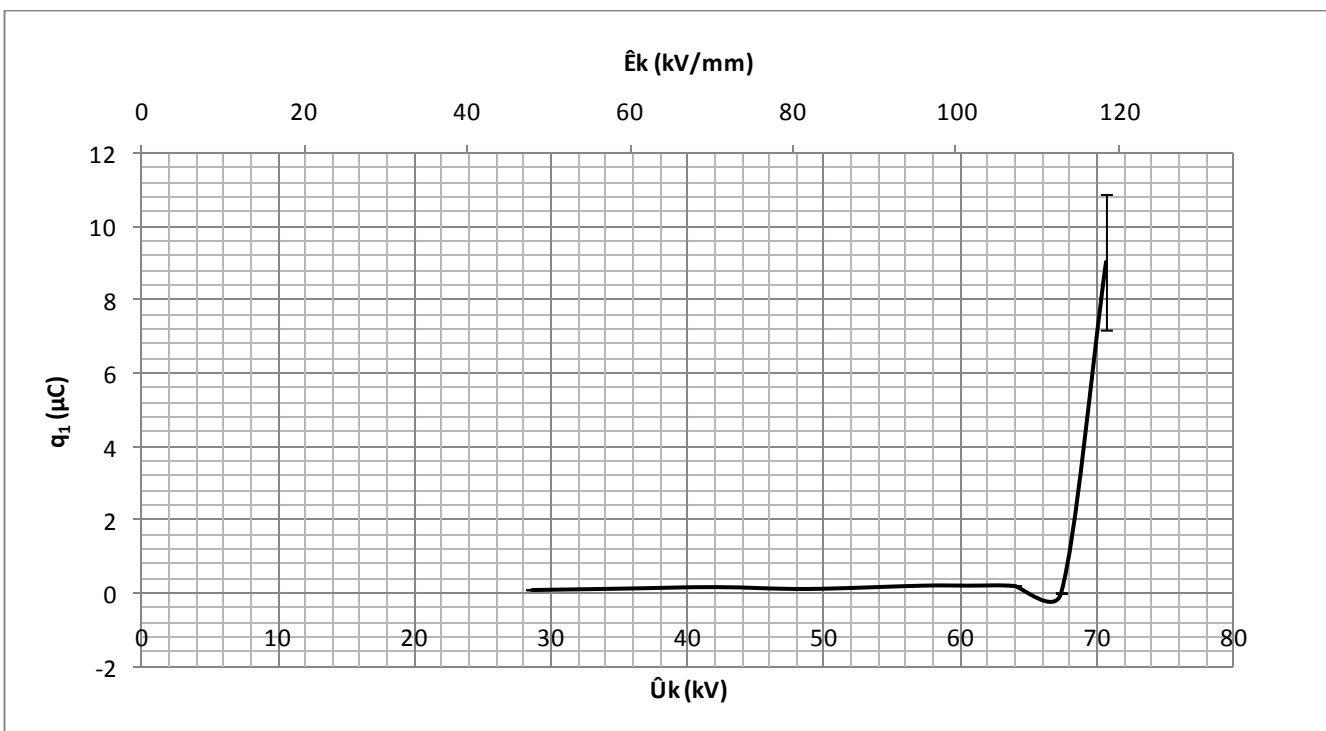
Σχήμα 3.4-13 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s, d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



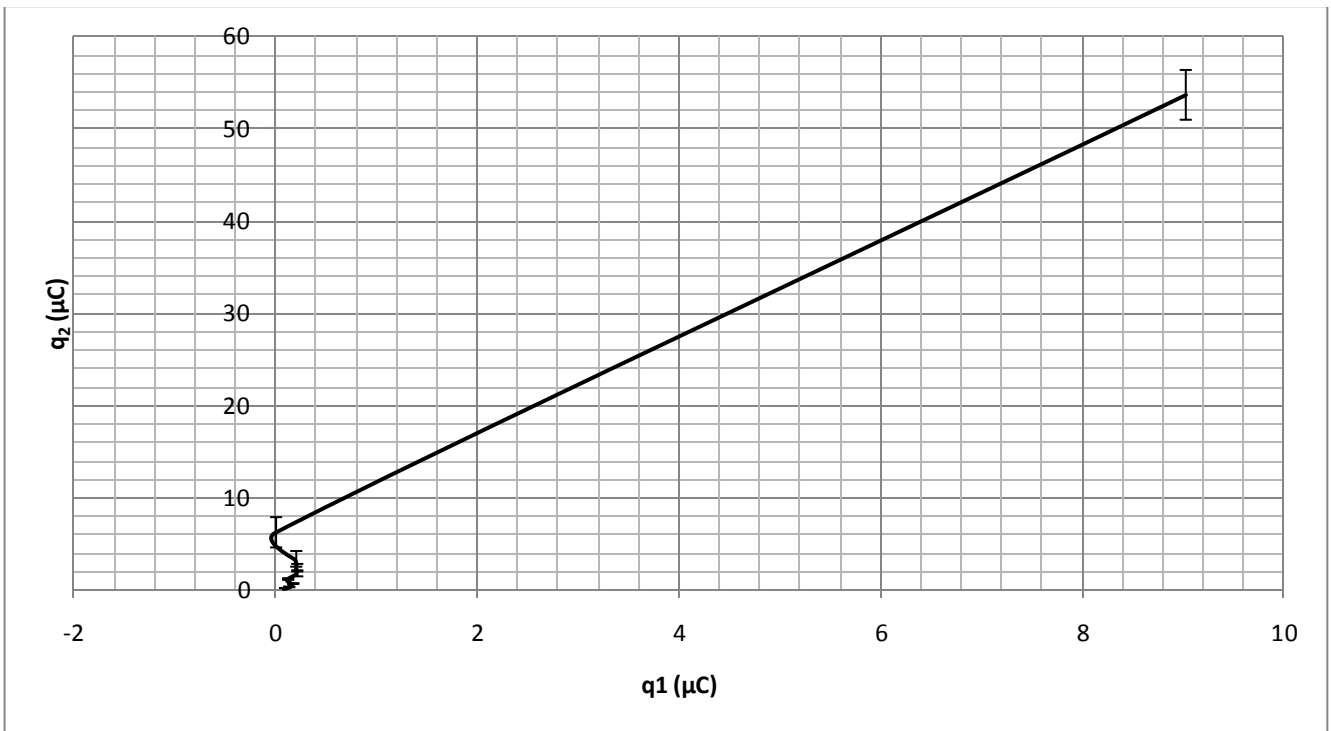
Σχήμα 3.4-14 : Χαρακτηριστική $\Delta u = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s, d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



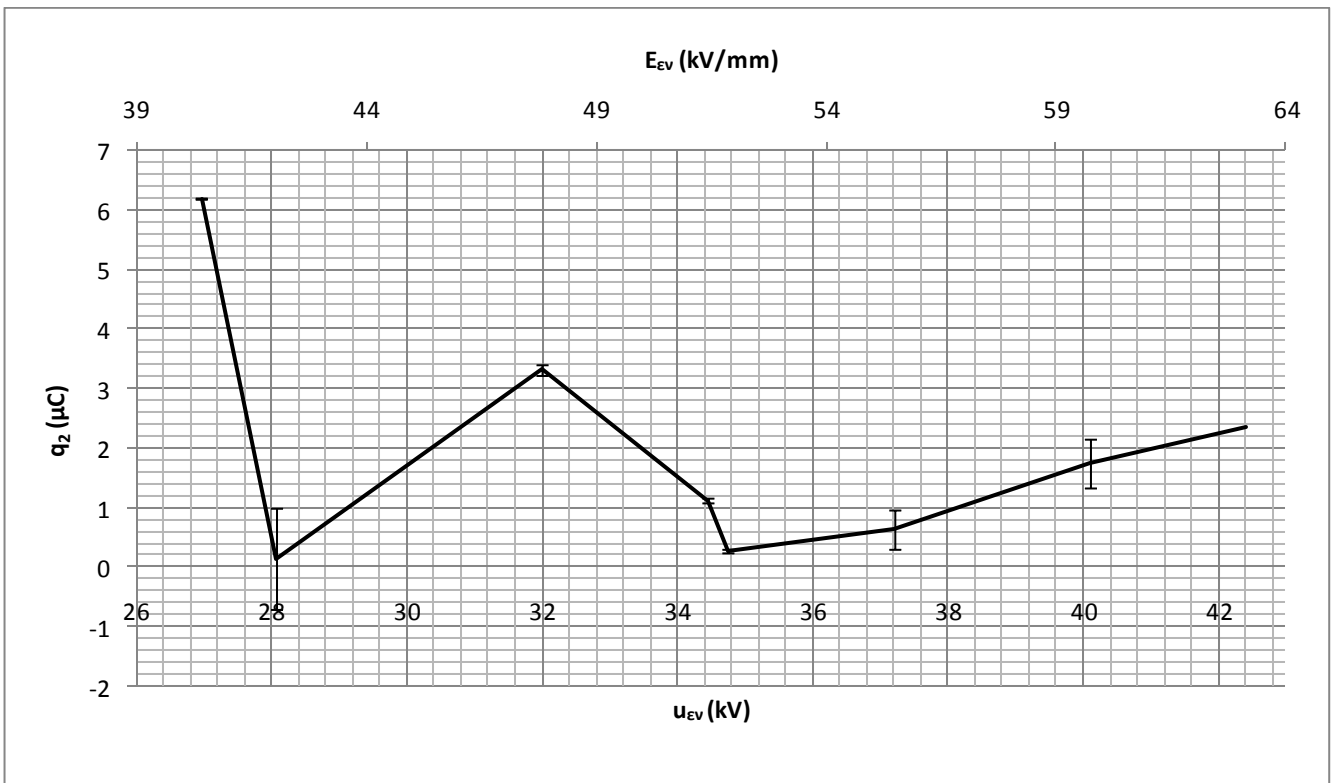
Σχήμα 3.4-15 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu\text{s}$, $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}



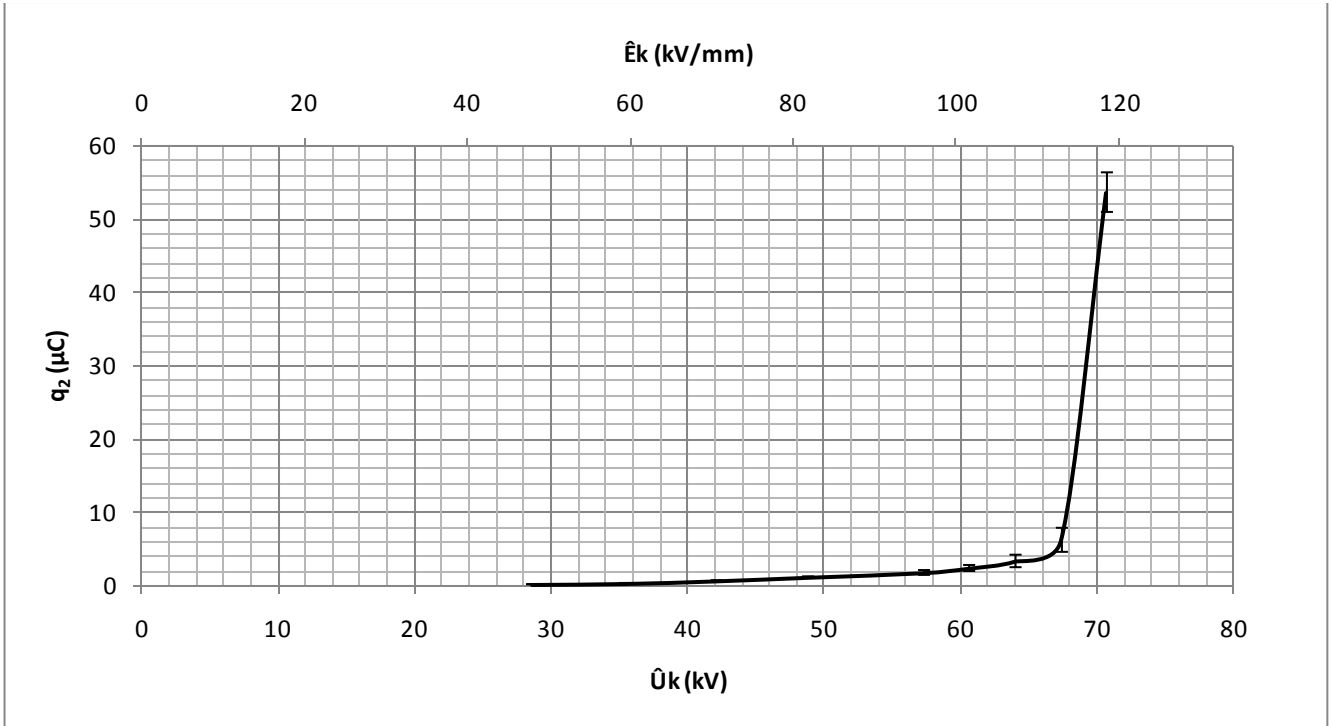
Σχήμα 3.4-16 : Χαρακτηριστική $q_1 = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu\text{s}$, $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



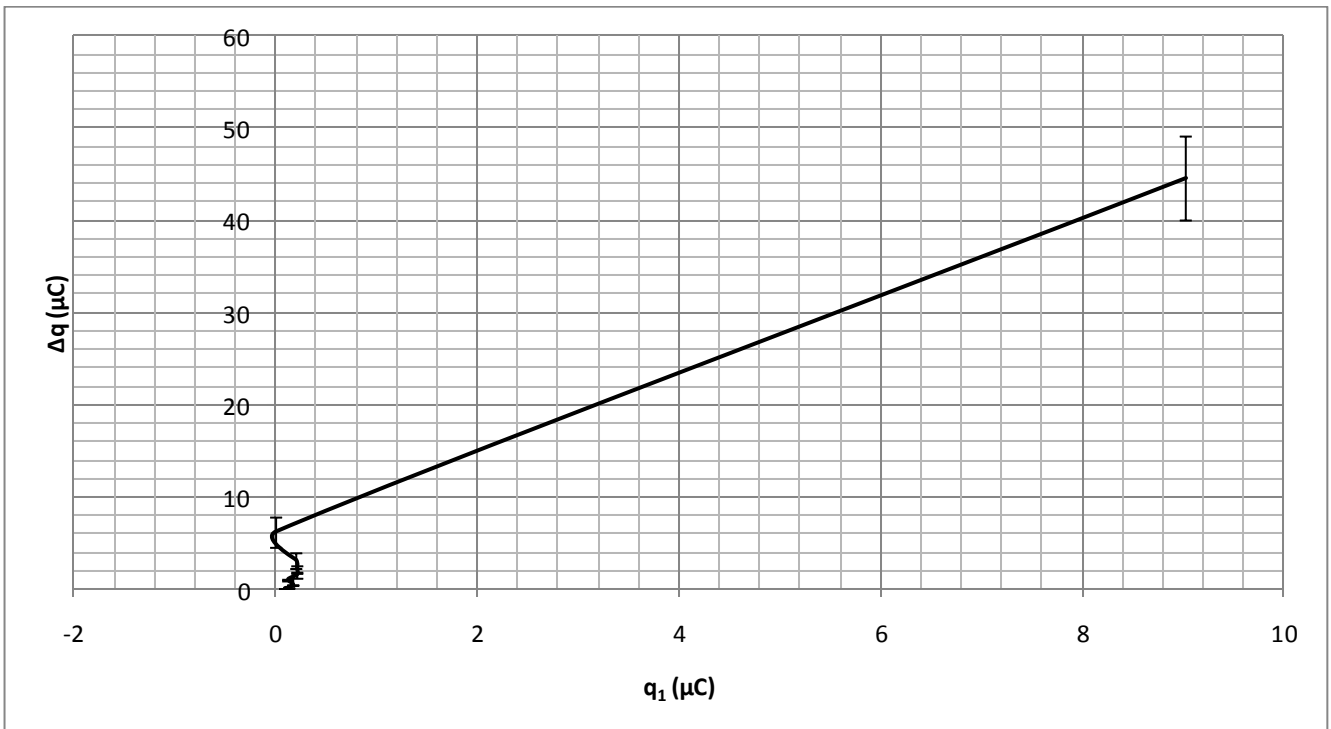
Σχήμα 3.4-17 : Χααρακτηριστική $q_2=f(q_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



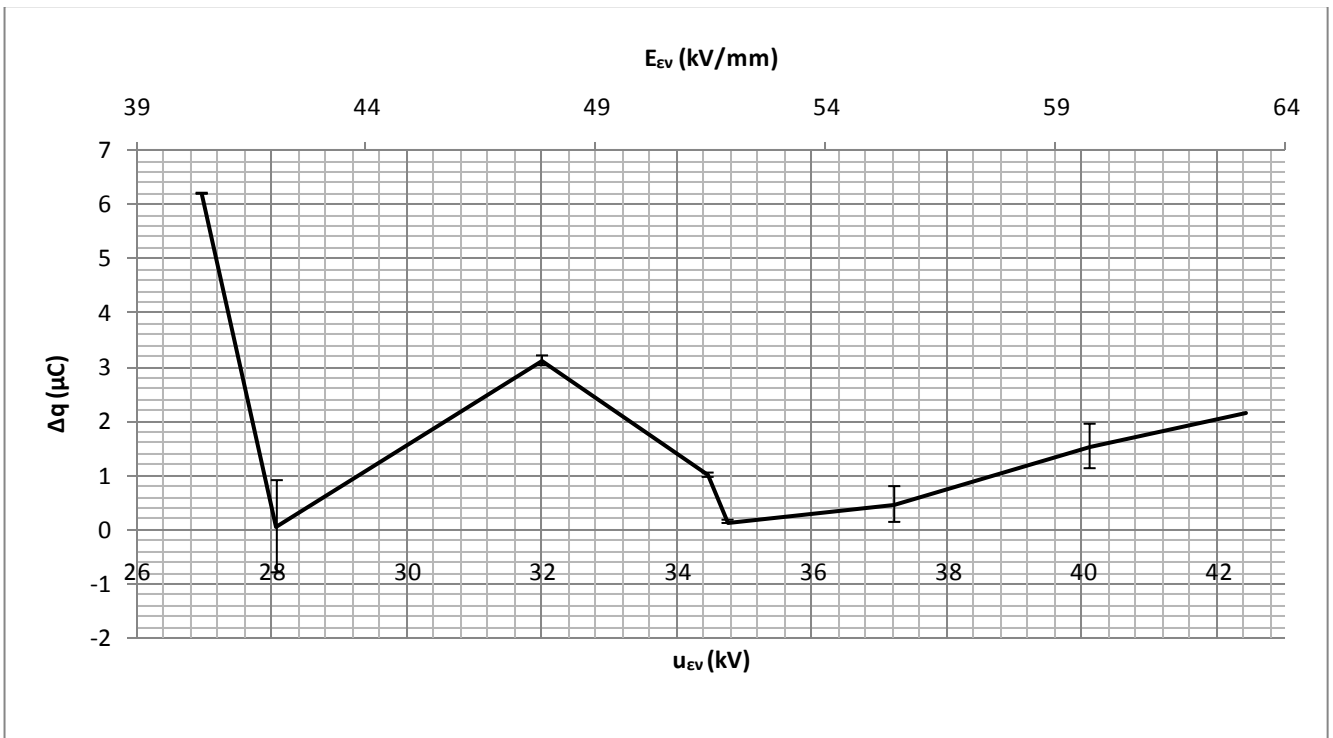
Σχήμα 3.4-18 : Χααρακτηριστική $q_2=f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



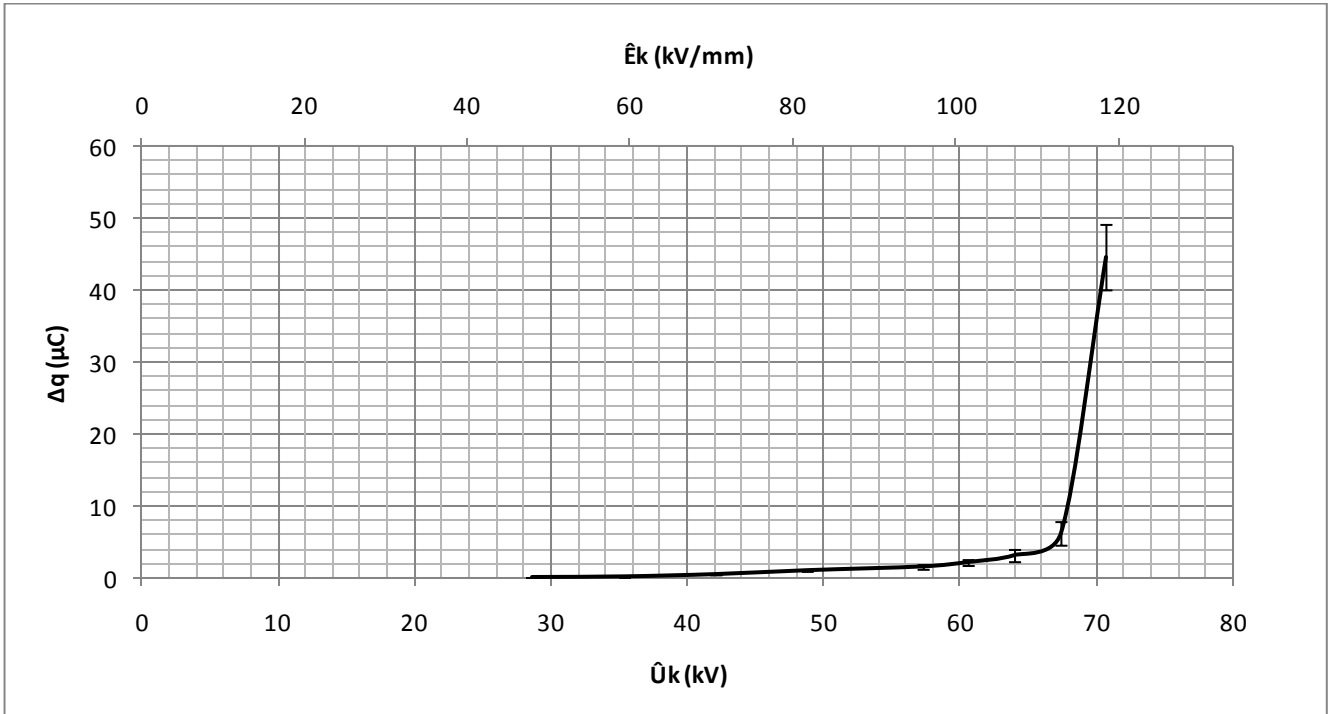
Σχήμα 3.4-19 : Χαρακτηριστική $q_2=f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu\text{s}$, $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



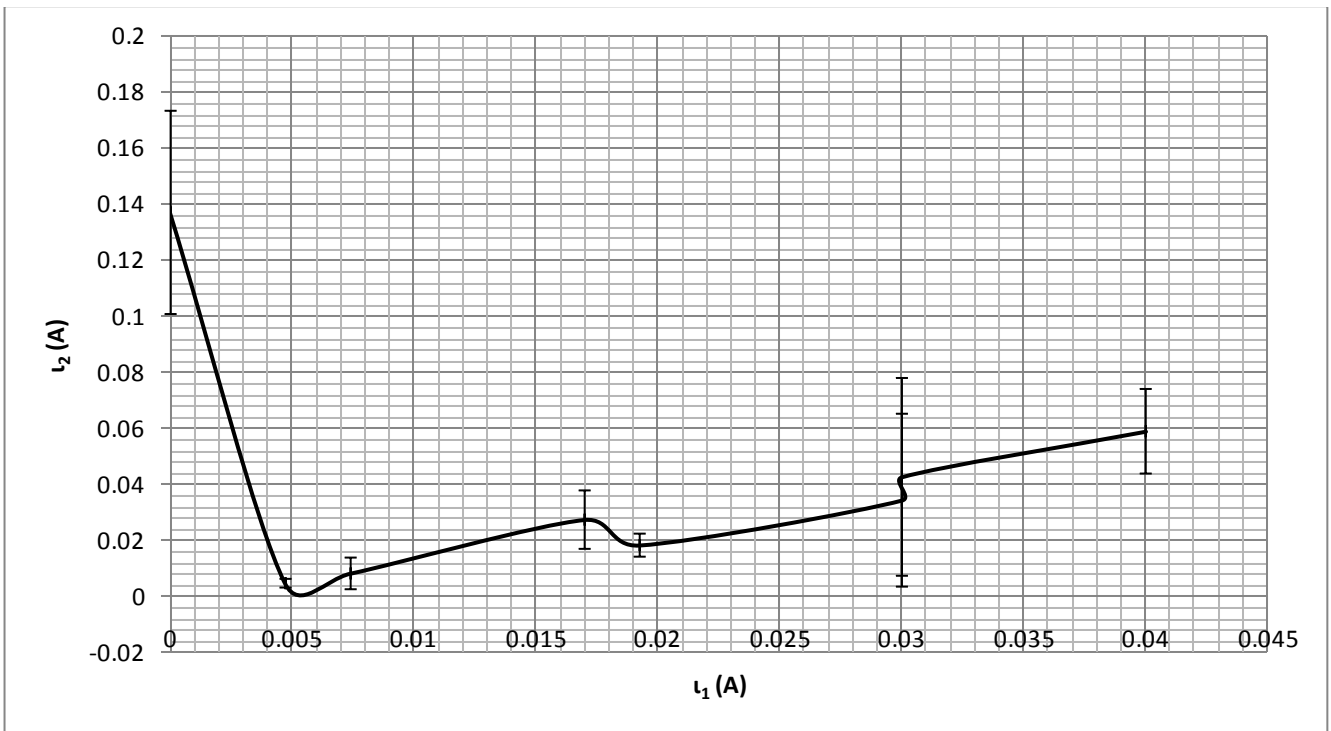
Σχήμα 3.4-20 : Χαρακτηριστική $\Delta q=f(q_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu\text{s}$, $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασ των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q=q_2-q_1$)
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



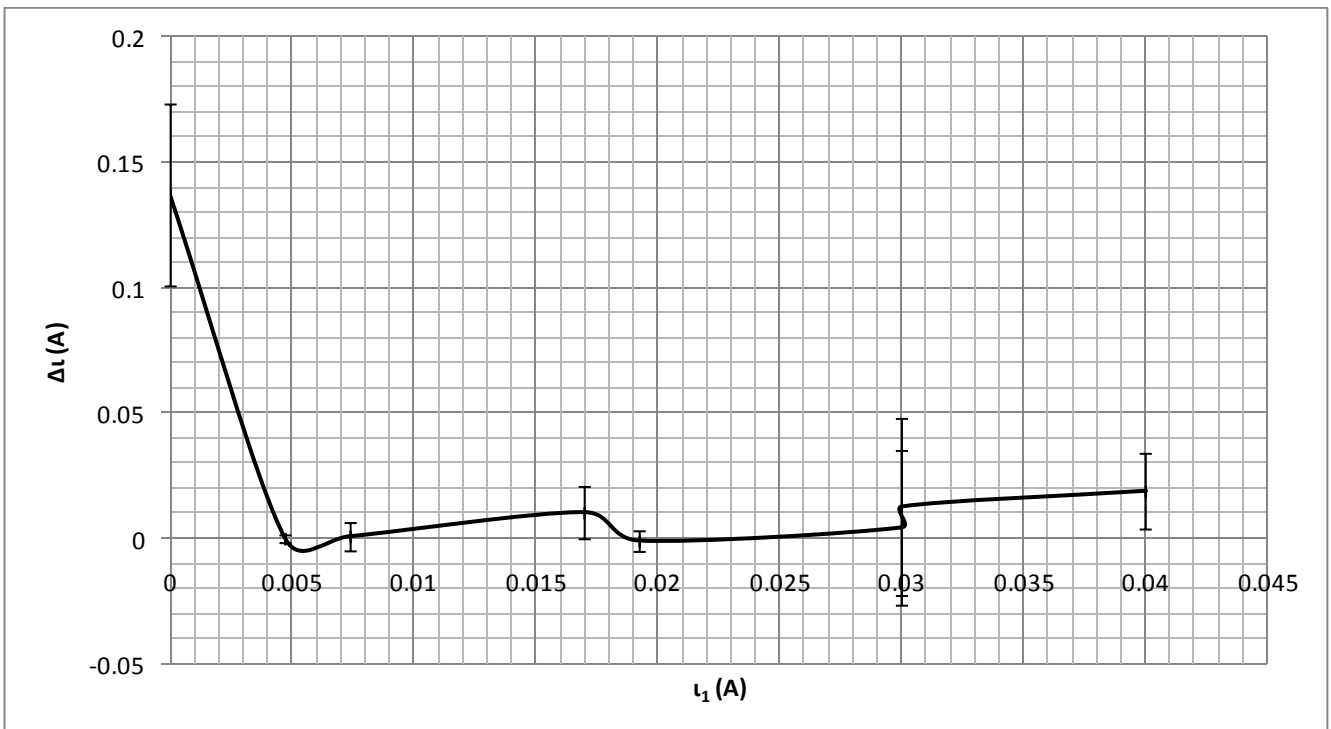
Σχήμα 3.4-21 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



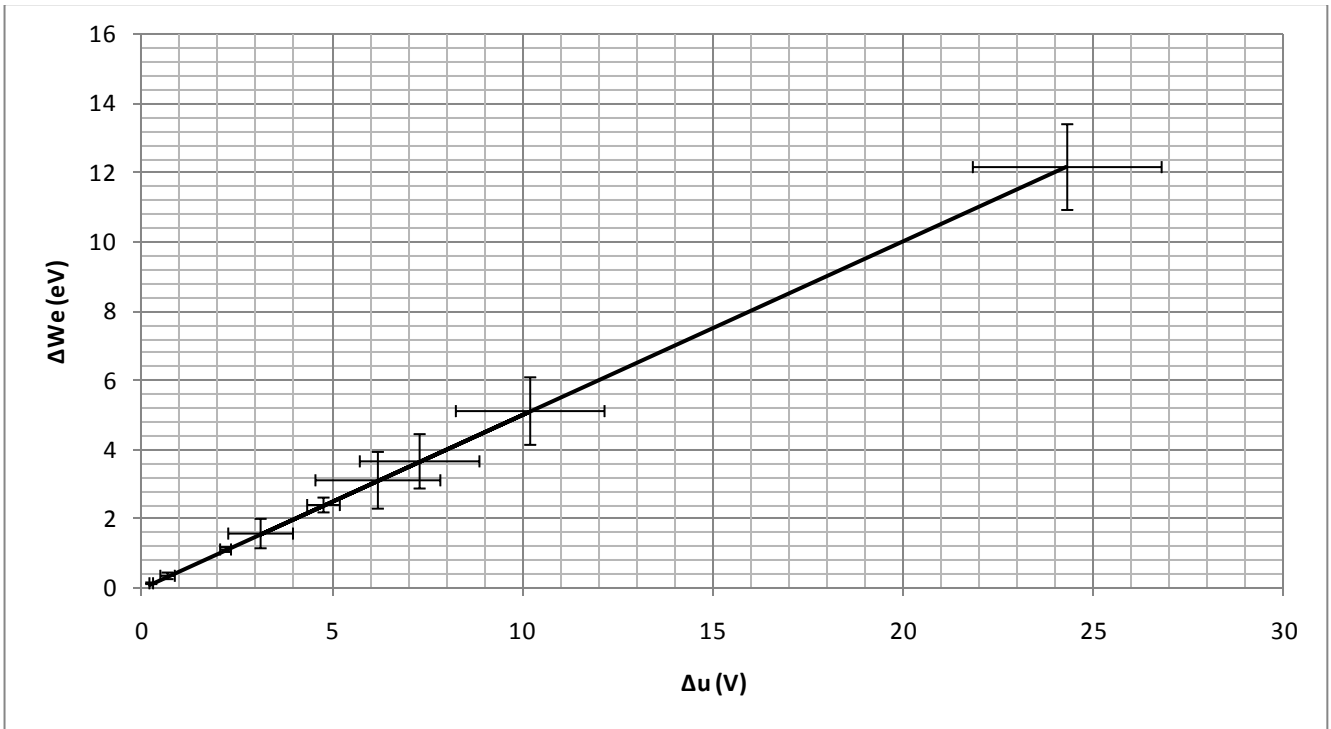
Σχήμα 3.4-22 : Χαρακτηριστική $\Delta q = f(\hat{U}_k, \hat{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δq : Η διαφορά του φορτίου στο C_m κατά την αρχή και το πέρασμα των μερικών εκκενώσεων ($\Delta q = q_2 - q_1$)
 \hat{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \hat{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \hat{U}_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



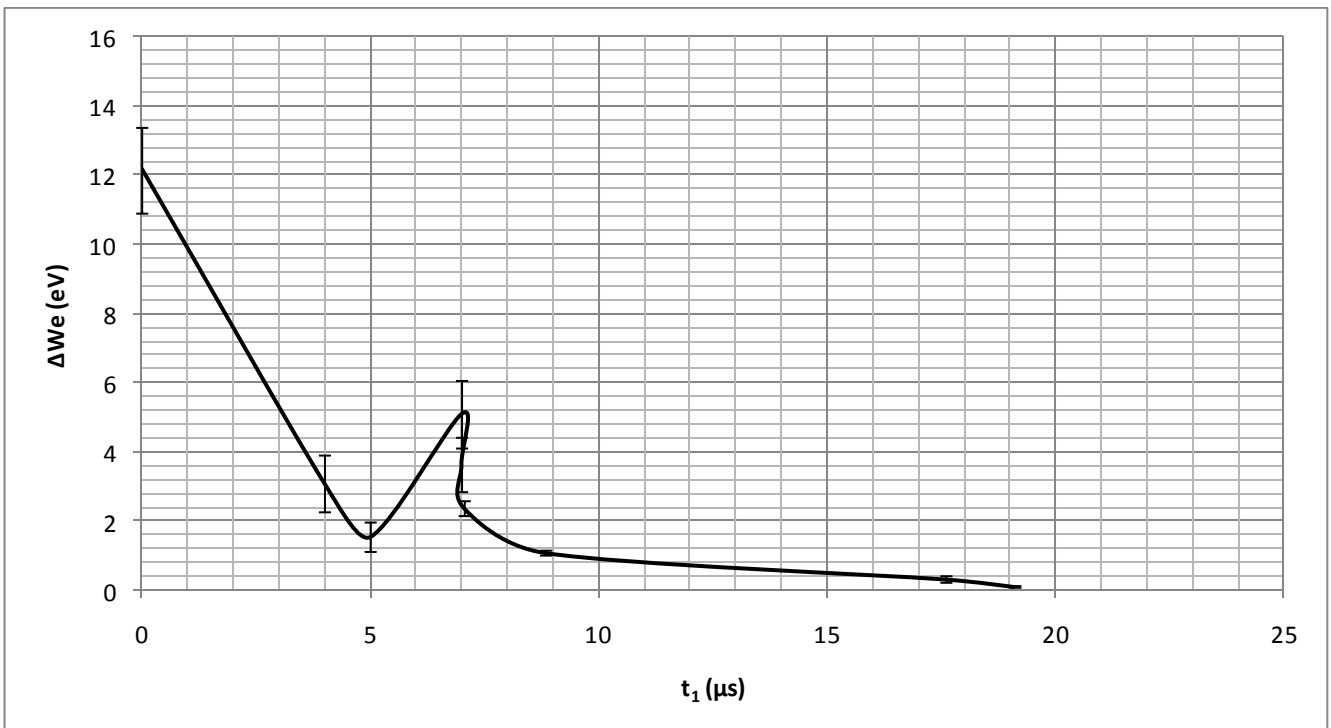
Σχήμα 3.4-23 : Χαρακτηριστική $i_2=f(i_1)$ του συνδυασμού 'πέπεισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 i_2 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 i_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



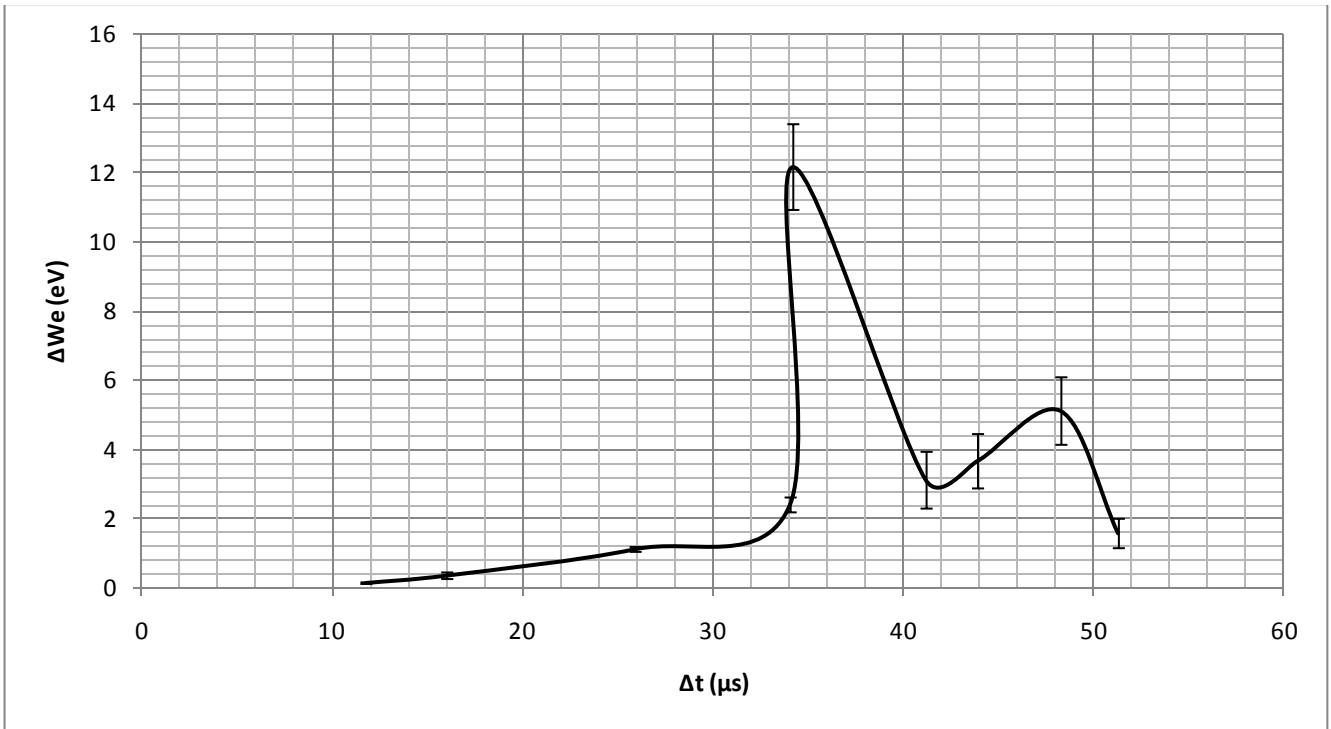
Σχήμα 3.4-24 : Χαρακτηριστική $\Delta i=f(i_1)$ του συνδυασμού 'πέπεισμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 Δi : Η διαφορά της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος στο C_m κατά το πέρασ και την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta i=f(i_1)$)
 i_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



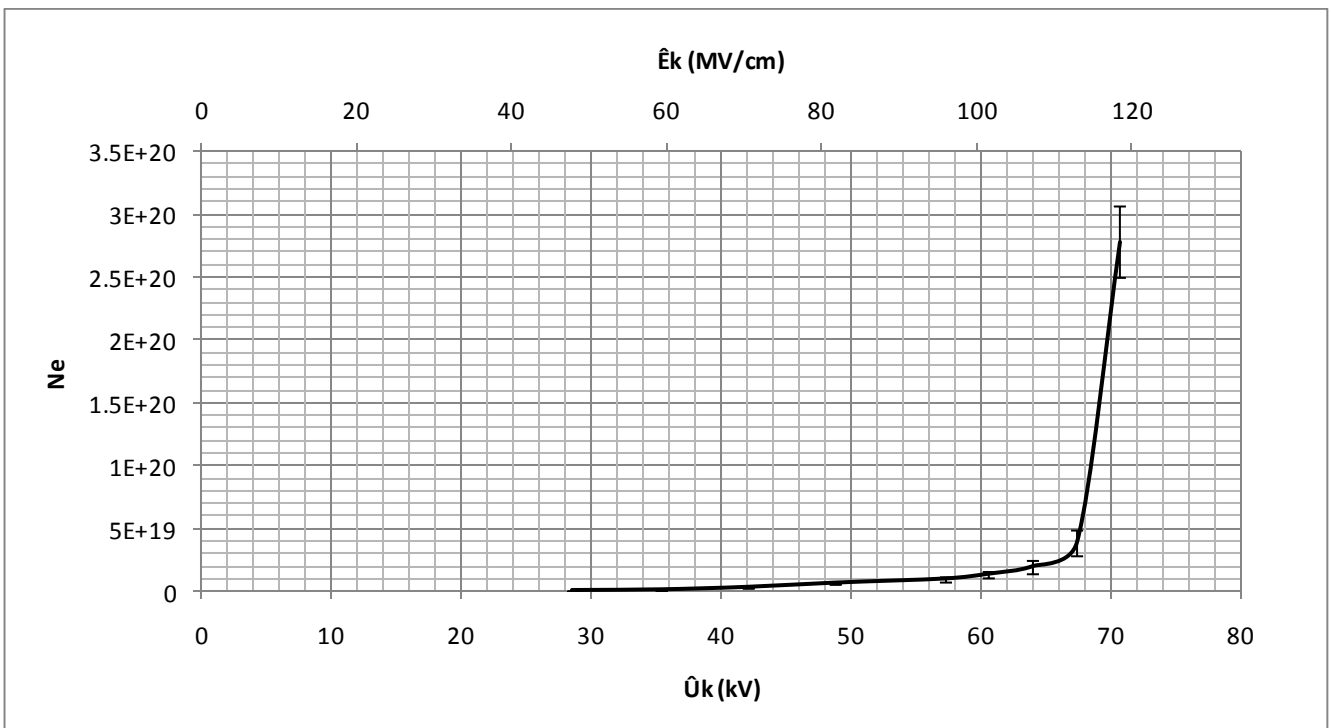
Σχήμα 3.4-25 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta u)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δu : Διαφορά της τιμής της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων μείον την τιμή της κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta u = u_2 - u_1$)
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



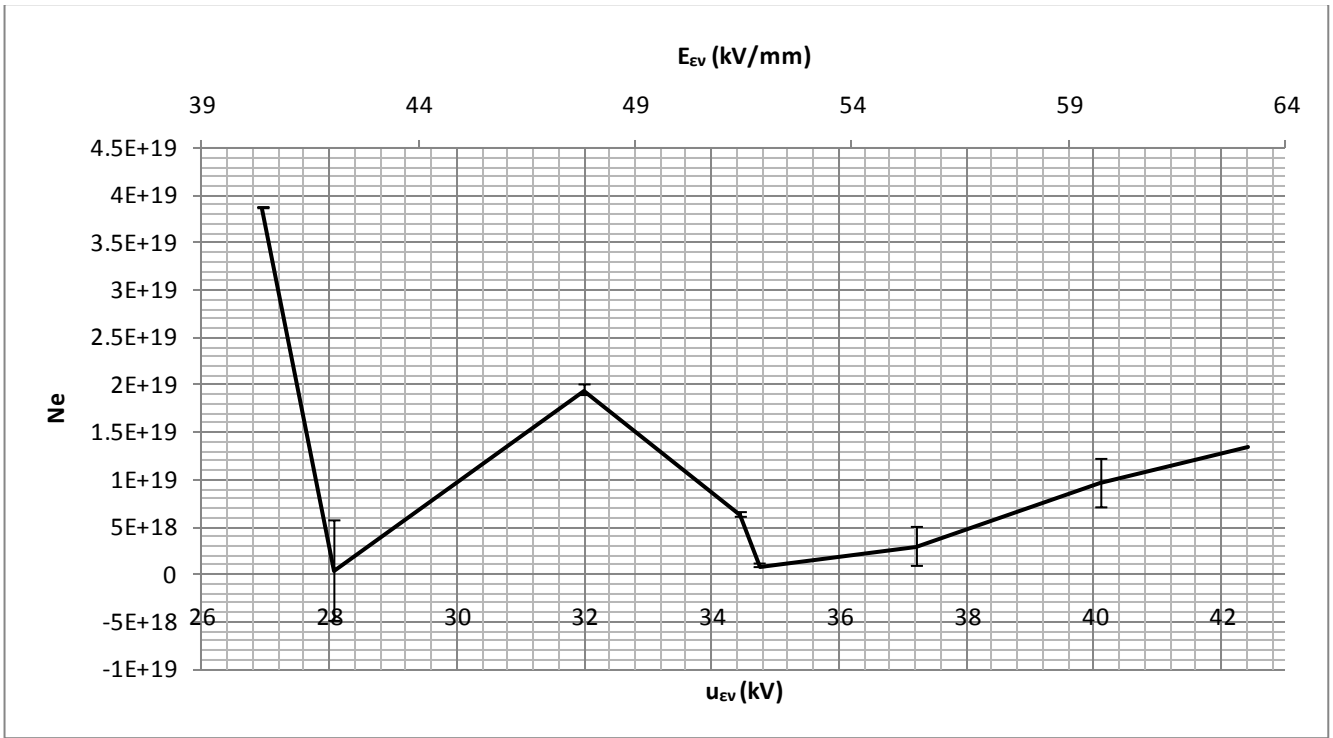
Σχήμα 3.4-26 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση



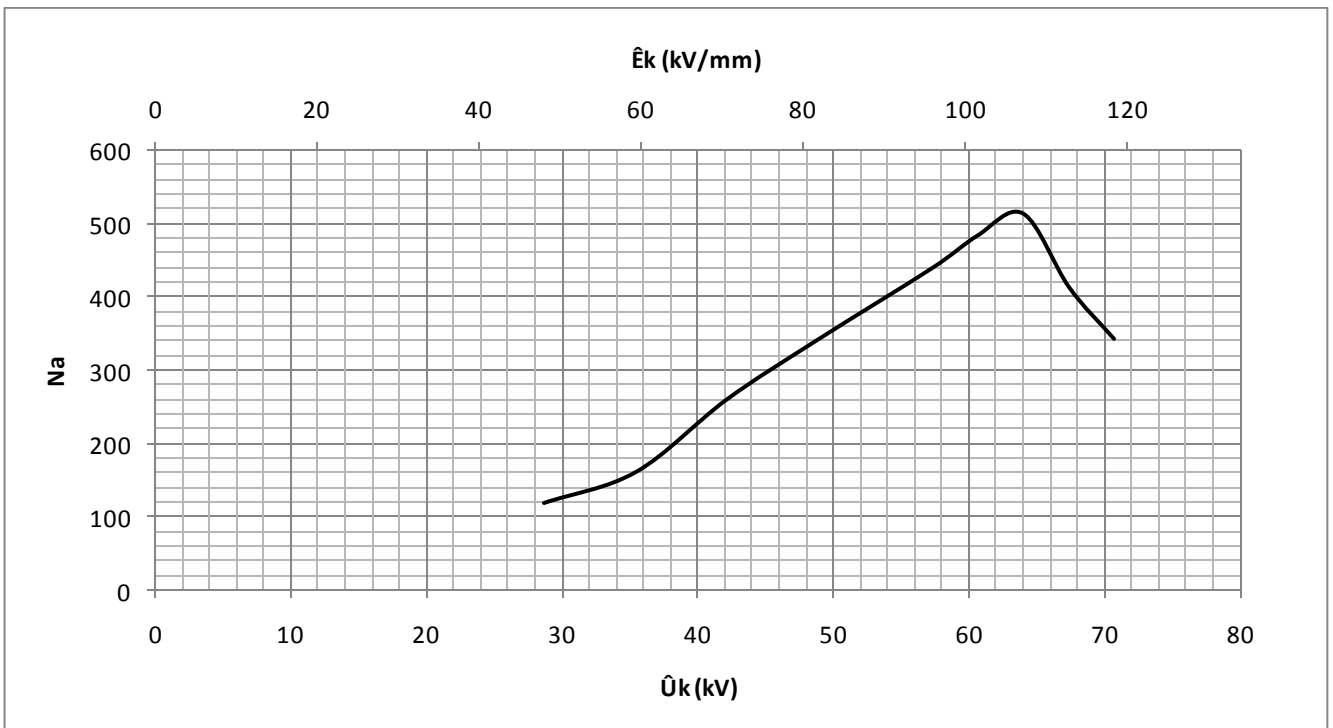
Σχήμα 3.4-27 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta t)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση -10/200 μs , $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t = t_2 - t_1$)
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



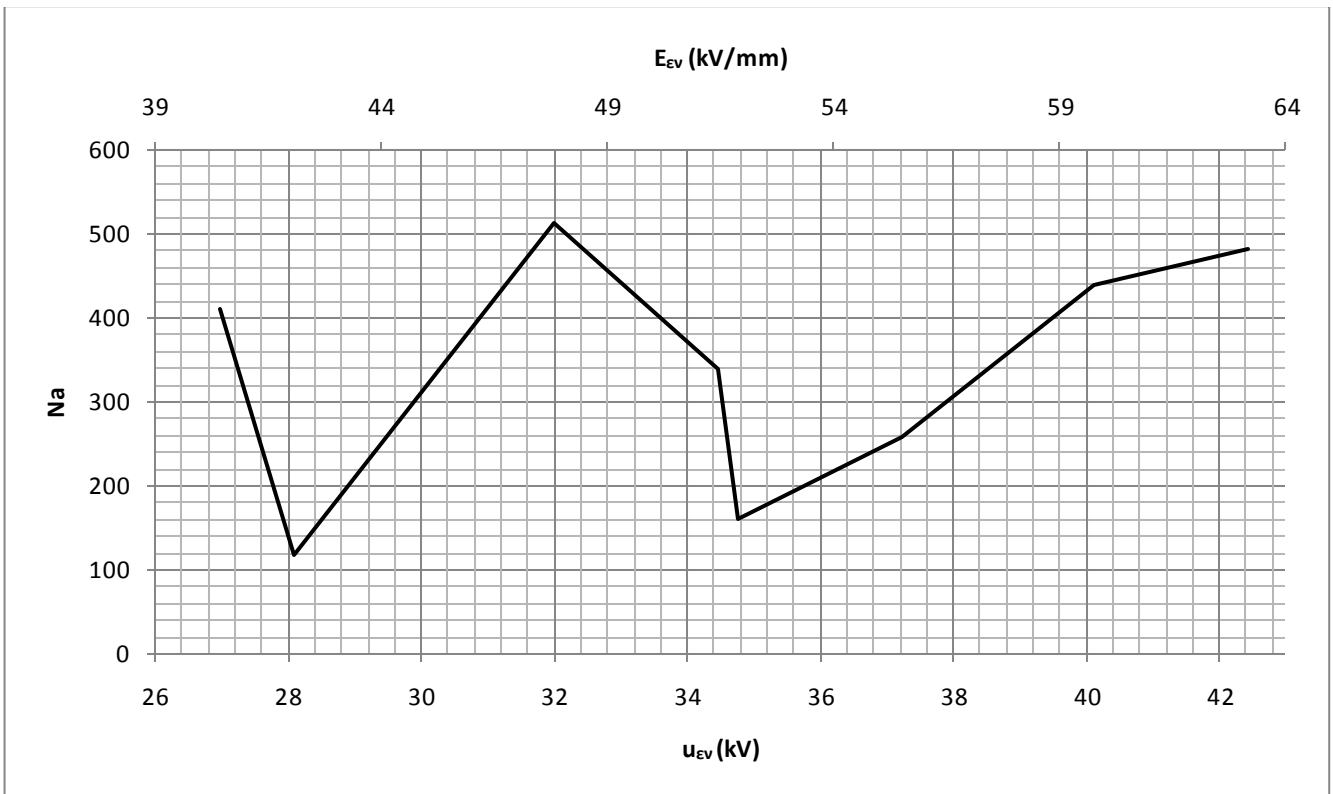
Σχήμα 3.4-28 : Χαρακτηριστική $N_e = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση -10/200 μs , $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.4-29 : Χαρακτηριστική $N_e = f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_e : Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων
 u_{ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση



Σχήμα 3.4-30 : Χαρακτηριστική $N_a = f(U_{ik}, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $-10/200 \mu s$, $d=2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού
 U_{ik} : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_{ik}
 Γ : 2 φορές η τυπική απόκλιση

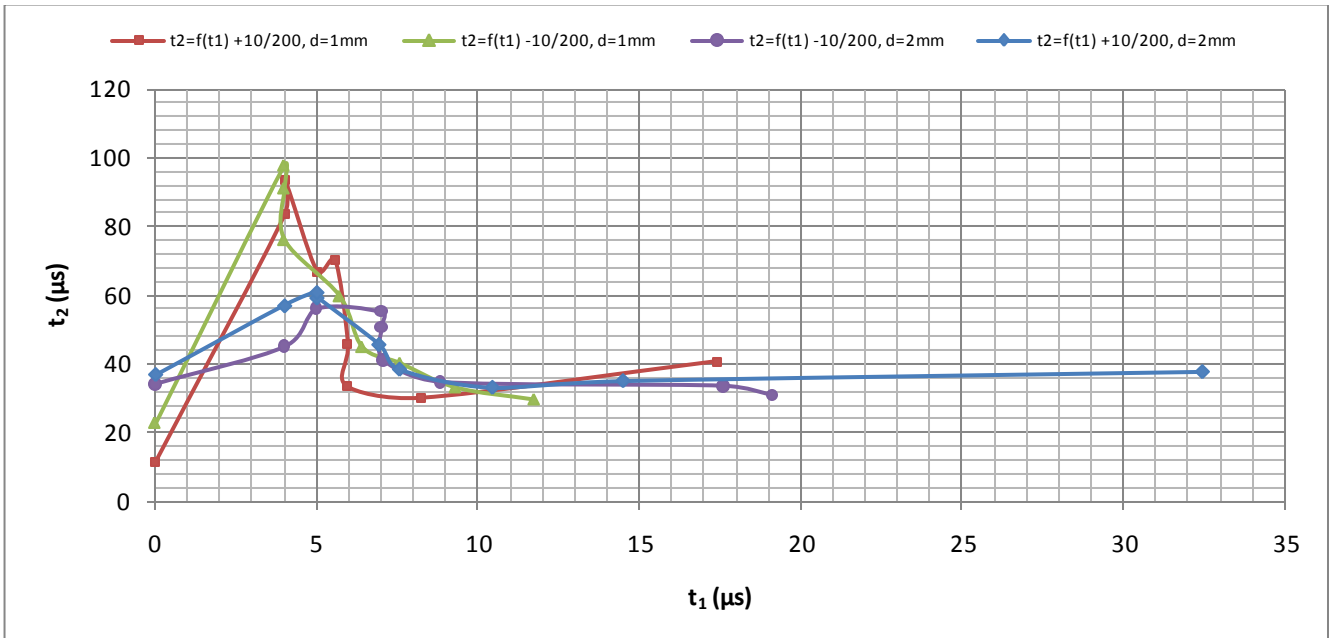


Σχήμα 3.4-31 : Χαρακτηριστική $N_a = f(u_{EV}, E_{EV})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση -10/200 μ s, $d=2$ mm για διάταξη ηλεκτροδίων « ακίδα – πλάκα »
 N_a : Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων δυναμικού
 u_{EV} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{EV} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{EV}

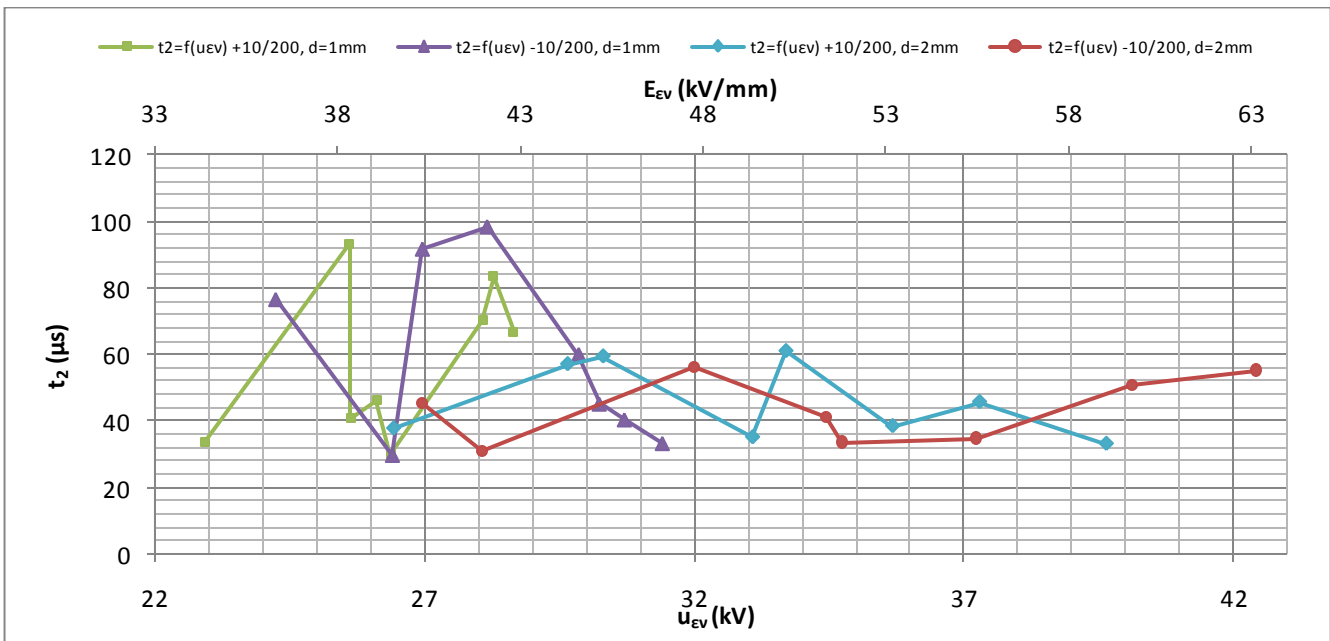
4. Επεξεργασία των μετρήσεων και συμπεράσματα

4.1. Κρουστική τάση +10/200 μs για διάκενο $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»

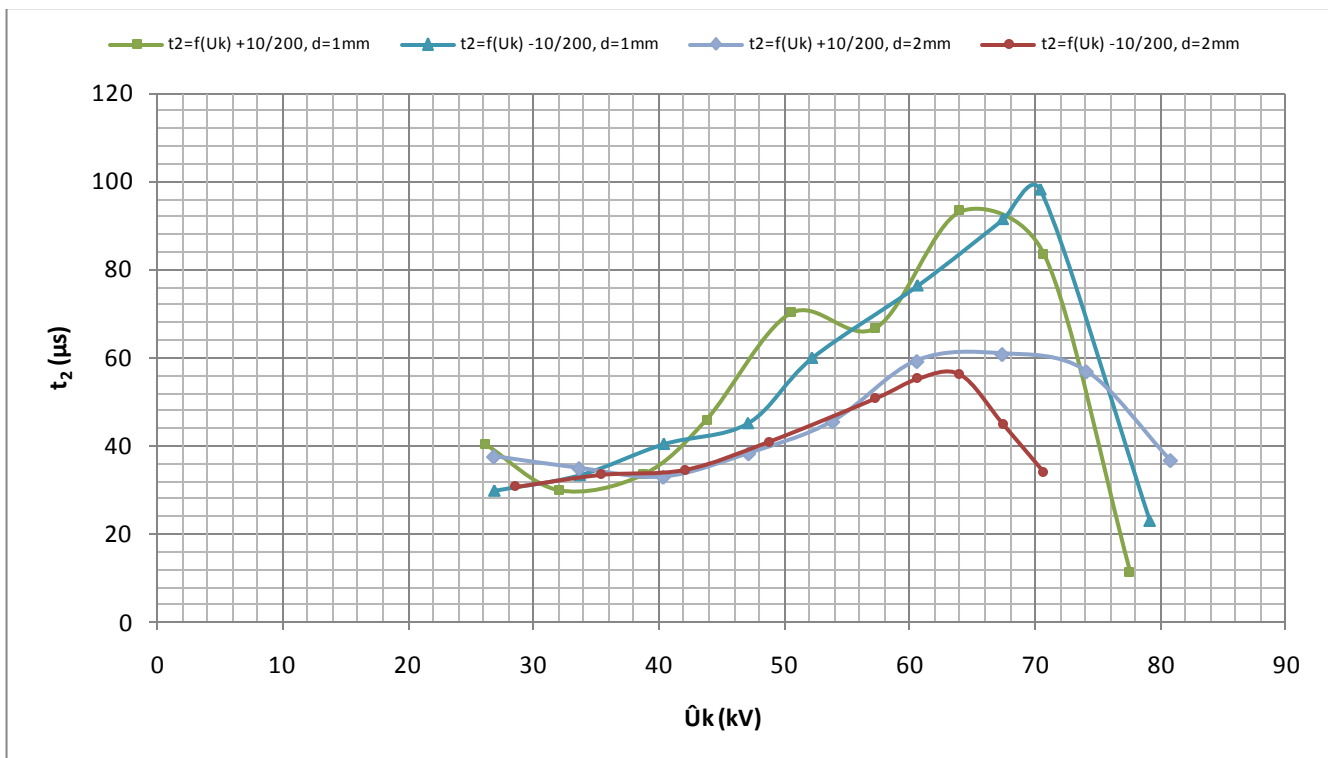
4.1.1. Ανάλυση χρόνου περαίωσης και διάρκειας των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 4.1.1-1 : Χαρακτηριστική $t_2=f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu\text{s}$, $d=1,2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 4.1.1-2 : Χαρακτηριστική $t_2=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu\text{s}$, $d=1,2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 u_{ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων



Σχήμα 4.1.1-3 : Χαρακτηριστική $t_2=f(U_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200$ μs, $d=1,2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 t_2 : Ο χρόνος κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Στο σχήμα 4.1.1-1 παρατηρούμε την εξάρτηση του χρόνου πέρατος των μερικών εκκενώσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο έναρξης αυτών. Η παρατήρηση μας για την συνάρτηση αυτών των δύο μεγεθών είναι πως μέχρι κάποια τιμή του t_1 (περί τα 6 μs) υπάρχει μια διακύμανση για την τιμή του t_2 . Από εκεί και μετά η τιμή του t_2 παραμένει σχεδόν σταθερή. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως εξής. Για πολύ μεγάλες τιμές του U_k έχω χρόνο έναρξης των μερικών εκκενώσεων από την αρχή σχεδόν, επειδή η τάση που επιβάλλεται στο δοκίμιο αυξάνει πολύ γρήγορα. Για τις πιο μεγάλες τάσεις που επιβλήθηκαν στο δοκίμιο που είναι περί τα 70 kV αρκεί να σκεφτούμε πως για πάχος $d=1\text{mm}$ έχω φτάσει στην τάση που αρχίζει το φαινόμενο των μερικών εκκενώσεων (περί τα 25 kV) σε περίπου 3 μs. Μέχρι αυτό το σημείο, ο χρόνος t_2 αυξάνει με το t_1 . Από εκεί και πέρα δείχνει να μειώνεται και να σταθεροποιείται για χρόνο έναρξης μεγαλύτερο από τα 6 μs περίπου για πάχος δοκιμίου 1mm και στα 8 μs περίπου για πάχος 2mm. Μπορούμε λοιπόν να πούμε πως ο χρόνος περαίωσης των μερικών εκκενώσεων είναι πολύ λιγότερο εξαρτημένος από τον χρόνο έναρξης όταν αυτός ο χρόνος έναρξης εντοπίζεται κοντά στο μέγιστο της κρουστικής τάσης ή μετά από αυτό.

Στο σχήμα 4.1.1-2 βλέπουμε τον χρόνο περαίωσης των μερικών εκκενώσεων συναρτήσει της τάσης κατά την οποία άρχισαν να εκδηλώνονται αυτές. Μπορούμε να πούμε πως στις καμπύλες παρατηρείται μία ομοιότητα στην μορφή τους ανά πάχος υλικού καθώς και πως για τις περιπτώσεις που η πολικότητα είναι αρνητική εμφανίζεται μία μετατόπιση της κάθε καμπύλης προς τα δεξιά. Αυτό ποιοτικά υποδεικνύει πως για την ίδια τάση έναρξης των μερικών εκκενώσεων ο χρόνος πέρατος αυτών για αρνητική κρουστική τάση είναι μεγαλύτερος. Η ίδια παρατήρηση γίνεται και για το σχήμα 4.1.1-1. Επομένως μπορούμε να πούμε πως με αρνητική πολικότητα το φαινόμενο καθυστερεί να εμφανιστεί καθώς καθυστερεί και η διάσπαση του υλικού. Αυτό μπορούμε να υποθέσουμε πως οφείλεται στο φαινόμενο της πολικότητας όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.1.7

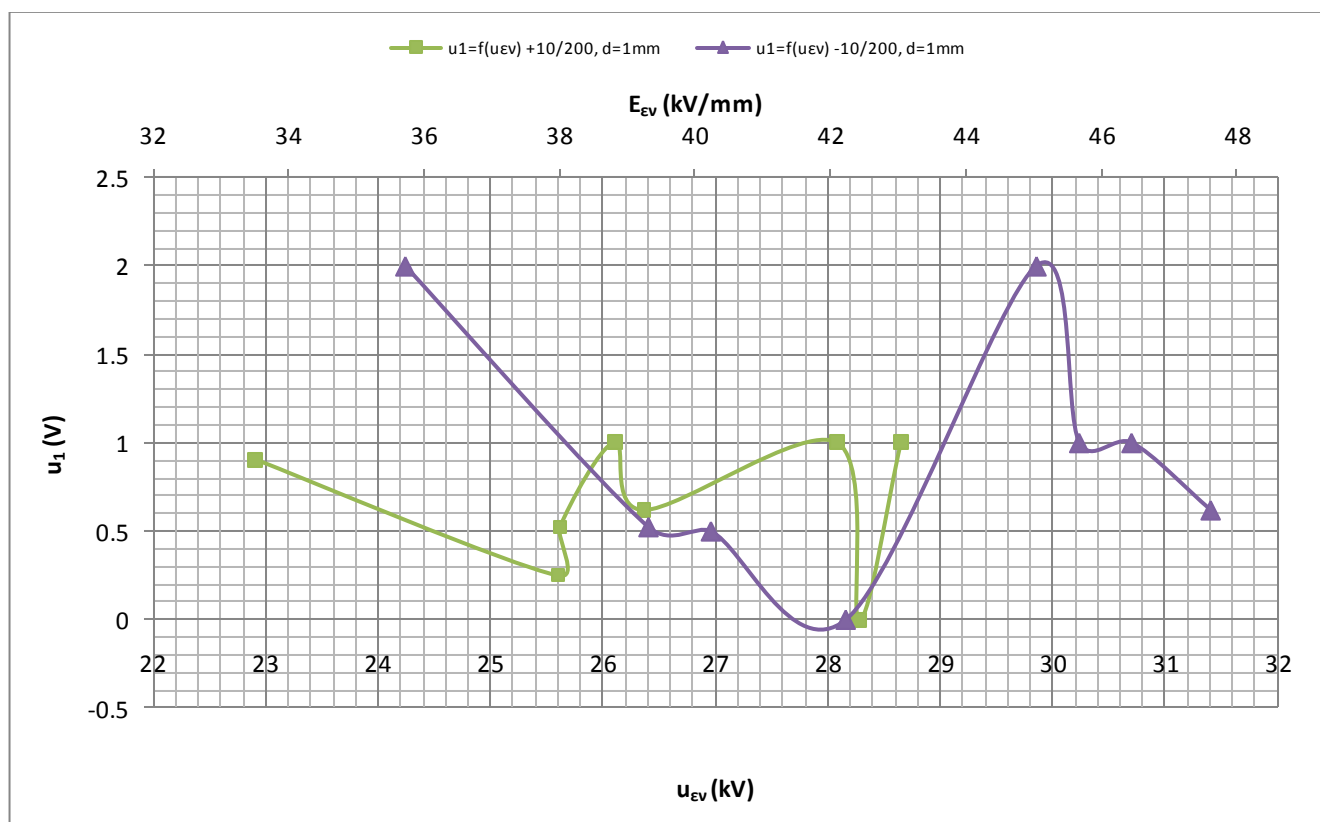
Η ανάλυση του σχήματος 4.1.1-3:

Σαν γενική παρατήρηση βλέπουμε πως ο χρόνος λήξης t_2 αυξάνει όσο αυξάνει και η τιμή της μέγιστης τιμής της κρουστικής τάσης. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο, καθώς όσο αυξάνει η \dot{U}_k , τόσο η τάση που επιβάλλεται στο δοκίμιο διατηρείται σε υψηλά επίπεδα όπως και το πεδίο που δημιουργείται λόγω αυτής. Επομένως θα έχουμε το φαινόμενο των μερικών εκκενώσεων να διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επίσης η πτώση του χρόνου t_2 που παρατηρείται για τις πιο μεγάλες τιμές της \dot{U}_k μπορεί να ερμηνευτεί ως διάσπαση του υλικού λόγω πολύ ισχυρού πεδίου. Επίσης παρατηρούνται ομοιότητες ανάλογα με την πολικότητα της τάσης που επιβάλλεται στο δοκίμιο καθώς οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τις περιπτώσεις αρνητικής τάσης δείχνουν να είναι πιο ομαλές. Επίσης εδώ μπορούμε να αναφέρουμε το φαινόμενο της πολικότητας που είναι αυτό που είναι η πιο πιθανή εξήγηση στο γιατί έχουμε πιο ομαλές και πιο γραμμικές μορφές για την περίπτωση των $-10/200$ kV και για τα δύο πάχη δοκιμίου.

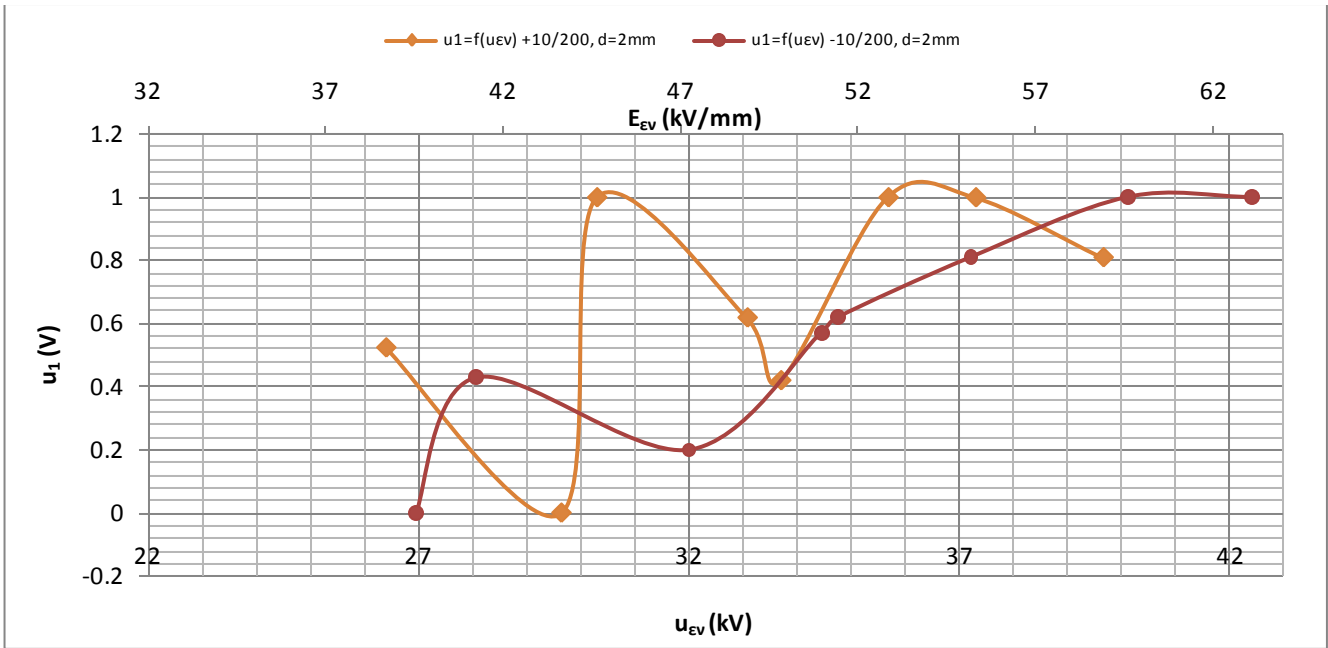
Διάρκεια του φαινομένου των μερικών εκκενώσεων

Ευ' όσον η διάρκεια του φαινομένου των μερικών εκκενώσεων εξαρτάται κυρίως από τον χρόνο περαιώσης t_2 τα ίδια συμπεράσματα που προκύπτουν για αυτόν, προκύπτουν και για τον χρόνο Δt .

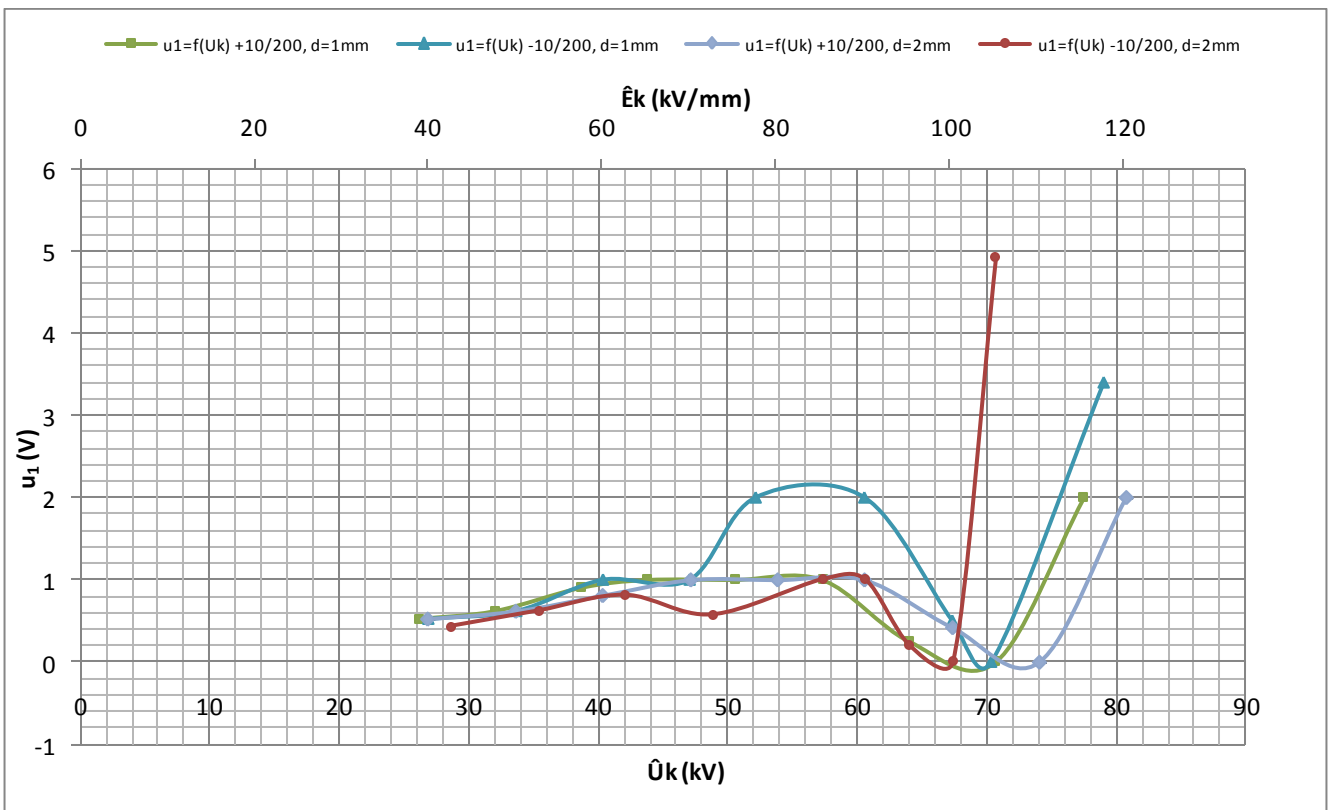
4.1.2. Ανάλυση της στιγμιαίας τάσης στον πυκνωτή μέτρησης (u_m) κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων.



Σχήμα 4.1.2-1 : Χαρακτηριστική $u_1=f(u_{ev}, E_{ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200$ μs , $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_1 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_{ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{ev}



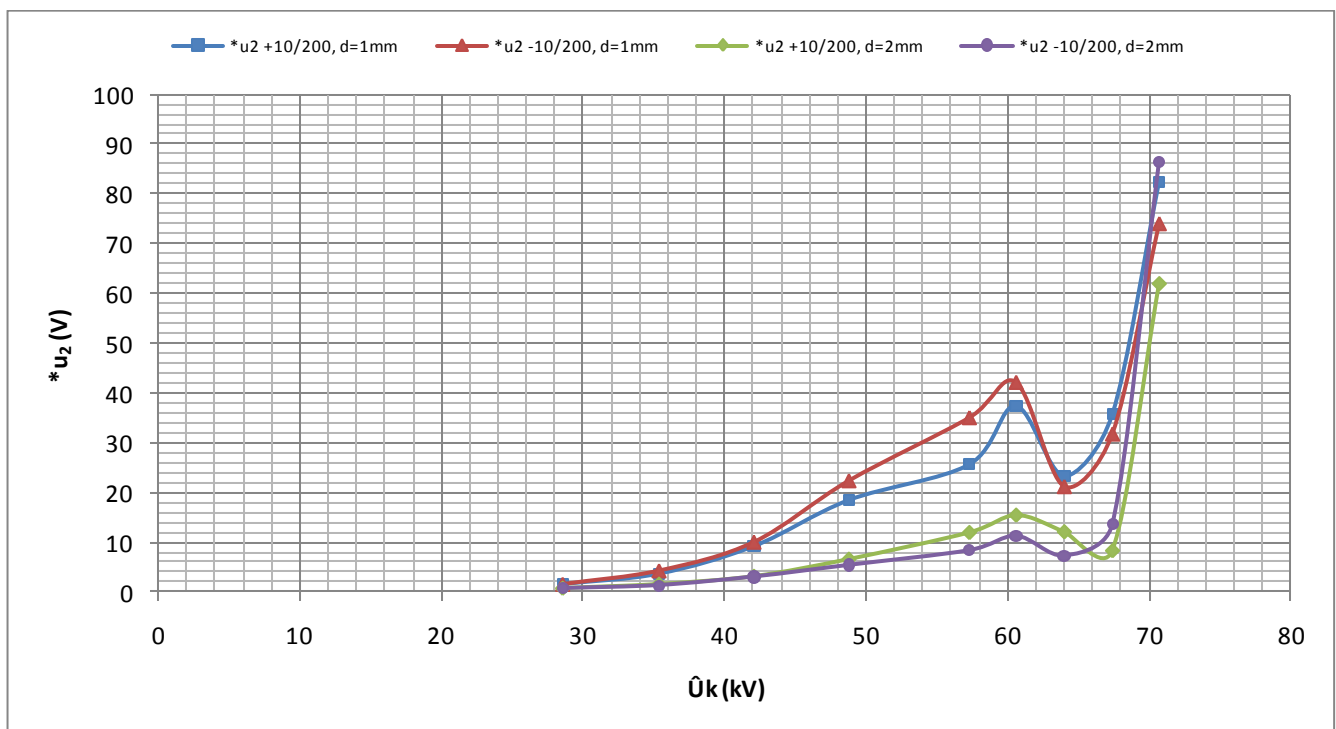
Σχήμα 4.1.2-2 : Χαρακτηριστική $u_1 = f(u_{Ev}, E_{Ev})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu\text{s}$, $d=2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_1 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 u_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή της κρουστικής τάσης κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 E_{Ev} : Η στιγμιαία τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην u_{Ev}



Σχήμα 4.1.2-3 : Χαρακτηριστική $u_1 = f(U_k, E_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $+10/200 \mu\text{s}$, $d=1\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 u_1 : Στιγμιαία τιμή της u_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 E_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην U_k

Διαπιστώνεται ότι στις περιοχές της έντασης του πεδίου όπου χρησιμοποιείται η ίδια χωρητικότητα C_m , η τάση έναρξης των εκκενώσεων παραμένει σχεδόν σταθερή καθώς αυξάνεται η ένταση του εφαρμοζόμενου πεδίου ενώ στην αλλαγή (αύξηση) της χωρητικότητας C_m παρατηρείται βύθιση της τάσης. Αυτό συμβαίνει διότι μπορεί μεν να εφαρμόζεται μεγαλύτερη κρουστική τάση αλλά η σημαντική αύξηση της C_m (όπως από 210nF σε 1000nF ή από 1000nF σε 1835nF) μειώνει σημαντικά τη σύνθετη αντίσταση του πυκνωτή μέτρησης και έτσι αυτός «αναλαμβάνει» πολύ μικρότερο ποσοστό της κρουστικής τάσης \dot{U}_k λόγω καταμερισμού. (Παρόλα αυτά έγινε μία προσπάθεια κανονικοποίησης του αποτελέσματος με βάση τις τιμές του πυκνωτή όμως δεν έδωσε κάποιο αποτέλεσμα που να έχει μία γραφική απεικόνιση που να αποδεικνύει ότι ακολουθείται κάποια συγκεκριμένη μαθηματική εξίσωση, οπότε δεν παρατίθεται και το σχετικό γράφημα).

Ερμηνεύοντας το σχήμα μπορούμε να πούμε πως η ανωμαλία που παρουσιάζεται από 65 έως 75 kV, ανάλογα την πολικότητα και το πάχος, οφείλεται στην εναλλαγή των φαινομένων της μηχανικής τάνυσης του υλικού, ή αλλιώς στις δυνάμεις Coulomb που ασκούνται στα ιόντα του υλικού και στον ιονισμό με κρούσεις.



Σχήμα 4.1.2-4 : Χαρακτηριστική $*u_2 = f(\dot{U}_k, \dot{E}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση +10/200 μs , $d=1mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 $*u_2$: Κανονικοποιημένη στιγμιαία τιμή της u_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 \dot{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης
 \dot{E}_k : Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην \dot{U}_k
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση

Στο σχήμα 4.1.2-4 γίνεται απόπειρα κανονικοποίησης του u_2 βάση των παρακάτω:

Αν u^* , q^* είναι οι μετρούμενες τιμές με πυκνωτή μέτρησης C_m , και

U , q είναι οι μετρούμενες τιμές με πυκνωτή μέτρησης $C_M > C_m$,

Τότε επειδή $W=0,5u^*q^*=0,5uq$, ισχύει $u^*q^*=uq$, ή :

$$u^{*2}C_m = u^2C_M \rightarrow$$

$$u^* = u (C_M/C_m)^{1/2}$$

δηλαδή για $C_M > C_m$ ισχύουν οι σχέσεις διόρθωσης:

$$u_1^* = u_1 \sqrt{C_M / C_m} \quad \text{Σχέση 4.1.2-1}$$

$$q_1^* = u_1 \sqrt{C_M C_m} \quad \text{Σχέση 4.1.2-2}$$

$$u_2^* = u_2 \sqrt{C_M / C_m} \quad \text{Σχέση 4.1.2-3}$$

$$q_2^* = u_2 \sqrt{C_M C_m} \quad \text{Σχέση 4.1.2-4}$$

$$\Delta u^* = \Delta u \sqrt{C_M / C_m} \quad \text{Σχέση 4.1.2-5}$$

$$\Delta q^* = \Delta u \sqrt{C_M C_m} \quad \text{Σχέση 4.1.2-6}$$

Επομένως η προσέγγιση για την u_2 είναι εκθετικής μορφής και φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

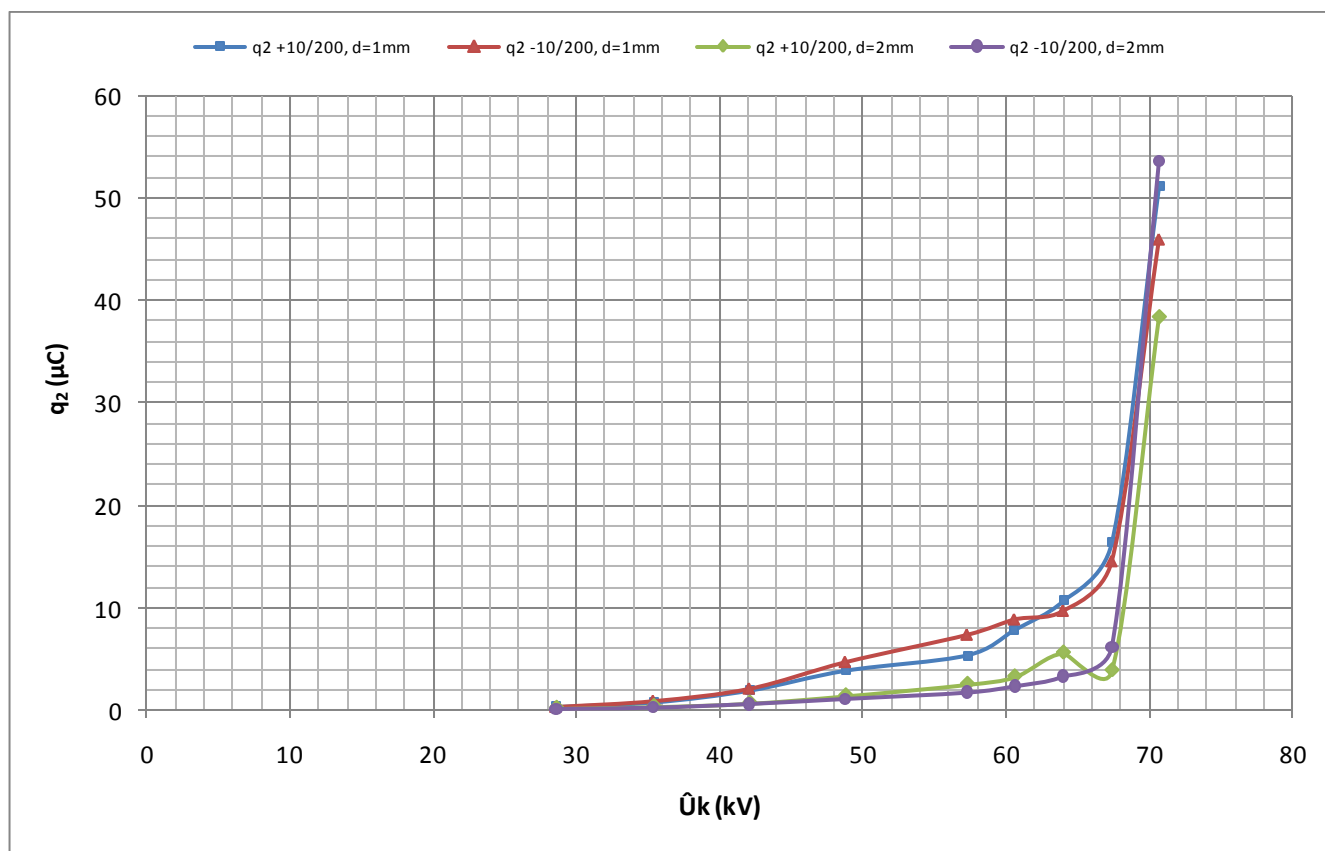
-10/200 μs d=1mm	$\gamma = 0.2797e^{0.0775x}$
+10/200 μs d=1mm	$\gamma = 0.2305e^{0.0802x}$
+10/200 μs d=2mm	$\gamma = 0.1089e^{0.0789x}$
-10/200 μs d=2mm	$\gamma = 0.0564e^{0.0886x}$

Πίνακας 4.1.2-1: Μαθηματική προσέγγιση του u_2
 u_2 : Στιγμαία τιμή της u_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων

Η μετατόπιση που παρατηρούμε στα γραφήματα που αφορούν το ίδιο πάχος δοκιμίου αλλά η κρουστική τάση είναι διαφορετικής πολικότητας οφείλεται όπως και παρόμοια φαινόμενα που έχουμε ήδη αναλύσει στο φαινόμενο της πολικότητας.

Τα ίδια συμπεράσματα που προέκυψαν για το u_2 προκύπτουν και για το Δt καθώς το $u_2 \gg u_1$.

4.1.3. Ανάλυση της στιγμιαίας τιμής του φορτίου του πυκνωτή μέτρησης κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων.

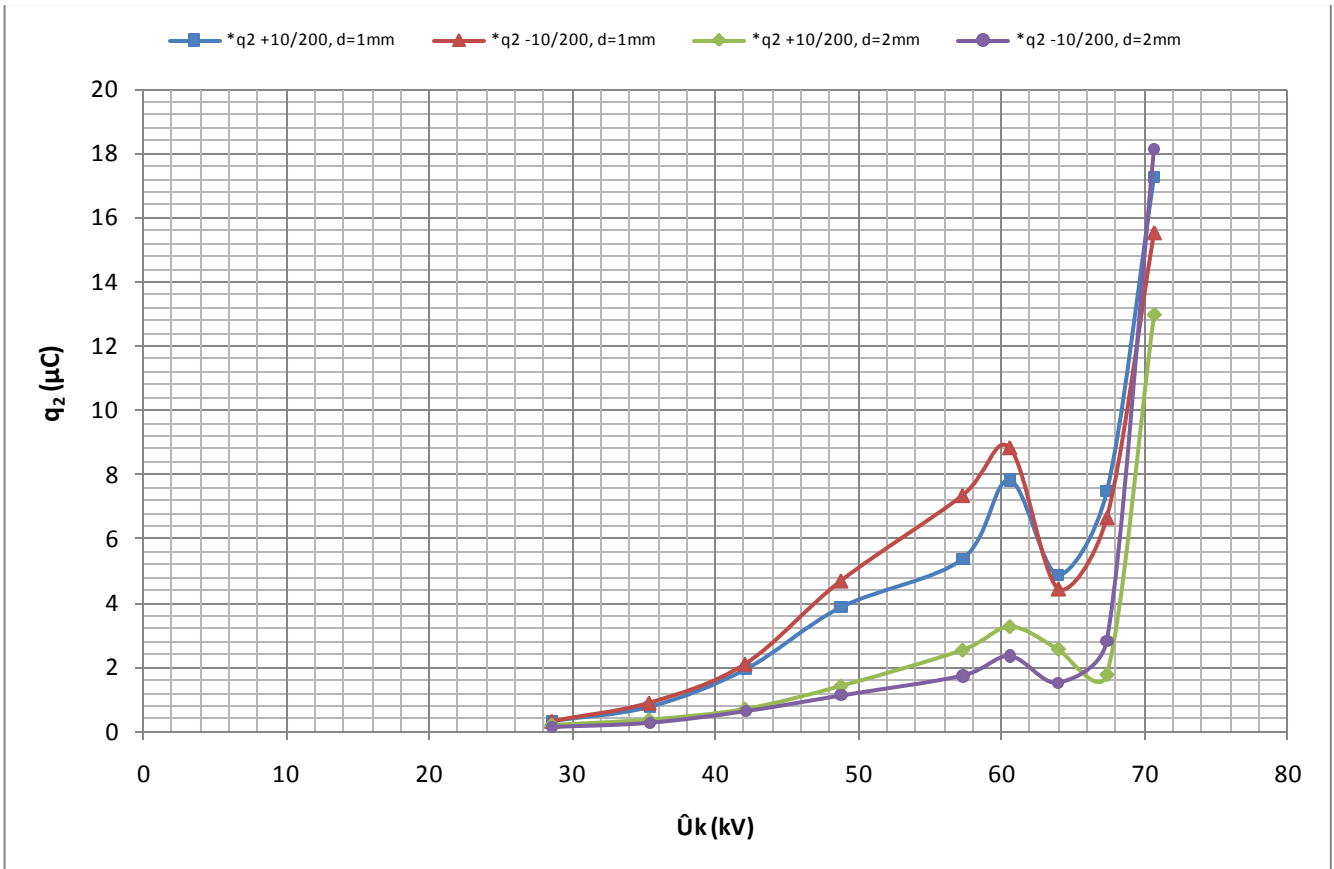


Σχήμα 4.1.3-1 : Χαρακτηριστική $q_2=f(U_{ik})$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu s$, $d=1,2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 U_{ik} : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Παρατηρούμε ότι η στιγμιαία τιμή του φορτίου στον πυκνωτή C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων ακολουθεί εκθετική πορεία. Παρακάτω θα δοθούν οι μαθηματικές προσεγγίσεις των γραφημάτων καθώς και οι κανονικοποιημένες βάση της σχέσης 4.1.2-4.

-10/200 μs $d=1mm$	$\gamma = 0.024e^{0.1x}$
+10/200 μs $d=1mm$	$\gamma = 0.0198e^{0.1027x}$
+10/200 μs $d=2mm$	$\gamma = 0.0093e^{0.1014x}$
-10/200 μs $d=2mm$	$\gamma = 0.0048e^{0.1111x}$

Πίνακας 4.1.3-1: Μαθηματική προσέγγιση του q_2
 u_2 : Στιγμιαία του φορτίου του C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 q_2 : Το φορτίο στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

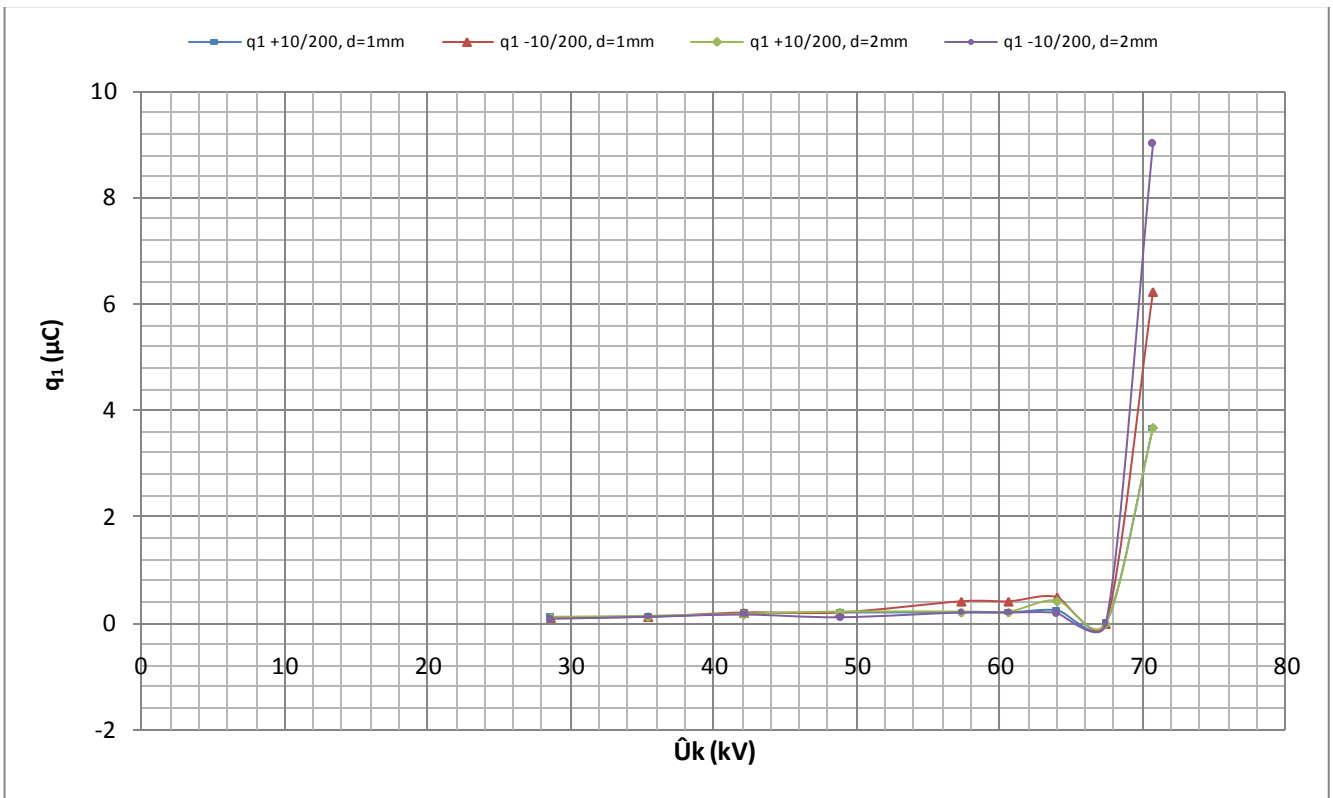


Σχήμα 4.1.3-2 : Χαρακτηριστική $*q_2=f(U_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu s$, $d=1,2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 $*q_2$: Το κανονικοποιημένο φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 U_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

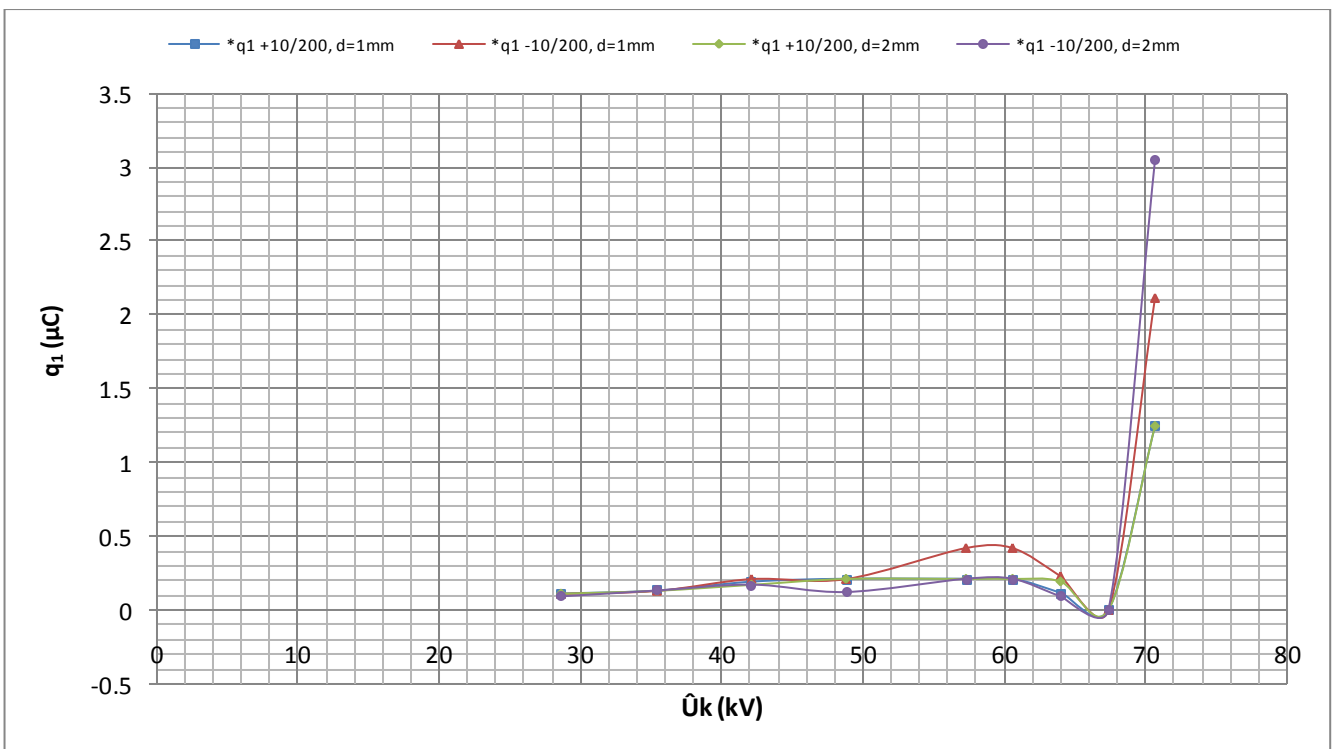
-10/200 μs $d=1mm$	$\gamma = 0.0587e^{0.0775x}$
+10/200 μs $d=1mm$	$\gamma = 0.0484e^{0.0802x}$
+10/200 μs $d=2mm$	$\gamma = 0.0229e^{0.0789x}$
-10/200 μs $d=2mm$	$\gamma = 0.0118e^{0.0886x}$

Πίνακας 4.1.3-2: Μαθηματική προσέγγιση του $*q_2$
 u_2 : Στιγμιαία του φορτίου του C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 $*q_2$: Το κανονικοποιημένο φορτίο στο C_m κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων

Το μέγεθος Δq έχει την ίδια περίπου μορφή με το φορτίο q_2 επειδή $q_2 \gg q_1$



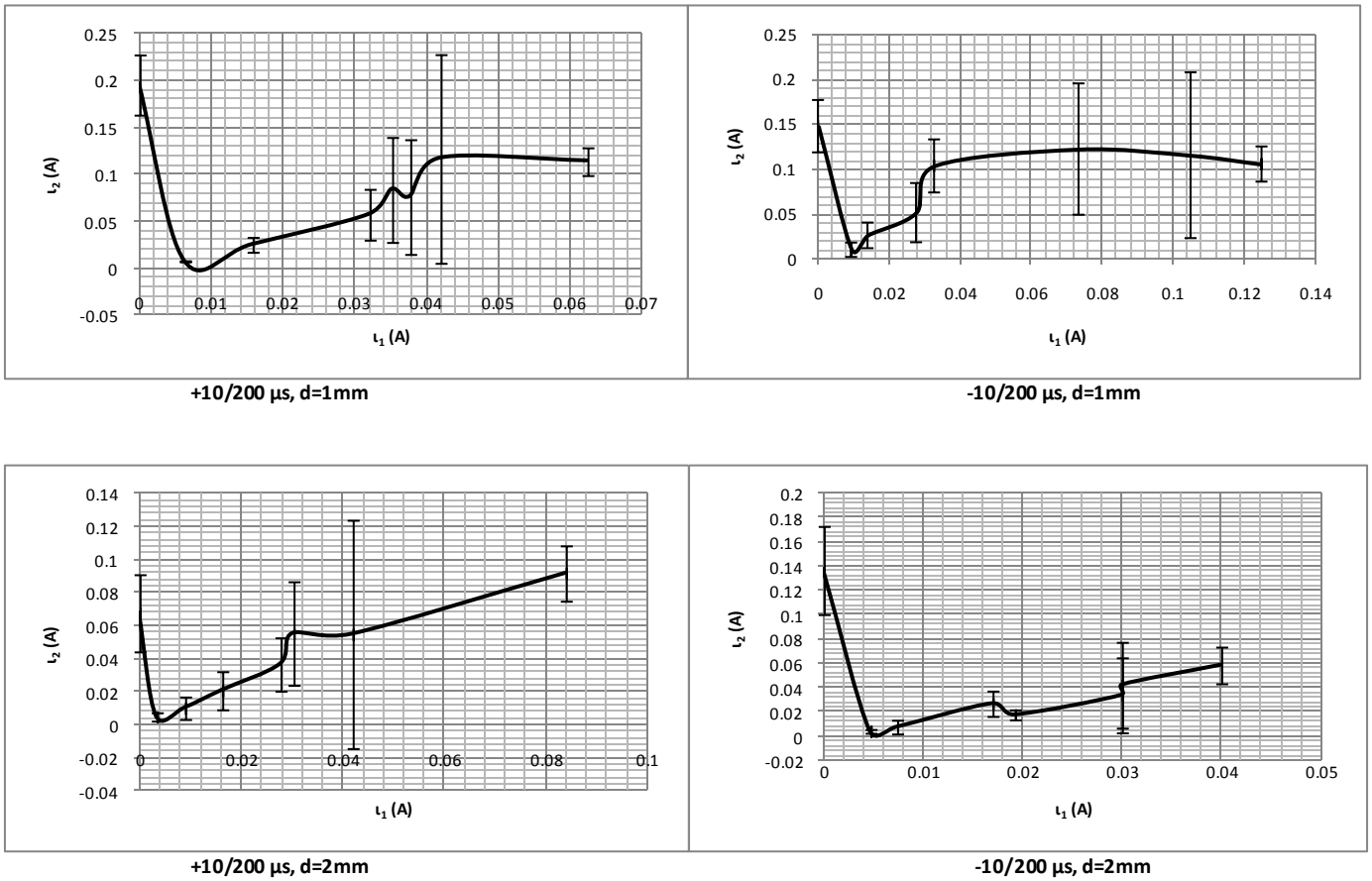
Σχήμα 4.1.3-3 : Χαρακτηριστική $q_1=f(\dot{U}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu s, d=1,2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 q_1 : Το φορτίο στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \dot{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης



Σχήμα 4.1.3-4 : Χαρακτηριστική $*q_1=f(\dot{U}_k)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu s, d=1,2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 $*q_1$: Το κανονικοποιημένο φορτίο στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 \dot{U}_k : Η μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης

Παρατηρούμε πως το φορτίο του πυκνωτή C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων παραμένει να είναι αρκετά μικρό μέχρι περίπου τα 65 kV όπου αρχίζει να αυξάνει με μεγάλο ρυθμό αφού όμως παρατηρηθεί μια βύθιση. Αυτό είναι αποτέλεσμα των πιο μεγάλων κρουστικών τάσεων που χρησιμοποιούνται για τις τελευταίες μετρήσεις του πειράματος. Οι μεγάλες τιμές της κρουστικής τάσης, σε συνδυασμό με το πολύ απότομο μέτωπο κάνουν το υλικό να αρχίζει να υποπίπτει στο φαινόμενο των μερικών εκκενώσεων για πολύ μικρό t_1 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πολύ μικρό u_1 . Έτσι παρόλο που ο πυκνωτής μέτρησης μεγαλώνει σημαντικά για τις τελευταίες μετρήσεις (από 200 -> 1000 -> 1835 nF) και θα περιμέναμε το διάγραμμα να είναι συνεχώς αυξανόμενο, λόγω του πολύ μικρού u_1 παρατηρείται βύθιση στο διάγραμμα.

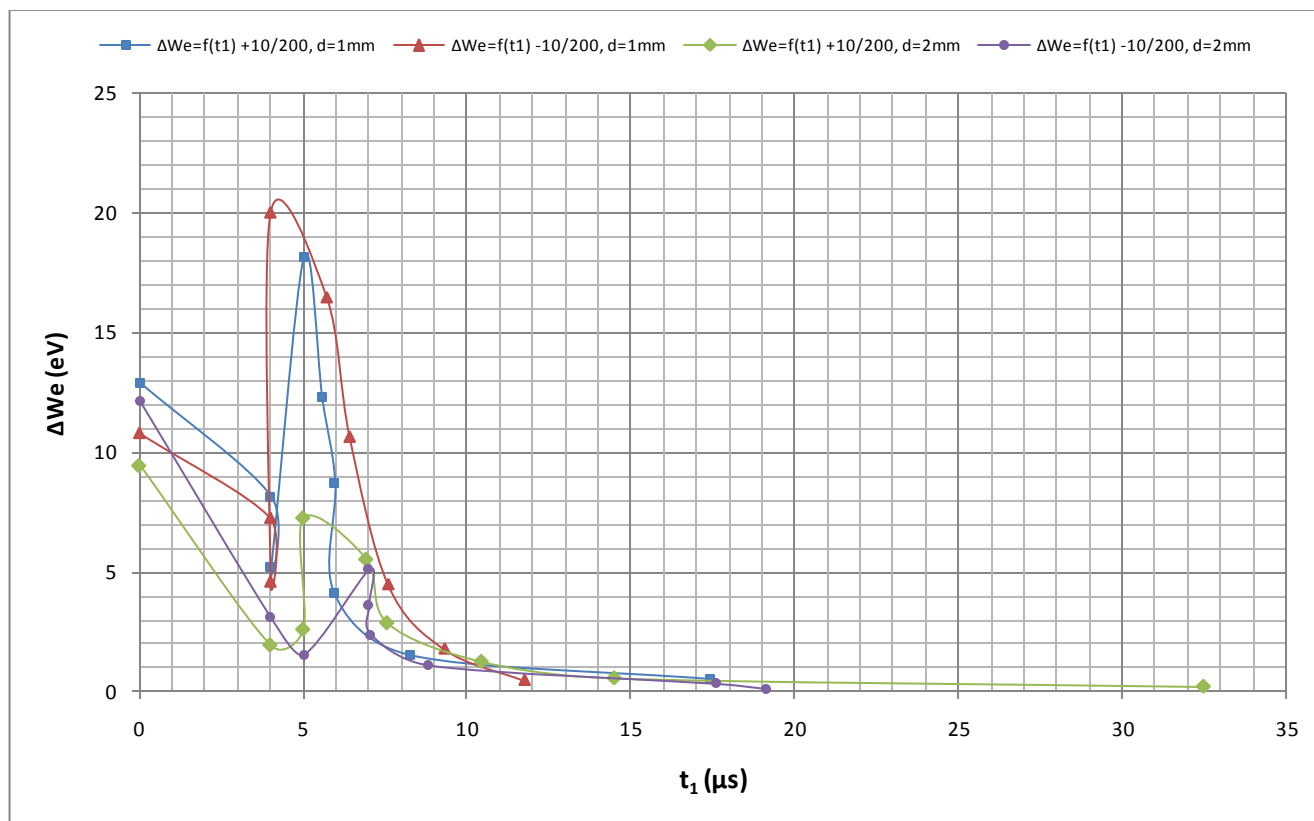
4.1.4. Ανάλυση της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος στον πυκνωτή μέτρησης κατά την έναρξη και το πέρας των μερικών εκκενώσεων.



Σχήμα 4.1.4-1 : Χαρακτηριστική $I_2=f(I_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu\text{s}, d=1,2\text{mm}$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 I_2 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 I_1 : Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος στο C_m κατά την έναρξη των μερικών εκκενώσεων
 I : 2 φορές η τυπική απόκλιση

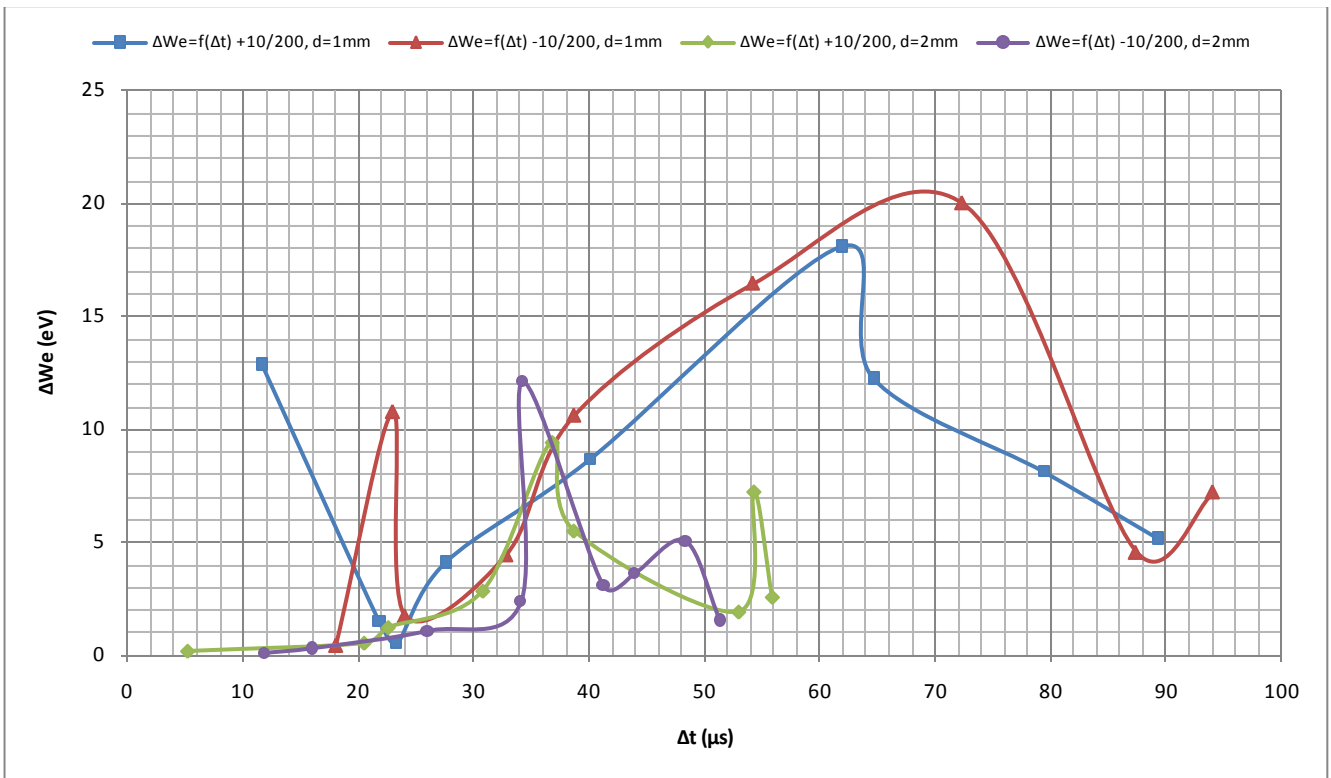
4.1.5. Ανάλυση της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων (ΔWe) κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων

Για τα σχήματα 3.(1,2,3,4)-23 απλώς αναφέρουμε πως βάση της σχέσης 2-5 τα ποσά ΔWe και Δu είναι ανάλογα οπότε είναι και λογικό να προκύπτουν ευθείες οι γραφικές παραστάσεις.



Σχήμα 4.1.5-1 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(t_1)$ του συνδυασμού 'πεπιεσμένο Χαρτί-λάδι μετασχηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu s$, $d=1,2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα – πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρας των μερικών εκκενώσεων
 t_1 : Ο χρόνος κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων

Παρατηρώ ότι για χρόνο έναρξης των μερικών εκκενώσεων μηδενικό, η ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι σε μία υψηλή στάθμη και περί τα 4 μs για το δοκίμιο πάχους 1 mm και τα 5 μs για το δοκίμιο πάχους 2 mm έχω αρνητική κλίση. Σε εκείνο το σημείο έχω μία κατακόρυφη αύξηση της ΔWe . Από αυτό το σημείο, μετά από την απότομη αύξηση έχω μια απότομη μείωση του γραφήματος έτσι ώστε η ΔWe σχεδόν να μηδενίζεται για χρόνους έναρξης των μερικών εκκενώσεων μεγαλύτερους των 10 μs , δηλαδή όταν το φαινόμενο των μερικών εκκενώσεων εμφανίζεται κοντά στην μέγιστη τιμή της κρουστικής τάσης ή στην 'ουρά' αυτής.



Σχήμα 4.1.5-2 : Χαρακτηριστική $\Delta We = f(\Delta t)$ του συνδυασμού 'πέπιασμένο Χαρτί-λάδι μετασηματιστή' υπό κρουστική τάση $\pm 10/200 \mu s$, $d=1,2mm$ για διάταξη ηλεκτροδίων «ακίδα - πλάκα»
 ΔWe : Η ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά το πέρασ των μερικών εκκενώσεων
 Δt : Ο χρόνος κατά το πέρασ μείον τον χρόνο κατά την αρχή των μερικών εκκενώσεων ($\Delta t = t_2 - t_1$)

4.1.6. Ανάλυση του αριθμού των ελεύθερων ηλεκτρονίων (N_e) και του μέγιστου αριθμού αλμάτων δυναμικού

Το μέγεθος N_e που συμβολίζει τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων συμπεριφέρεται όπως το Δq λόγω της σχέσης : 2-8

Το μέγεθος N_a που συμβολίζει τον μέγιστο αριθμό αλμάτων δυναμικού συμπεριφέρεται όπως το Δt λόγω της σχέσης : 2-9

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μπούρκας Π.Δ., Καραγιαννόπουλος Κ.Γ., Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Διατάξεις και υλικά, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2003
- [2] Μπούρκας Π.Δ. :Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα 1998
- [3] Bourkas P.D.: Radiation emission phenomena in a metal-dielectric-metal model under high electric fields, International Journal of power and Energy systems, Vol. 15, No. 2, p.p. 37-41, 1995
- [4] Moronis A. X., Boyrkas P. D. : Impact ionization effects at interfaces between solid dielectrics and insulation oil or air, during high voltage pulse applications, International Journal Interface Science, Vol. 2, p.p. 281-287, 1994
- [5] Δέρβος Κ.Θ., Μπούρκας Π.Δ. : Εισαγωγή στα Ηλεκτρομονωτικά Υλικά, Εκδόσεις Σπουδαστικής Μέριμνας Ε.Μ.Π., Αθήνα 1991
- [6] Σταθόπουλος Ι.Α., Μπούρκας Π.Δ., Τοπάλης Φ.Β. : Μετρήσεις και δοκιμές Υψηλών τάσεων,Ε.Μ.Π. 1991
- [7] Dervos C., Bourkas P.D., Kayafas E.A., Stathopoulos I.A. : Enhanced partial discharges due to temperature increase in the combined system of a solid-liquid dielectric, IEEE Trans. Elec.Insul., Vol. 25, No. 3, 1990, p.p. 469-474
- [8] Σταθόπουλος Ι. Α.: Υψηλές τάσεις, Αθήνα 1988
- [9] Kuffel E., Zaengl W.S. : High Voltage Engineering Fundamentals, Pergamon Press, Oxford 1984
- [10] Sparks M., Mills D.L., Warren R., Holstein T., Maradudin A., Sham L.J., King D.F. : Theory of electron-avalanche breakdown in solids, Phys. Rev. B., Vol. 24, No. 5, 1981, p.p. 3519-3536