



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βελτίωση και Θέση σε Λειτουργία Διατάξεων
Παραγωγής Υψηλών Τάσεων

Θεόδωρος Κιοσελάκης

A.M.: HN07407

Επιβλέπων: Δρ. Ζαχαρίας Γ. Δάτσιος, Έκτακτο Εκπαιδευτικό Προσωπικό

(Υπογραφή)

.....

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΚΙΟΣΕΛΑΚΗΣ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2022 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βελτίωση διατάξεων παραγωγής συνεχούς υψηλής τάσης και κρουστικής υψηλής τάσης, που έχουν κατασκευαστεί στα πλαίσια προηγούμενων πτυχιακών εργασιών, για εκπαιδευτική χρήση σε εργαστηριακές ασκήσεις. Αρχικά, αναφέρονται και αναλύονται οι κατηγορίες των υψηλών τάσεων και ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των διάφορων διατάξεων παραγωγής συνεχών υψηλών τάσεων που χρησιμοποιούνται συνήθως. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες διατάξεις, καθώς και οι βελτιώσεις που έγιναν. Τέλος, συναρμολογήθηκαν διάφορες διατάξεις και μετρήθηκαν οι τάσεις εξόδου τους. Αποδείχθηκε ότι οι διατάξεις παραγωγής συνεχούς υψηλής τάσης και κρουστικής υψηλής τάσης είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια εργαστηριακών ασκήσεων υψηλών τάσεων.

Λέξεις Κλειδιά: Υψηλές Τάσεις, Παραγωγή Συνεχούς Υψηλής Τάσης, Παραγωγή Κρουστικών Υψηλών Τάσεων

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ABSTRACT

The aim of the present thesis is the improvement of the high voltage DC and impulse generation configurations, that have already been constructed in previous theses for use in laboratory exercises for educational purposes. Initially, the categories of high voltages are analyzed, followed by the detailed description of the DC and impulse high voltage generation configurations. Subsequently, the high voltage components are presented, as well as their improved versions. Finally, several configurations were tested and the output voltages were measured, proving that the constructed high voltage DC devices can be used in the high voltage laboratory for student exercises.

Keywords: High Voltage, High Voltage DC Configurations, High Voltage Impulse Configurations

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου Ζαχαρία Δάτσιο για την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου έδωσε για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, όπως επίσης και στον κ. Μικρόπουλο καθηγητή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης διότι επέτρεψε τη χρήση του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων, στο οποίο είναι διευθυντής, για τη διεκπεραίωση του κατασκευαστικού μέρους και των μετρήσεων της πτυχιακής εργασίας. Τέλος, να ευχαριστήσω όσους ανθρώπους στάθηκαν δίπλα μου και με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια προκειμένου να ολοκληρώσω τις σπουδές μου, σε έναν τομέα που βρίσκω ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αγάπη.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	i
Abstract	iii
Ευχαριστίες	v
Πίνακας Περιεχομένων	vii
Πίνακας Εικόνων.....	viii
Κατάλογος Πινάκων.....	x
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Υψηλες Τάσεις.....	3
1.1 Κατηγορίες Υψηλών Τάσεων.....	3
1.2 Παραγωγή Εναλλασσόμενων Υψηλών Τάσεων	4
1.3 Παραγωγή Συνεχών Υψηλών Τάσεων	4
1.3.1 Διάταξη Απλής Ανόρθωσης	5
1.3.2 Διάταξη Villard	6
1.3.3 Διάταξη Greinacher	8
1.4 Παραγωγή Κρουστικών Υψηλών Τάσεων.....	9
Κεφάλαιο 2: Υφισταμένα Στοιχεία Υψηλής Τάσης.....	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Μετασηματιστής Δοκιμής	14
2.3 Ανορθωτές Υψηλής Τάσης	15
2.4 Πυκνωτές Υψηλής Τάσης	15
2.5 Αντιστάσεις Υψηλής Τάσης.....	18
2.6 Σφαιρικό Διάκενο	20
2.7 Γενικά σχόλια	21
Κεφάλαιο 3: Βελτίωση Στοιχείων Υψηλής Τάσης	22
3.1 Κατασκευή Βάσης.....	22
3.2 Ανορθωτές Υψηλής Τάσης	24
3.3 Πυκνωτές Υψηλής Τάσης	25
3.4 Αντιστάσεις Υψηλής Τάσης.....	26
3.5 Σφαιρικό Διάκενο.....	28
3.6 Συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων.....	30
3.7 Ράβδος γείωσης	32
Κεφάλαιο 4: Θέση Σε Λειτουργία Και Μετρήσεις	33
4.1 Συνεχής Υψηλή Τάση.....	33
4.2 Κρουστικές Υψηλές Τάσεις	53
Συμπεράσματα.....	57
Βιβλιογραφία.....	59
Παράρτημα Α: Τεχνικά Φυλλάδια	61

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1.1: Απλή ανόρθωση, κύκλωμα και τυπικές κυματομορφές τάσης [1]	6
Σχήμα 1.2: Διάταξη Villard, κύκλωμα και τυπικές κυματομορφές τάσης σε συνθήκες εν κενώ και υπό ωμικό φορτίο [1]	7
Σχήμα 1.3: Διάταξη Greinacher, κύκλωμα και τυπικές κυματομορφές τάσης υπό φορτίο [1].....	8
Σχήμα 1.4: Παραγωγή κρουστικών υψηλών τάσεων [1]	9
Σχήμα 1.5: Τυπικά κυκλώματα μονοβάθμιας γεννήτριας κρουστικών υψηλών τάσεων (i) τύπου a (ii) τύπου b [1].....	11
Εικόνα 2.1.1: Ολοκληρωμένη κατασκευή [5].....	13
Εικόνα 2.2.1: Μετασχηματιστής δοκιμής	14
Εικόνα 2.3.1: Δίοδοι YT συνδεδεμένες σε σειρά [6].....	15
Εικόνα 2.4.1: Πυκνωτές της τάξης των 22 nF [6].	16
Εικόνα 2.4.2: Πυκνωτές 220 nF σε σειρά (22 nF συνολικά) σε κουτί από Plexiglas [6]	17
Εικόνα 2.4.3: Σύνδεση πυκνωτών 220 nF σε σειρά με ακροδέκτη [5]	18
Εικόνα 2.5.1: Αντίσταση 2.9 kΩ (29 αντιστάσεις των 100 Ω συνδεδεμένες σε σειρά) [5]	19
Εικόνα 2.5.2: Αντίσταση 220 Ω (22 αντιστάσεις των 10 Ω συνδεδεμένες σε σειρά) [5]	19
Εικόνα 2.5.3: Αντίσταση 110 Ω (11 αντιστάσεις των 10 Ω συνδεδεμένες σε σειρά) [5]	20
Εικόνα 2.6.1: Σφαιρικό διάκενο [5]	20
Εικόνα 2.6.2: Το ελεύθερο άκρο από το σφαιρικό διάκενο [5].....	21
Εικόνα 3.1.1: Βάση απο μελαμίνη	22
Εικόνα 3.1.2: Μονωμένη μπάρα χαλκού βιδωμένη στη βάση. Στα δεξιά φαίνεται ο μετασχηματιστής δοκιμής τοποθετημένος στην θέση του	23
Εικόνα 3.2.1: Βελτιωμένες συνδέσεις μεταξύ των ανορθωτών και η βάση τους με τους ακροδέκτες τους.....	24
Εικόνα 3.3.1: Πυκνωτές της τάξης των 22 nF.....	25
Εικόνα 3.4.1: Βελτιωμένες συνδέσεις αντιστάσεων των 10 Ω (110 Ω συνολικά).....	26
Εικόνα 3.4.2: Βελτιωμένες συνδέσεις αντιστάσεων των 10 Ω	27
Εικόνα 3.4.3: Αντίσταση των 90 MΩ.	28
Εικόνα 3.5.1: Αναβαθμισμένο κλειστό σφαιρικό διάκενο.....	29
Εικόνα 3.5.2: Αναβαθμισμένο ανοιχτό σφαιρικό διάκενο.....	30
Εικόνα 3.6.1: Εικόνα διάταξης όπου φαίνονται οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων (α).....	31
Εικόνα 3.6.2: Εικόνα διάταξης όπου φαίνονται οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων (β)	31
Εικόνα 4.1.1: Παλμογράφος LeCroy waveRunner 64MXi.....	34
Εικόνα 4.1.2: Δοκιμαστήρας υψηλής τάσης - Tektronix P6015 1000X	34
Εικόνα 4.1.3a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, χωρίς φορτίο	35
Εικόνα 4.1.3b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, χωρίς φορτίο.....	35
Εικόνα 4.1.4a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 90 MΩ.....	36
Εικόνα 4.1.4b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 90 MΩ..	36
Εικόνα 4.1.5a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 45 MΩ.....	37
Εικόνα 4.1.5b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 45 MΩ..	37
Εικόνα 4.1.6a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο	38
Εικόνα 4.1.6b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο.....	39
Εικόνα 4.1.7a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.....	39
Εικόνα 4.1.7b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ	40
Εικόνα 4.1.8a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.....	40
Εικόνα 4.1.8b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ	41
Εικόνα 4.1.9a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, χωρίς φορτίο	42
Εικόνα 4.1.9b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, χωρίς φορτίο	42
Εικόνα 4.1.10a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 90 MΩ.....	43
Εικόνα 4.1.10b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 90 MΩ.....	43
Εικόνα 4.1.11a: Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 45 MΩ.....	44

Εικόνα 4.1.11b: Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 45 MΩ	44
Εικόνα 4.1.12a: Διάταξη Villard, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο	45
Εικόνα 4.1.12b: Κυματομορφή διάταξης Villard, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο..	46
Εικόνα 4.1.13a: Διάταξη Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ	46
Εικόνα 4.1.13b: Κυματομορφή διάταξης Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.....	47
Εικόνα 4.1.14a: Διάταξη Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ	47
Εικόνα 4.1.14b: Κυματομορφή διάταξης Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.....	48
Εικόνα 4.1.15a: Διάταξη Greinacher, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο.	49
Εικόνα 4.1.15b: Κυματομορφή διάταξης Greinacher, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο.....	49
Εικόνα 4.1.16a: Διάταξη Greinacher, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.....	50
Εικόνα 4.1.16b: Κυματομορφή διάταξης Greinacher, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ	50
Εικόνα 4.1.17a: Διάταξη Greinachen, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ	51
Εικόνα 4.1.17b: Κυματομορφή διάταξης Greinacher, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ	51
Εικόνα 4.2.1a: Μονοβάθμια κρουστική διάταξη 220/2900 Ω	53
Εικόνα 4.2.1b: Κυματομορφή μονοβάθμιας κρουστικής διάταξης 220/2900 Ω. Μετρήσεις: 1.918 kV, 0.982/40.71 μs	53
Εικόνα 4.2.2a: Μονοβάθμια κρουστική διάταξη 110/2900 Ω	54
Εικόνα 4.2.2b: Κυματομορφή μονοβάθμιας κρουστικής διάταξης 110/2900 Ω. Μετρήσεις: 2.152 kV, 0.57/34.31 μs	54
Εικόνα 4.2.3: Κυματομορφή μονοβάθμιας κρουστικής διάταξης 110/220 Ω. Μετρήσεις: 2.016 kV, 0.55/3.56 μs	55

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Διάταξη απλής ανόρθωσης: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=44$ nF.	38
Πίνακας 2: Διάταξη απλής ανόρθωσης: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=22$ nF.	41
Πίνακας 3: Διάταξη απλής ανόρθωσης: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=2.2$ nF.	45
Πίνακας 4: Διάταξη Villard: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=22$ nF.....	48
Πίνακας 5: Διάταξη Greinacher: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=22$ nF	52

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία σχεδιάζονται, βελτιώνονται και τίθενται σε λειτουργία διατάξεις παραγωγής υψηλών τάσεων, οι οποίες θα αξιοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Αρχικά παρουσιάζονται οι κατηγορίες των υψηλών τάσεων και στη συνέχεια γίνεται περιγραφή των επιμέρους στοιχείων που υπήρχαν ήδη και χρησιμοποιήθηκαν σε διατάξεις προηγούμενων πτυχιακών εργασιών. Ακολουθεί ένα κεφάλαιο με τις αλλαγές και τις βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στα στοιχεία και οι αντίστοιχες φωτογραφίες. Τέλος, παρουσιάζονται οι ολοκληρωμένες διατάξεις και αναλύονται οι αρχικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για λόγους ασφαλείας. Οι διατάξεις αυτές θα μεταφερθούν στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, όπου θα ενταχθούν στο εργαστηριακό μέρος των μαθημάτων Υψηλών Τάσεων I και II.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΥΨΗΛΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται βασικά θεωρητικά στοιχεία σχετικά με τις κατηγορίες των υψηλών τάσεων και την παραγωγή τους. Σημειώνεται ότι οι πληροφορίες του κεφαλαίου αυτού βασίζονται στις αναφορές [1]-[4].

1.1 Κατηγορίες Υψηλών Τάσεων

Ως τάση δοκιμής υπό εναλλασσόμενη υψηλή τάση, ορίζεται η τιμή της κορυφής της εναλλασσόμενης υψηλής τάσης (U), διαιρεμένη με τον αριθμό $\sqrt{2}$, με την προϋπόθεση πως η κυματομορφή της εναλλασσόμενης υψηλής τάσης είναι σχεδόν ημιτονοειδής. Η τιμή της κορυφής $u(t)$ ισούται με τη μέγιστη τιμή της και η ενεργός τιμή U_{rms} σε χρόνο μιας περιόδου δίνεται από τη σχέση:

$$U_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (1.1.1)$$

Όταν η κυματομορφή μιας εναλλασσόμενης υψηλής τάσης είναι παρόμοια στις δύο ημιπεριόδους και προσεγγίζει την ημιτονοειδή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δοκιμές εξοπλισμού.

Ως συνεχής τάση, U_{DC} , ορίζεται η αριθμητική μέση τιμή μιας τάσης $u(t)$, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_{\text{DC}} = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T u(t) dt} \quad (1.1.2)$$

όπου T είναι ένα χρονικό διάστημα με περιοδικά μεταβαλλόμενη τάση με συχνότητα $f = 1/T$. Μια τέτοιου είδους τάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δοκιμές εξοπλισμού, όταν ο συντελεστής κυμάτωσης είναι μικρότερος από 3%. Για τις δοκιμές αυτές με διάρκεια λιγότερη του ενός λεπτού, η τάση δοκιμής θα πρέπει να διατηρείται σταθερή στην καθορισμένη τιμή τάσης.

Τέλος, μια κρούση θεωρείται κάθε απεριοδικός μεταβατικός παλμός τάσης ή ρεύματος που επιβάλλεται σκόπιμα και συνήθως αυξάνεται γρήγορα φτάνοντας ως μια μέγιστη τιμή και στη συνέχεια φθίνει με βραδύτερο ρυθμό προσεγγίζοντας το μηδέν.

Σε ένα εργαστήριο, οι κρουστικές υψηλές τάσεις που παράγονται, ανάλογα με τη χρονική διάρκεια μετώπου της τάσης, διακρίνονται σε εξωτερικές ($< 20 \mu\text{s}$) και εσωτερικές ($\geq 20 \mu\text{s}$).

Τα υλικά του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να έχουν αντοχή στη συνεχή καταπόνηση από την τάση λειτουργίας, καθώς και τις καταπονήσεις από υπερτάσεις που εμφανίζονται στο σύστημα. Υπέρταση είναι η τάση που ξεπερνά σε τιμή τη μέγιστη τάση λειτουργίας του εξοπλισμού.

Τόσο οι εξωτερικές όσο και οι εσωτερικές υπερτάσεις προσομοιώνονται στο εργαστήριο υψηλών τάσεων μέσω των κρουστικών υψηλών τάσεων. Συνεπώς, η χρήση των κρουστικών υψηλών τάσεων επικεντρώνεται στις δοκιμές αντοχής εξοπλισμού και στη διερεύνηση της συμπεριφοράς μονώσεων.

1.2 Παραγωγή Εναλλασσόμενων Υψηλών Τάσεων

Σε ένα εργαστήριο υψηλών τάσεων, ο μετασχηματιστής δοκιμής αποτελεί το βασικότερο στοιχείο για τον εξοπλισμό του, καθώς παράγει εναλλασσόμενες υψηλές τάσεις, απαραίτητες για δοκιμές εξοπλισμού και παραγωγή συνεχών και κρουστικών υψηλών τάσεων.

Ένας μετασχηματιστής δοκιμής είναι μετασχηματιστής υψηλής τάσης μικρών διαστάσεων και έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει συνεχώς την τάση εξόδου από το μηδέν έως τη μέγιστη τιμή. Είναι συχνότερα μονοφασικός και η ισχύς τους ποικίλει από 1 – 600 kVA. Ωστόσο, για δοκιμές εξοπλισμού υψηλής τάσης, επιλέγονται μετασχηματιστές με ισχύς μέχρι περίπου 200 kVA. Η κατάλληλη σχεδίαση μερικών από αυτούς, επιτρέπει την παράλληλη σύνδεσή τους για μεγαλύτερη ισχύ ή κατά βαθμίδες για την παραγωγή υψηλότερων τάσεων με χαμηλότερο κόστος σε σχέση με έναν μετασχηματιστή. Η μόνωσή τους σχεδιάζεται με βάση τη μέγιστη τάση της λειτουργίας τους, ενώ η ψύξη τους είναι κυρίως φυσική.

1.3 Παραγωγή Συνεχών Υψηλών Τάσεων

Η παραγωγή συνεχών υψηλών τάσεων γίνεται στο εργαστήριο μέσω της ανόρθωσης εναλλασσόμενων υψηλών τάσεων, στις μέρες μας συνήθως με τη χρήση ανορθωτών πυριτίου. Συγκεκριμένα η παραγωγή συνεχών υψηλών τάσεων, επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ανορθωτών υψηλής τάσης, που κατασκευάζονται ως συστοιχία πολλών επιμέρους διόδων, συνδεδεμένων σε σειρά, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τάση αντοχής. Επιπρόσθετα στοιχεία αυτών των ανορθωτών είναι οι αντιστάσεις και οι πυκνωτές, που εξασφαλίζουν την

προστασία των διόδων και την ισοκατανομή της τάσης μεταξύ των επιμέρους στοιχείων της συστοιχίας, όταν δεν άγει ο ανορθωτής, ώστε να αντέξει τη μέγιστη τάση που θα δεχθεί.

Η παραγωγή συνεχών υψηλών τάσεων γίνεται μέσω μονοβάθμιων ή πολυβάθμιων ανορθωτικών διατάξεων (για την παραγωγή μεγαλύτερων τάσεων). Η περιγραφή λειτουργίας ορισμένων διατάξεων που παράγουν συνεχείς υψηλές τάσεις που χρησιμοποιούνται σε ένα εργαστήριο αναλύεται παρακάτω και θεωρείται πως η τάση εξόδου του μετασχηματιστή είναι ημιτονοειδής, καθώς και ότι οι ανορθωτές είναι ιδανικοί (ιδανική δίοδος).

1.3.1 Διάταξη Απλής Ανόρθωσης

Η διάταξη απλής ανόρθωσης αποτελεί την απλούστερη διάταξη στην παραγωγή συνεχών υψηλών τάσεων. Στο Σχήμα 1.1, ο πυκνωτής εξομάλυνσης C φορτίζεται από το μετασχηματιστή μέσω του ανορθωτή, κατά τη διάρκεια που αυτός άγει (ορθή πόλωση, διάστημα t_d) και εκφορτίζεται μέσω του φορτίου (αντίσταση R), όταν ο ανορθωτής δεν άγει (ανάστροφη πόλωση).

Ως πλάτος της κυμάτωσης της τάσης εξόδου της διάταξης ορίζεται η ημιδιαφορά της μέγιστης (U_{max}) και της ελάχιστης (U_{min}) τιμής της τάσης εξόδου μεταξύ των οποίων κυμαίνεται η κυματομορφή κατά την περιοδική μεταβολή της. Θεωρώντας την τάση εξόδου του μετασχηματιστή $u_T(t)$ ημιτονοειδή, με ενεργό τιμή (rms) U_T , τότε για την τάση εξόδου της διάταξης $u(t)$ ισχύει:

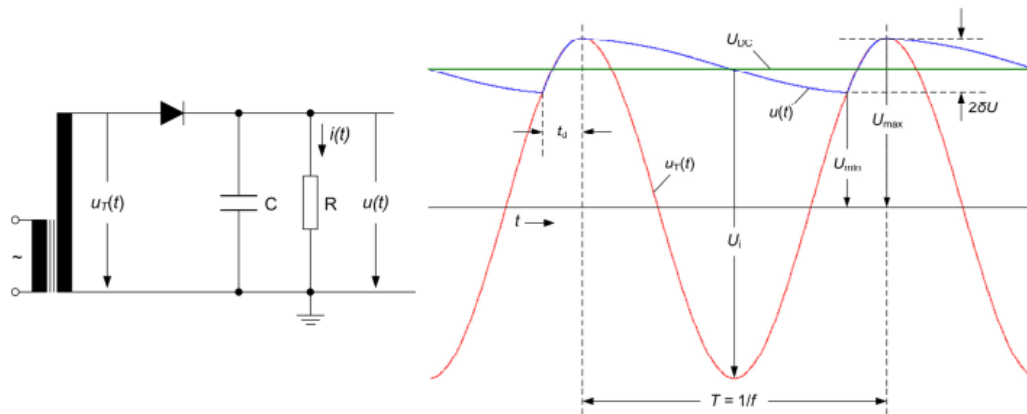
$$U_{min} \leq u(t) \leq U_{max} ; U_{max} = \sqrt{2}U_T ; U_{min} = U_{max} - 2\delta U \\ U_{DC} = U_{max} - \delta U$$

Η κυμάτωση της τάσης εξόδου της διάταξης απλής ανόρθωσης περιγράφεται από τη σχέση:

$$\delta U = \frac{IT}{2C} = \frac{I}{2fC} \quad (1.3.1.1)$$

όπου I είναι η μέση τιμή του ρεύματος εξόδου της διάταξης. Από τη σχέση (1.3.1.1) προκύπτει ότι κυμάτωση της τάσης εξόδου της διάταξης, άρα και η παραγόμενη συνεχής υψηλή τάση, έχουν άμεση εξάρτηση από τη φόρτιση της διάταξης (ρεύμα που διαρρέει το φορτίο), την τιμή της συχνότητας της εναλλασσόμενης υψηλής τάσης και την τιμή του πυκνωτή εξομάλυνσης. Συνεπώς, το γινόμενο fC πρέπει να έχει σχετικά μεγάλη τιμή, προκειμένου η κυμάτωση της τάσης εξόδου να είναι μικρή.

Σύμφωνα με το Σχήμα 1.1, στο χρονικό διάστημα όπου $u(t) < u_T(t)$, ο ανορθωτής άγει με ρεύμα μεγαλύτερης έντασης, αλλά πολύ μικρότερης διάρκειας σε σχέση με αυτό που διαρρέει το φορτίο. Κατά την ανάστροφη πόλωση του ανορθωτή, η μέγιστη τιμή της ανάστροφης τάσης στα άκρα του ανορθωτή είναι $U_i \approx 2\sqrt{2}U_T$, η οποία καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή της παραγόμενης συνεχούς υψηλής τάσης. Η τιμή αυτή μπορεί να καθοριστεί από την ανάστροφη τάση ενός ανορθωτή, με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 1.1 Απλή ανόρθωση, κύκλωμα και τυπικές κυματομορφές τάσης [1].

1.3.2 Διάταξη Villard

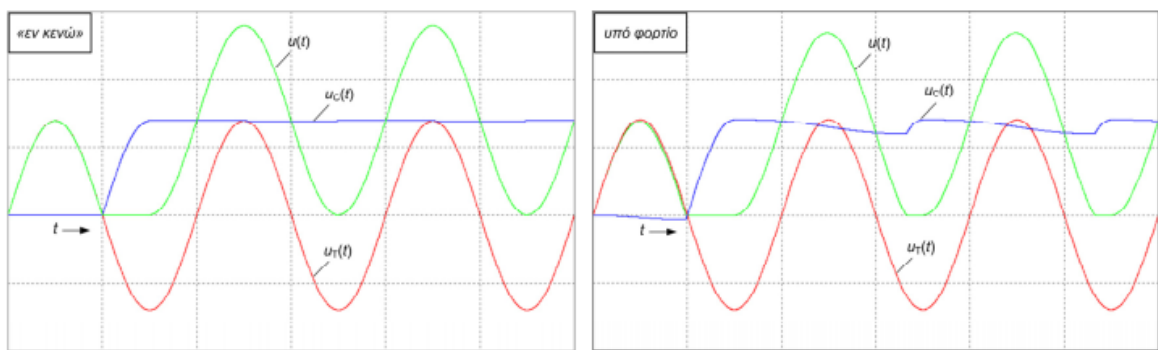
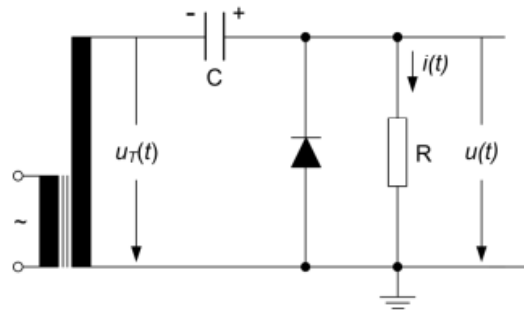
Η διάταξη Villard είναι η πιο απλή διάταξη διπλασιασμού τάσης (Σχήμα 1.2). Κάθε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της διάταξης Villard, η ανορθωμένη τάση εξόδου $u(t)$ δίνεται από το άθροισμα της τάσης εξόδου $u_T(t)$ και της τάσης φόρτισης του πυκνωτή $u_C(t)$:

$$u(t) = u_T(t) + u_C(t) \quad (1.3.2.1)$$

Η πολικότητα της τάσης φόρτισης του πυκνωτή έχει άμεση εξάρτηση από τη φορά του ανορθωτή και η τιμή της μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του φορτίου. Δεδομένου ότι η τάση εισόδου της διάταξης είναι ημιτονοειδής και έχει ενεργό τιμή U_T , ο πυκνωτής κατά την εν κενώ λειτουργία φορτίζεται με τη μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου του μετασχηματιστή δοκιμής $U_C = \sqrt{2}U_T$. Συνεπώς, η τάση εξόδου της διάταξης είναι ανορθωμένη ημιτονοειδής και αυξημένη κατά την U_C , σε σχέση με την $u_T(t)$ (Σχήμα 1.2). Κατά την εν κενώ λειτουργία της διάταξης Villard ισχύει:

$$U_{max} = 2\sqrt{2}U_T; \quad U_{min} = U_{max} - 2\delta U = 0; \quad \delta U = \sqrt{2}U_T; \quad U_i = 2\sqrt{2}U_T$$

$$U_{DC} = U_{max} - \delta U = \sqrt{2}U_T$$



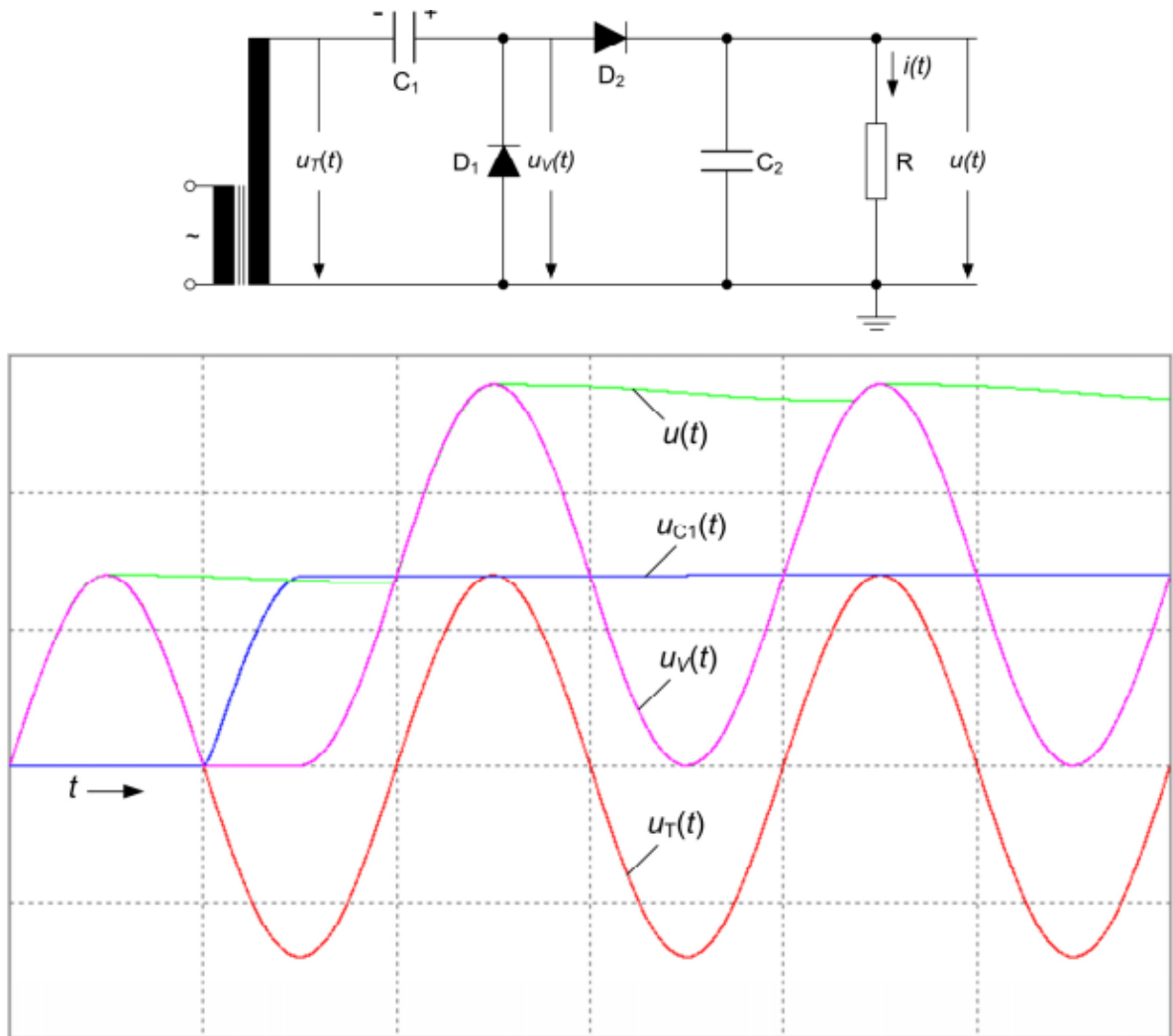
Σχήμα 1.2 Διάταξη Villard, κύκλωμα και τυπικές κυματομορφές τάσης σε συνθήκες εν κενώ και υπό ωμικό φορτίο [1].

Στην περίπτωση σύνδεσης κάποιου φορτίου στην έξοδο της διάταξης, η τάση του πυκνωτή δεν έχει σταθερή τιμή, λόγω της εκφόρτισης του πυκνωτή μέσω αυτού του φορτίου τη χρονική διάρκεια που δεν άγει ο ανορθωτής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τάση εξόδου να μην είναι πλέον ημιτονοειδής.

Η διάταξη Villard, λόγω της μεγάλης και μη αποδεκτής κυμάτωσης της τάσης εξόδου, χρησιμοποιείται ελάχιστα για την παραγωγή συνεχών υψηλών τάσεων. Αποτελεί ωστόσο, το βήμα για την υλοποίηση άλλων διατάξεων παραγωγής συνεχών υψηλών τάσεων, γι' αυτό και αξίζει να μελετηθεί.

1.3.3 Διάταξη Greinacher

Η διάταξη Greinacher αποτελεί την επέκταση της Villard που περιορίζει την κυμάτωση στην τάση εξόδου της. Επιπλέον χαρακτηριστικό της διάταξης αυτής είναι ο κλάδος εξομάλυνσης που απαρτίζεται από τον ανορθωτή D_2 και τον πυκνωτή C_2 (Σχήμα 1.3), δηλαδή συνδέεται στην έξοδο της Villard μία διάταξη απλής ανόρθωσης.



Σχήμα 1.3 Διάταξη Greinacher, κύκλωμα και τυπικές κυματομορφές τάσης υπό φορτίο [1].

Στην περίπτωση που η τάση εξόδου του μετασχηματιστή είναι ημιτονοειδής και η ενεργός τιμή της είναι U_T κατά τη λειτουργία της εν κενώ, τότε ισχύει:

$$U_{max} = 2\sqrt{2}U_T \quad \delta U = 0 \quad U_{i1} = U_{i2} = 2\sqrt{2}U_T$$

$$U_{DC} = U_{max} = 2\sqrt{2}U_T$$

όπου U_{i1} και U_{i2} αντιστοιχούν στην ανάστροφη τάση των δύο ανορθωτών.

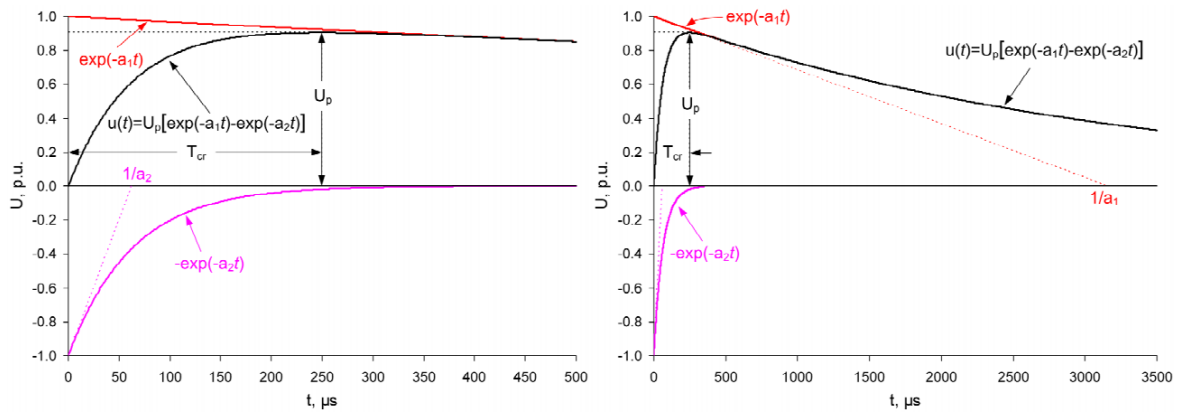
Όταν η διάταξη βρίσκεται σε λειτουργία υπό φορτίο, ο πυκνωτής C_2 εκφορτίζεται και η ανορθωμένη τάση εξόδου παρουσιάζει κυμάτωση ανάλογη της διάταξης της απλής ανόρθωσης και ισχύει:

$$U_{max} = 2\sqrt{2}U_T \quad U_{min} = U_{max} - 2\delta U \quad U_{i1} = U_{i2} \approx 2\sqrt{2}U_T$$

$$U_{DC} = U_{max} - 2\delta U = 2\sqrt{2}U_T - \delta U$$

1.4 Παραγωγή Κρουστικών Υψηλών Τάσεων

Από τη διαφορά δύο φθινουσών εκθετικών εξισώσεων μπορεί να παραχθεί η χαρακτηριστική καμπύλη των κρουστικών υψηλών τάσεων, δηλαδή μεγάλος ρυθμός αύξησης της τάσης μέχρι ένα μέγιστο και μετά βραδύτερη μείωση μέχρι μια μηδενική τιμή. Συνεπώς από κυκλώματα εκφόρτισης πυκνωτών, μέσω αντιστάσεων κατάλληλης τιμής, μπορούν να παραχθούν κρουστικές υψηλές τάσεις μιας επιθυμητής κυματομορφής (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4 Παραγωγή κρουστικών υψηλών τάσεων [1].

Τέτοιου είδους κυκλώματα είναι οι μονοβάθμιες και οι πολυβάθμιες γεννήτριες κρουστικών υψηλών τάσεων. Οι μονοβάθμιες γεννήτριες τύπου a και b απεικονίζονται στο Σχήμα 1.5, όπου ο κρουστικός πυκνωτής C_c φορτίζεται μέσω μιας αντίστασης φόρτισης, σε συνεχή υψηλή τάση U_0 , που ονομάζεται τάση φόρτισης. Η τάση αυτή παράγεται από μία διάταξη παραγωγής συνεχούς υψηλής τάσης. Τη στιγμή που το βοηθητικό διάκενο G , το οποίο λειτουργεί ως διακόπτης υψηλής τάσης διασπαστεί, ο πυκνωτής C_c φορτίζει μέσω της αντίστασης R_f τον πυκνωτή C_f . Την ίδια χρονική στιγμή οι δύο πυκνωτές εκφορτίζονται μέσω

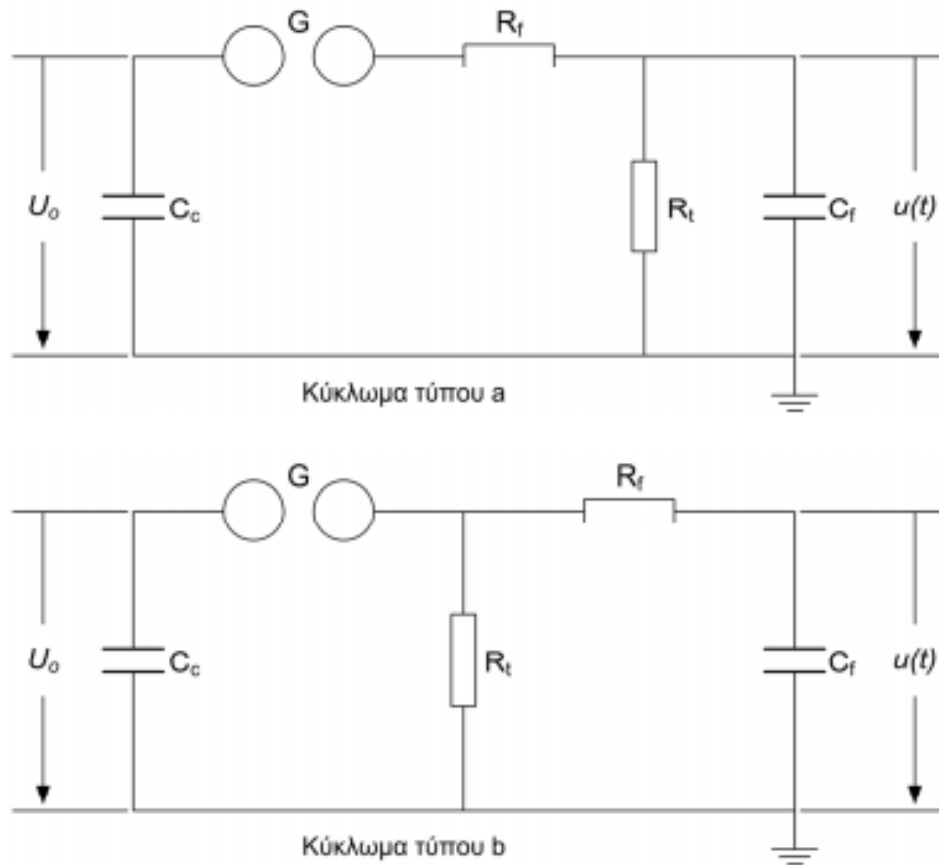
της αντίστασης R_t . Η αντίσταση C_f ονομάζεται αντίσταση μετώπου (ή σπανιότερα απόσβεσης), η R_t αντίσταση ουράς, ενώ ο πυκνωτής C_f πυκνωτής φορτίου ή συχνότερα μετώπου. Η τάση εξόδου της γεννήτριας $u(t)$ αντιστοιχεί στην τάση κατά μήκος του πυκνωτή μετώπου C_f . Συνεπώς για την παραγωγή της επιθυμητής κυματομορφής κρουστικής τάσης απαιτείται ταχεία φόρτιση του πυκνωτή C_f για τη γρήγορη αύξηση της τάσης μέχρι μια μέγιστη τιμή και βραδεία εκφόρτιση των C_f και C_c για την μείωση της τάσης με αργό ρυθμό προς το μηδέν. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να ισχύει $R_t \gg R_f$ και $C_c \gg C_f$, έτσι ώστε η διάρκεια της φόρτισης του C_f με χρονική σταθερά $R_t C_f$ να συμπίπτει με τη διάρκεια μετώπου της κρουστικής υψηλής τάσης και η διάρκεια εκφόρτισης με χρονική σταθερά $R_t (C_f + C_c)$ με τη διάρκεια ουράς.

Η τάση κορυφής U_p , που είναι η μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου της γεννήτριας, είναι πάντα μικρότερη από την τιμή της τάσης φόρτισης U_0 της γεννήτριας. Κατά τη διάσπαση του βοηθητικού διακένου, το αρχικό διαθέσιμο φορτίο του πυκνωτή C_c κατανέμεται αναλογικά στους C_c και C_f . Από το λόγο της τάσης κορυφής προς την τάση εισόδου της γεννήτριας προκύπτει ο συντελεστής χρησιμοποίησης η της γεννήτριας για τον οποίο ισχύει:

$$\text{Κύκλωμα τύπου a: } \eta = \frac{U_p}{U_0} \leq \frac{R_t}{R_t + R_f} \frac{C_c}{C_c + C_f}$$

$$\text{Κύκλωμα τύπου b: } \eta = \frac{U_p}{U_0} \leq \frac{C_c}{C_c + C_f}$$

Από αυτές τις σχέσεις προκύπτει ότι για φτάσει η τάση εξόδου της γεννήτριας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη τιμή, υπό δεδομένη τάση φόρτισης θα πρέπει $C_c \gg C_f$. Επίσης, ο συντελεστής χρησιμοποίησης της γεννήτριας κυκλώματος τύπου a, να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο συντελεστή η τύπου b, εφόσον στο πρώτο κύκλωμα οι δύο αντιστάσεις, μετώπου και ουράς, είναι συνδεδεμένες ως «καταμεριστής τάσης» (Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5 Τυπικά κυκλώματα μονοβάθμιας γεννήτριας κρουστικών υψηλών τάσεων
(i) τύπου a (ii) τύπου b [1].

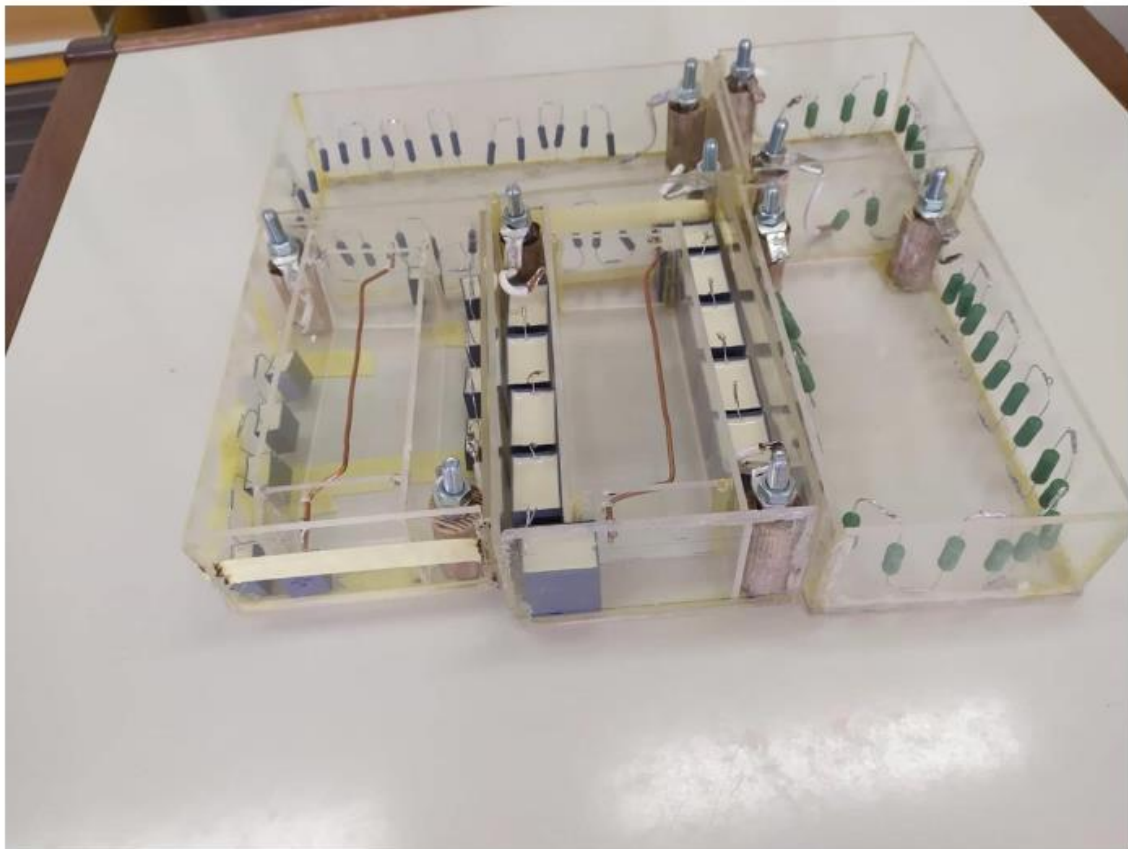


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Σε προηγούμενες ολοκληρωμένες πτυχιακές εργασίες (Ζαέκης Παντελεήμονος [5] και Αουρέλ Λέσι [6]) κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο στοιχεία υψηλής τάσης για τη δημιουργία διατάξεων παραγωγής υψηλών τάσεων. Το βασικότερο στοιχείο αυτών των εργασιών ήταν ένας μετασχηματιστής δοκιμής που αγοράστηκε για το εργαστήριο. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν ανορθωτές, πυκνωτές, αντιστάσεις και ένα σφαιρικό διάκενο, των οποίων η περιγραφή ακολουθεί στο παρόν κεφάλαιο.

Κατά την αρχική κατασκευή των στοιχείων οι κολλήσεις είχαν γίνει με κόλληση γενικής χρήσης (60% ψευδάργυρος και 40% μόλυβδος) ενώ δεν είχε χρησιμοποιηθεί εποξειδική ρητίνη χύτευσης ως μόνωση μεταξύ των επιμέρους στοιχείων. Μεταξύ τους είχαν αέρα ως μονωτικό (Εικόνα 2.1.1) προκειμένου να είναι ορατά στους φοιτητές για εκπαιδευτικούς λόγους. Αυτή η πρακτική ίσως περιορίζει τη μέγιστη δυνατή τάση εξόδου που μπορεί να επιτευχθεί.



Εικόνα 2.1.1 Ολοκληρωμένη κατασκευή [5].

2.2 Μετασχηματιστής Δοκιμής

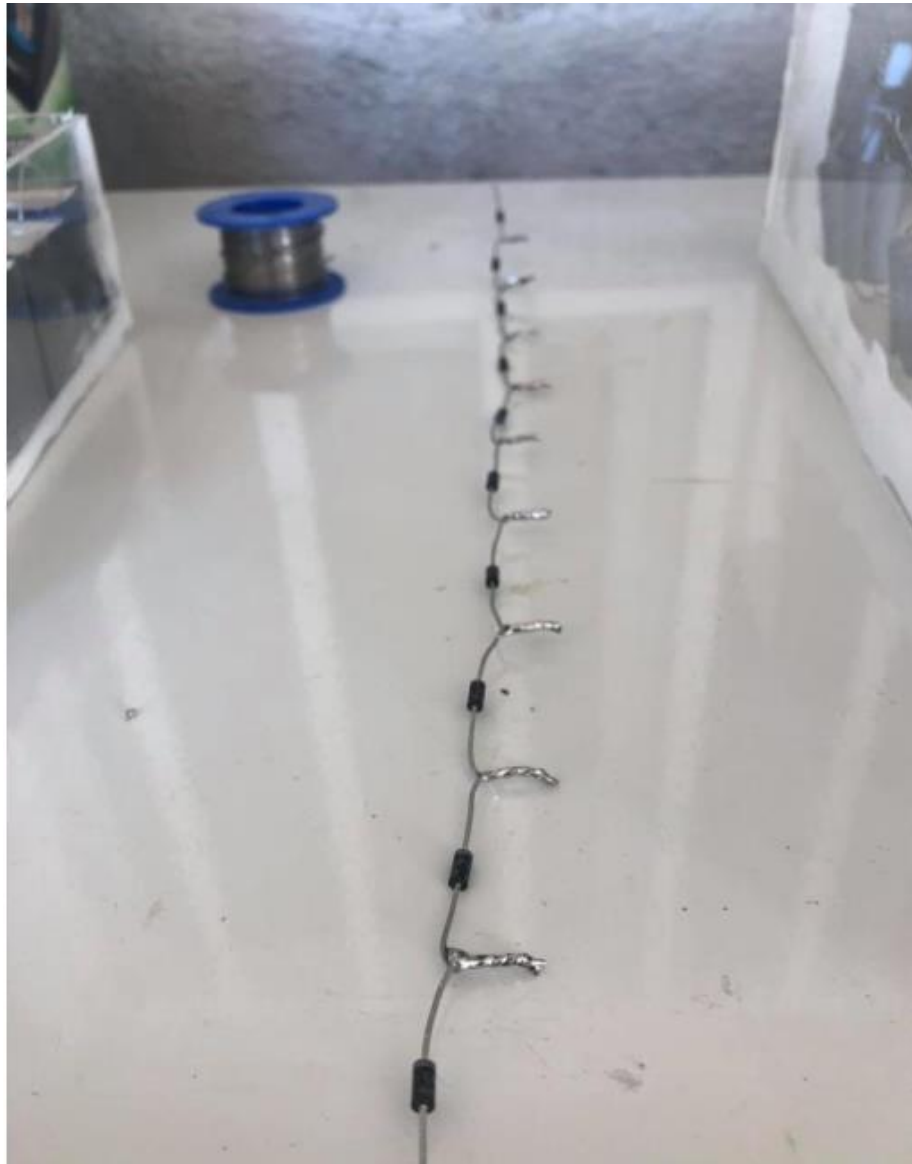
Στις διατάξεις που είχαν κατασκευαστεί [5], [6] χρησιμοποιήθηκε μετασχηματιστής δοκιμής (Εικόνα 2.2.1) 230 V/10 kV, 1 kVA που τροφοδοτείται μέσω variac ώστε να ελέγχεται πλήρως η τάση εξόδου του από το 0 έως τα 10 kV (τάση εισόδου των διάφορων διατάξεων). Τα 10 kV λαμβάνονται μεταξύ των δύο ακροδεκτών ΥΤ που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα ενώ ανάμεσα στον κάθε ακροδέκτη και τη γη (μεταλλικό περίβλημα του μετασχηματιστή δοκιμής) η τάση μπορεί να μεταβληθεί από 0 έως και 5 kV.



Εικόνα 2.2.1 Μετασχηματιστής δοκιμής.

2.3 Ανορθωτές Υψηλής Τάσης

Η δημιουργία των δύο ανορθωτών υψηλής τάσης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δέκα διόδων υψηλής τάσης συνδεδεμένων σε σειρά (Εικόνα 2.3.1). Η συνολική τάση αντοχής είναι 40 kV.



Εικόνα 2.3.1 Δίοδοι ΥΤ συνδεδεμένες σε σειρά [6].

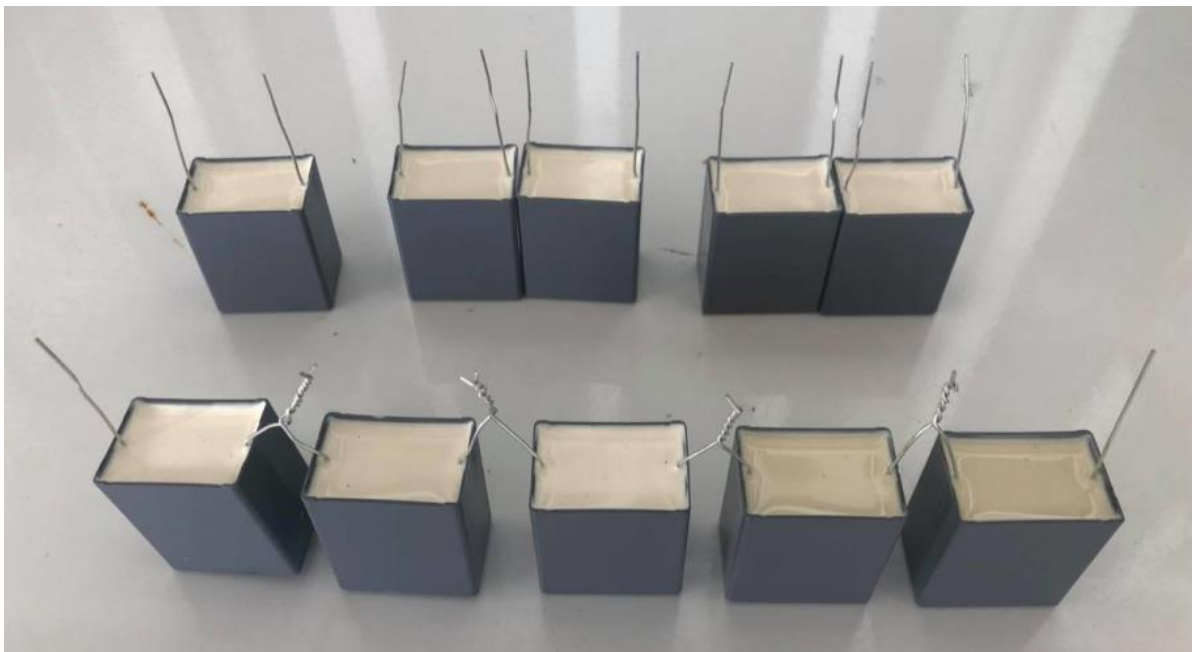
2.4 Πυκνωτές Υψηλής Τάσης

Οι πυκνωτές που είχαν κατασκευαστεί και χρησιμοποιούνται στις διατάξεις παραγωγής υψηλής τάσης ως πυκνωτές εξομάλυνσης, φόρτισης και μετώπου έχουν χωρητικότητα 22 nF (2 πυκνωτές αποτελούμενοι από 10 πυκνωτές των 220 nF εν σειρά, Εικόνα 2.4.1) και 2.2 nF

(1 πυκνωτής αποτελούμενοι από 10 πυκνωτές των 22 nF εν σειρά). Η τάση αντοχής του κάθε πυκνωτή υψηλής τάσης 2.2 και 22 nF είναι 20 kV. Οι πυκνωτές υψηλής τάσης τοποθετήθηκαν σε κουτί από Plexiglas αφού συνδέθηκαν σε σειρά (Εικόνα 2.4.2).

Οι πυκνωτές YT που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διατάξεις παραγωγής YT είναι:

- 44 nF (2x 22 nF εν παραλλήλω)
- 22 nF
- 11 nF (2x 22 nF εν σειρά)
- 2.2 nF.



Εικόνα 2.4.1 Πυκνωτές της τάξης των 220 nF [6].



Εικόνα 2.4.2 Πυκνωτές 220 nF σε σειρά (22 nF συνολικά) σε κουτί από Plexiglas [6].



Εικόνα 2.4.3 Σύνδεση πυκνωτών 220 nF σε σειρά με ακροδέκτη [5].

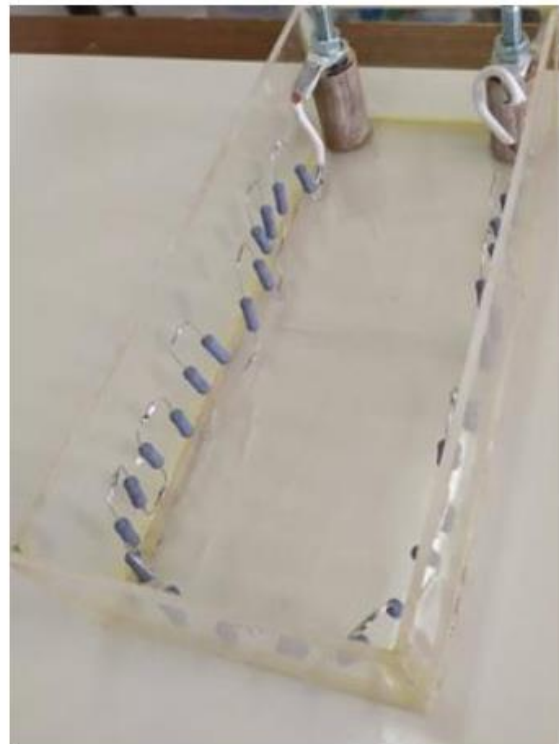
2.5 Αντιστάσεις Υψηλής Τάσης

Οι διατάξεις παραγωγής υψηλών τάσεων περιλαμβάνουν αντιστάσεις μετώπου και ουράς (για τις κρουστικές τάσεις) αλλά και αντιστάσεις που παίζουν τον ρόλο του φορτίου για τις συνεχείς υψηλές τάσεις.

Οι αντιστάσεις που είχαν κατασκευαστεί είναι [5], [6]:

- 2x 90 MΩ, 30 kV (συνδυασμοί τους εν παραλλήλω και εν σειρά: 45 MΩ, 180 MΩ)
- 5 MΩ, 37.5 kV
- 2.9 kΩ, 174 kV (Εικόνα 2.5.1)
- 220 Ω, 44 kV (Εικόνα 2.5.2)
- 110 Ω, 22 kV (Εικόνα 2.5.3)

Σημειώνεται ότι ενδέχεται να υπάρχει απόκλιση μεταξύ της πειραματικής τιμής τόσο της αντίστασης όσο και των πυκνωτών συγκριτικά με τις τιμές που προδιαγράφει ο κατασκευαστής. Επιπλέον, υπάρχει προστιθέμενη αντίσταση και αυτεπαγωγή λόγω των αγωγών συνδέσεων, καθώς και παράσιτα στοιχεία αυτεπαγωγής και χωρητικότητας των ίδιων στοιχείων.



Εικόνα 2.5.1 Αντίσταση $2.9\text{ k}\Omega$ (29 αντιστάσεις των $100\ \Omega$ συνδεδεμένες σε σειρά) [5].



Εικόνα 2.5.2 Αντίσταση $220\ \Omega$ (22 αντιστάσεις των $10\ \Omega$ συνδεδεμένες σε σειρά) [5].



Εικόνα 2.5.3 Αντίσταση 110 Ω (11 αντιστάσεις των 10 Ω συνδεδεμένες σε σειρά) [5].

2.6 Σφαιρικό Διάκενο

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί, η γεννήτρια των κρουστικών υψηλών τάσεων θα πρέπει να λειτουργεί σε ένα εύρος τιμών τάσης φόρτισης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, κατασκευάστηκε ένα σφαιρικό διάκενο (διακόπτης υψηλής τάσης) έχοντας το ένα άκρο ελεύθερο να κινείται μέσα στο επιθυμητό εύρος τιμών μήκους διακένου. Για την κατασκευή αυτή είχαν χρησιμοποιηθεί δύο μεταλλικά πόμολα, στερεωμένα το καθένα σε μια μεταλλική γωνία, στερεωμένες με τη σειρά τους σε ξύλινες βάσεις. Η μια βάση μπορεί να κινηθεί ελεύθερα από το χρήστη με τη βοήθεια μονωτικής ράβδου (Εικόνες 2.6.1-2.6.2) [5].



Εικόνα 2.6.1 Σφαιρικό Διάκενο [5].



Εικόνα 2.6.2 Το ελεύθερο άκρο από το σφαιρικό διάκενο [5].

2.7 Γενικά σχόλια

Τα στοιχεία υψηλής τάσης που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια των προηγούμενων πτυχιακών εργασιών, αν και ήταν λειτουργικά και έγιναν μετρήσεις με υψηλή τάση, είχαν διάφορα μειονεκτήματα. Παραδείγματος χάριν, κάποια στοιχεία είχαν μεγάλο μέγεθος, σε άλλα οι ακροδέκτες δεν είχαν κολληθεί με τον ενδεδειγμένο τρόπο, ενώ επίσης δεν είχε δοθεί έμφαση στη στήριξη των διατάξεων και στις συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων. Ο στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βελτίωση των στοιχείων αυτών και των διατάξεων παραγωγής υψηλής τάσης με γνώμονα την διευκόλυνση της διεξαγωγής εργαστηριακών ασκήσεων στα μαθήματα των Υψηλών Τάσεων I και II.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν και θα παρουσιαστούν οι βελτιώσεις που έγιναν στα επιμέρους στοιχεία.

3.1 Κατασκευή Βάσης

Προκειμένου να υπάρχει οργάνωση στη χωροθέτηση των στοιχείων ΥΤ και σταθερότητα στη διάταξη, κατασκευάστηκε βάση από μελαμίνη, διαστάσεων 110x60 cm (Εικόνα 3.1.1). Τα στοιχεία των διατάξεων σταθεροποιήθηκαν επάνω στη βάση με τη χρήση αυτοκόλλητων ταινιών Velcro. Τέλος, μια μονωμένη μπάρα χαλκού βιδώθηκε στη βάση (Εικόνα 3.1.2), με σκοπό τη δημιουργία κοινού ζυγού για τη γείωση της διάταξης. Ο ζυγός συνδέεται πάντα με το περίβλημα του μετασχηματιστή δοκιμής.



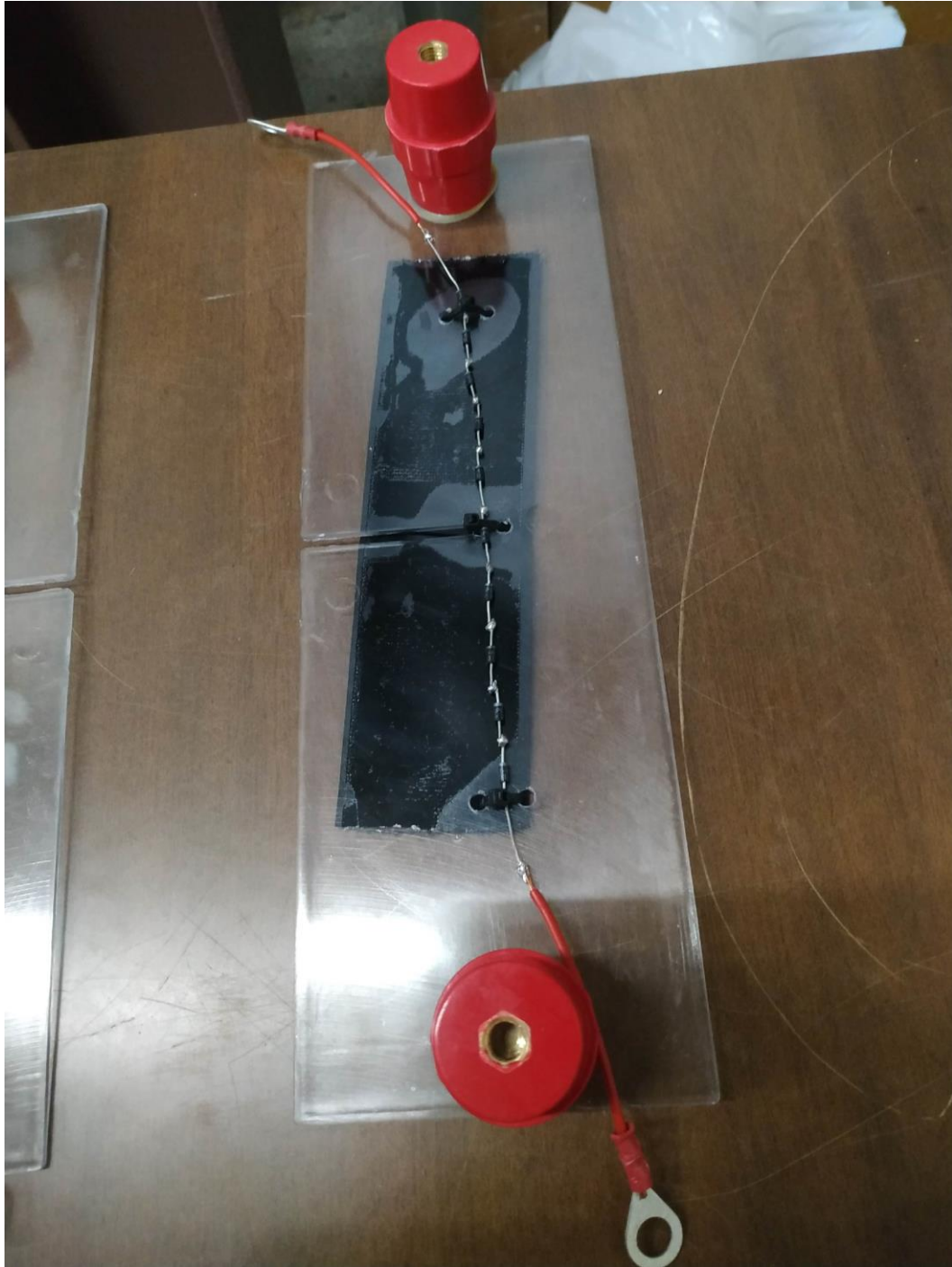
Εικόνα 3.1.1 Βάση από μελαμίνη.



Εικόνα 3.1.2 Μονομένη μπάρα χαλκού βιδωμένη στη βάση. Στα δεξιά φαίνεται ο μετασχηματιστής δοκιμής τοποθετημένος στην θέση του.

3.2 Ανορθωτές Υψηλής Τάσης

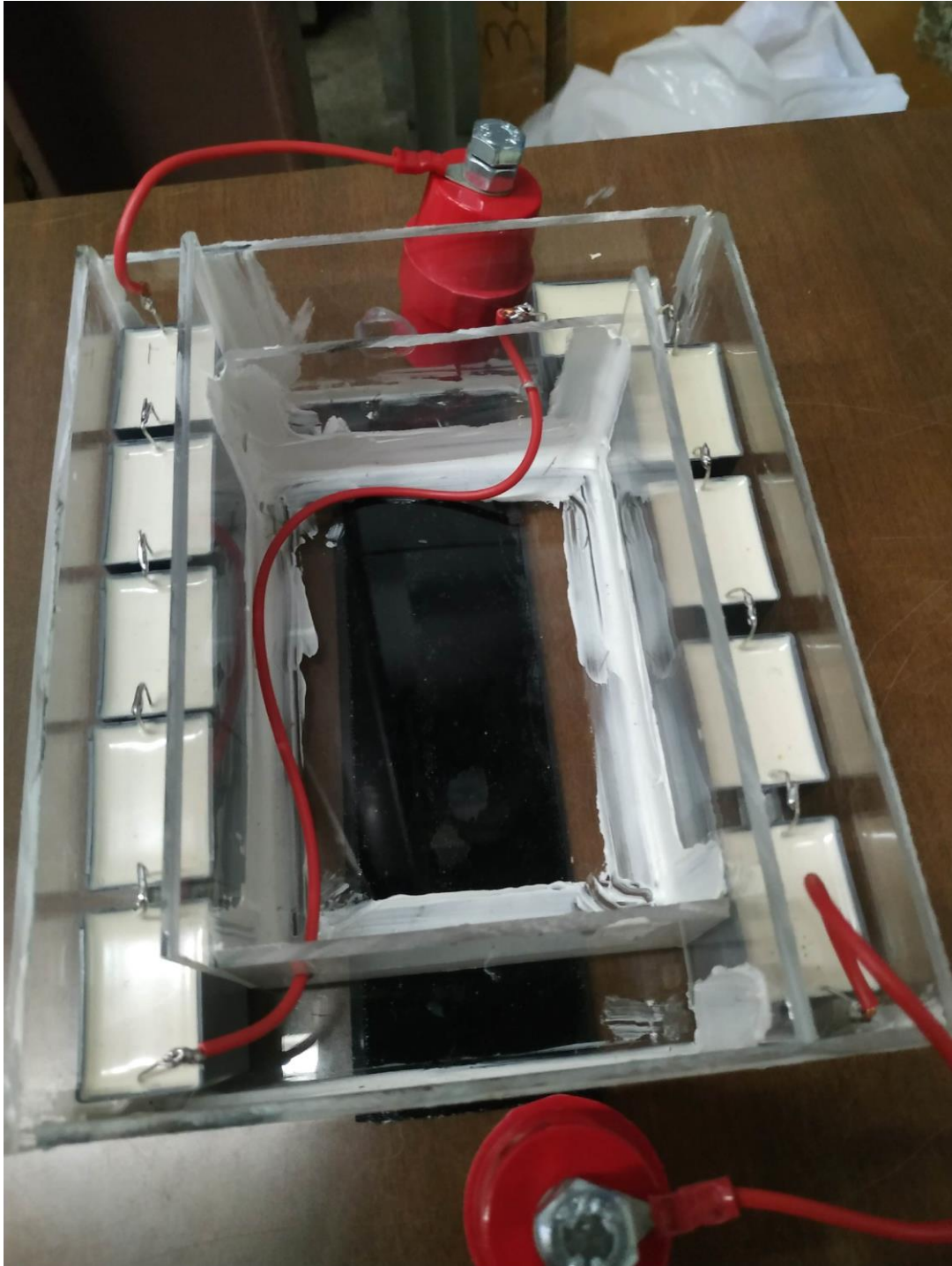
Για την αποφυγή εκκενώσεων κορώνα λόγω της υψηλής τάσης, βελτιώθηκαν οι συνδέσεις μεταξύ των ανορθωτών («αιχμηρά» σημεία που ενισχύουν την ηλεκτρική πεδιακή ένταση). Επίσης, τοποθετήθηκαν οι ανορθωτές σε βάση από Plexiglas με μονωτήρες σε κάθε άκρο, με στόχο τη βελτίωση των συνδέσεων μεταξύ των στοιχείων στις διατάξεις (Εικόνα 3.2.1).



Εικόνα 3.2.1 Βελτιωμένες συνδέσεις μεταξύ των ανορθωτών και η βάση τους με τους ακροδέκτες τους.

3.3 Ποκνωτές Υψηλής Τάσης

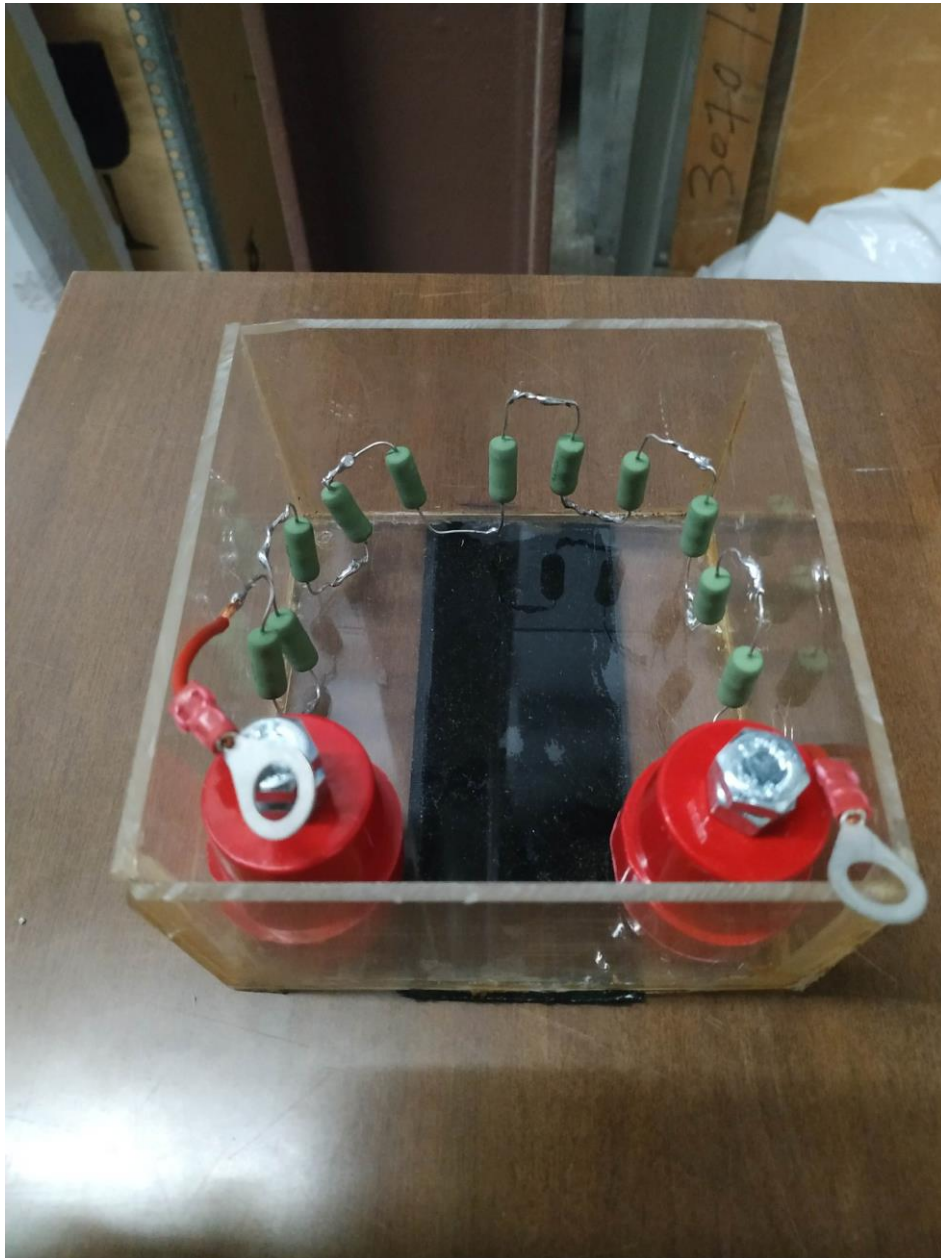
Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3.1, οι συνδέσεις βελτιώθηκαν για την αποφυγή εκκενώσεων κορώνα και τοποθετήθηκαν μονωτήρες για την ευκολότερη σύνδεση μεταξύ των στοιχείων ΥΤ.



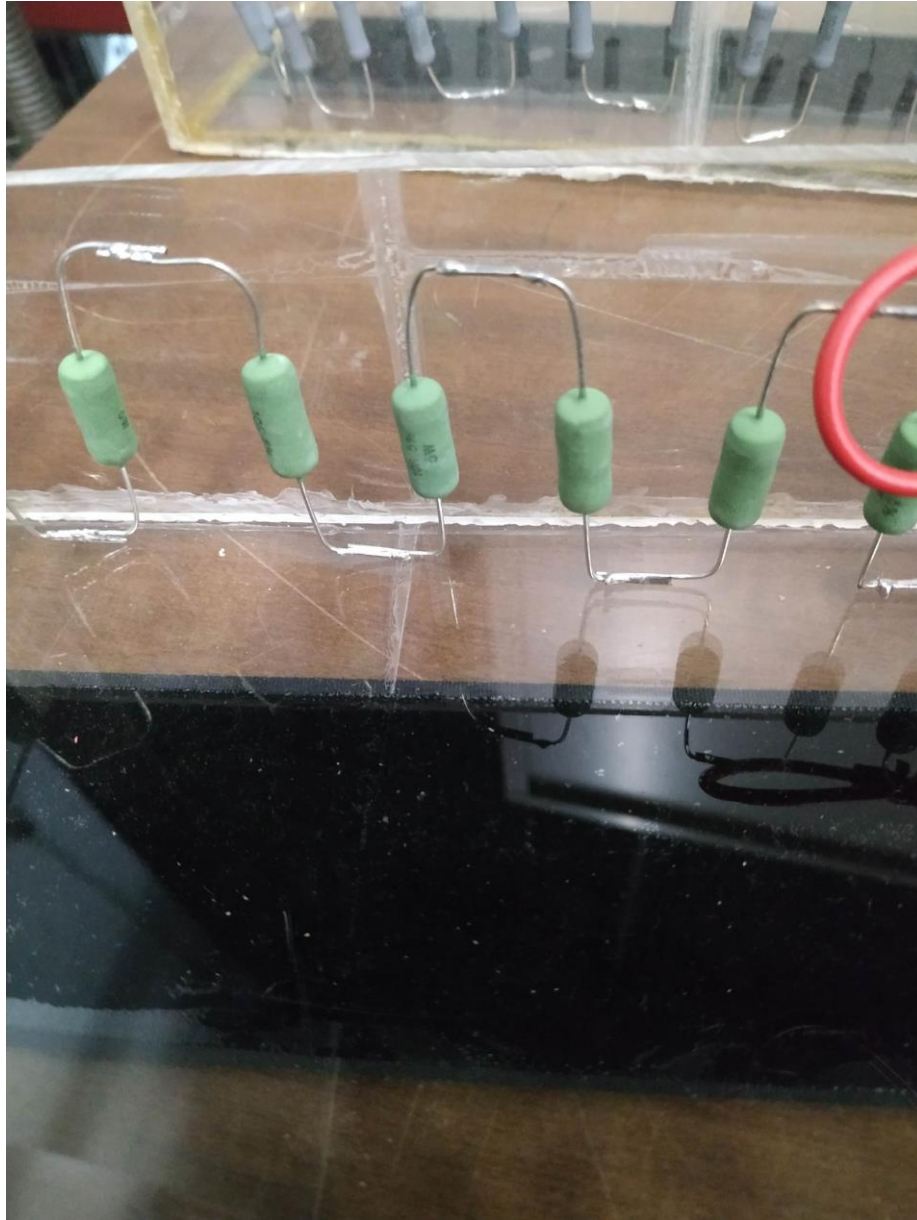
Εικόνα 3.3.1 Ποκνωτές της τάξης των 22 nF.

3.4 Αντιστάσεις Υψηλής Τάσης

Στις αντιστάσεις των προηγούμενων διατάξεων, βελτιώθηκαν οι συνδέσεις και προστέθηκαν μονωτήρες (Εικόνες 3.4.1 και 3.4.2).



Εικόνα 3.4.1 Βελτιωμένες συνδέσεις αντιστάσεων των 10Ω (110Ω συνολικά).



Εικόνα 3.4.2 Βελτιωμένες συνδέσεις αντιστάσεων των 10 Ω.

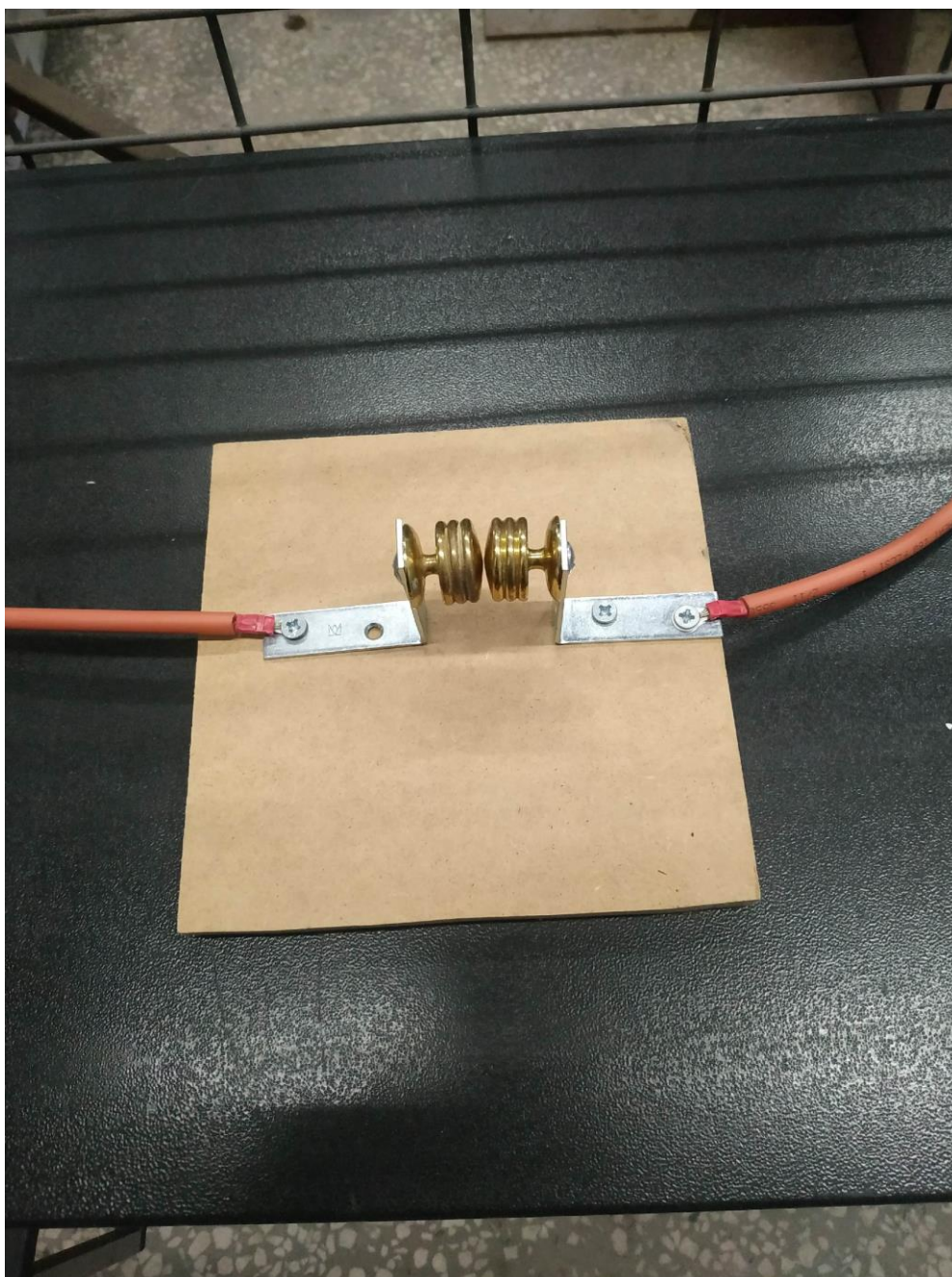
Επιπλέον οι 2 αντιστάσεις των 90 MΩ τοποθετήθηκαν επάνω σε ένα κομμάτι κατασκευασμένο απλό Plexiglas και προστέθηκαν μονωτήρες (Εικόνα 3.4.3), όπως έγινε και με τους ανορθωτές.



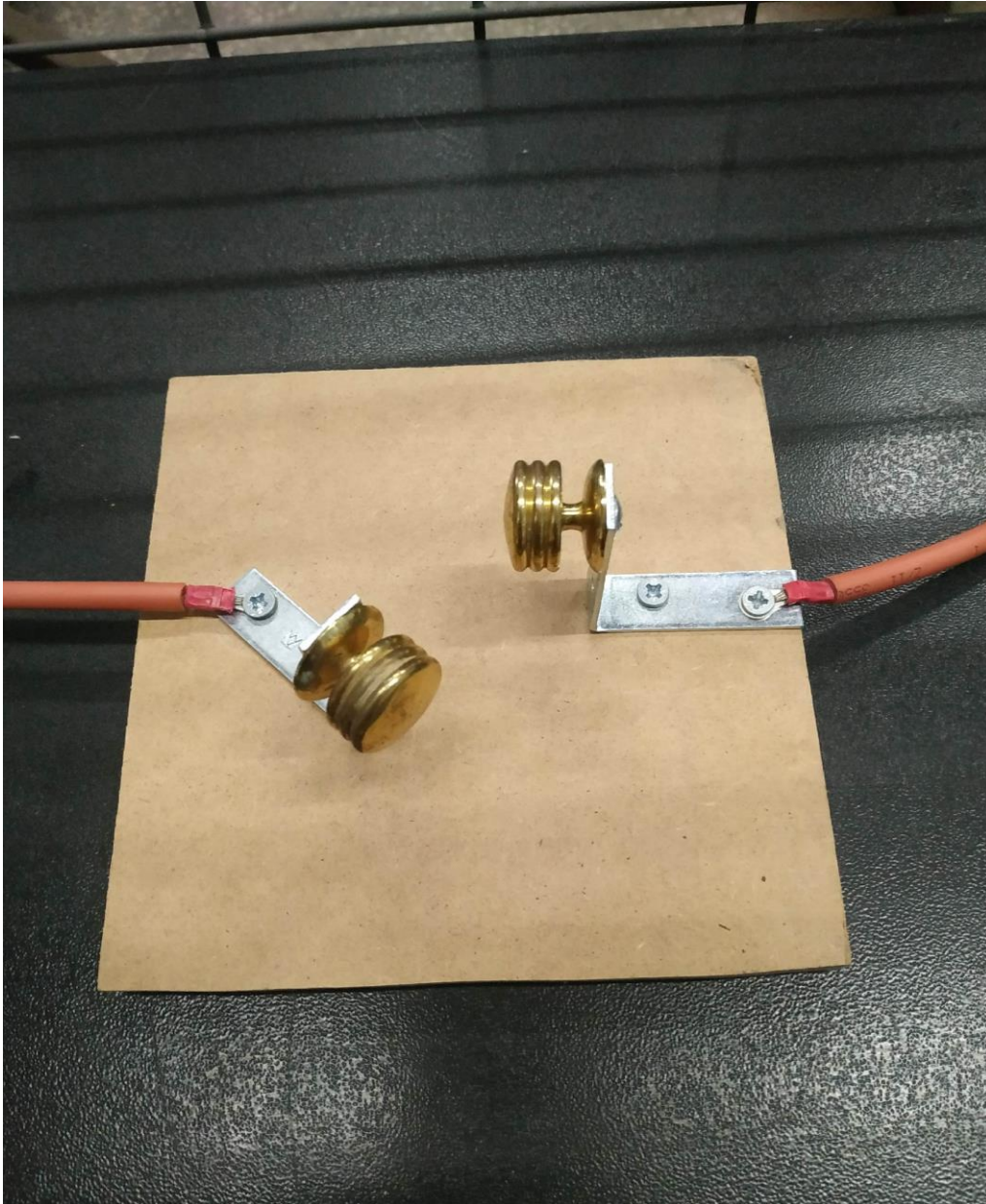
Εικόνα 3.4.3 Αντίσταση των 90 MΩ.

3.5 Σφαιρικό Διάκενο

Συγκριτικά με την προηγούμενη κατασκευή του σφαιρικού διάκενου, τα δύο μεταλλικά πόμολα στερεώθηκαν στο ίδιο κομμάτι ξύλου, προσδίδοντας μεγαλύτερη σταθερότητα και ευκολία, καθώς το ένα ηλεκτρόδιο παραμένει σταθερό ενώ το άλλο μπορεί να εκτελέσει περιστροφική κίνηση γύρω από σημείο στήριξής του (Εικόνες 3.5.1 και 3.5.2). Επιπλέον κατασκευάστηκαν και συνδέσεις για το σφαιρικό διάκενο χρησιμοποιώντας καλώδιο υψηλής τάσης.



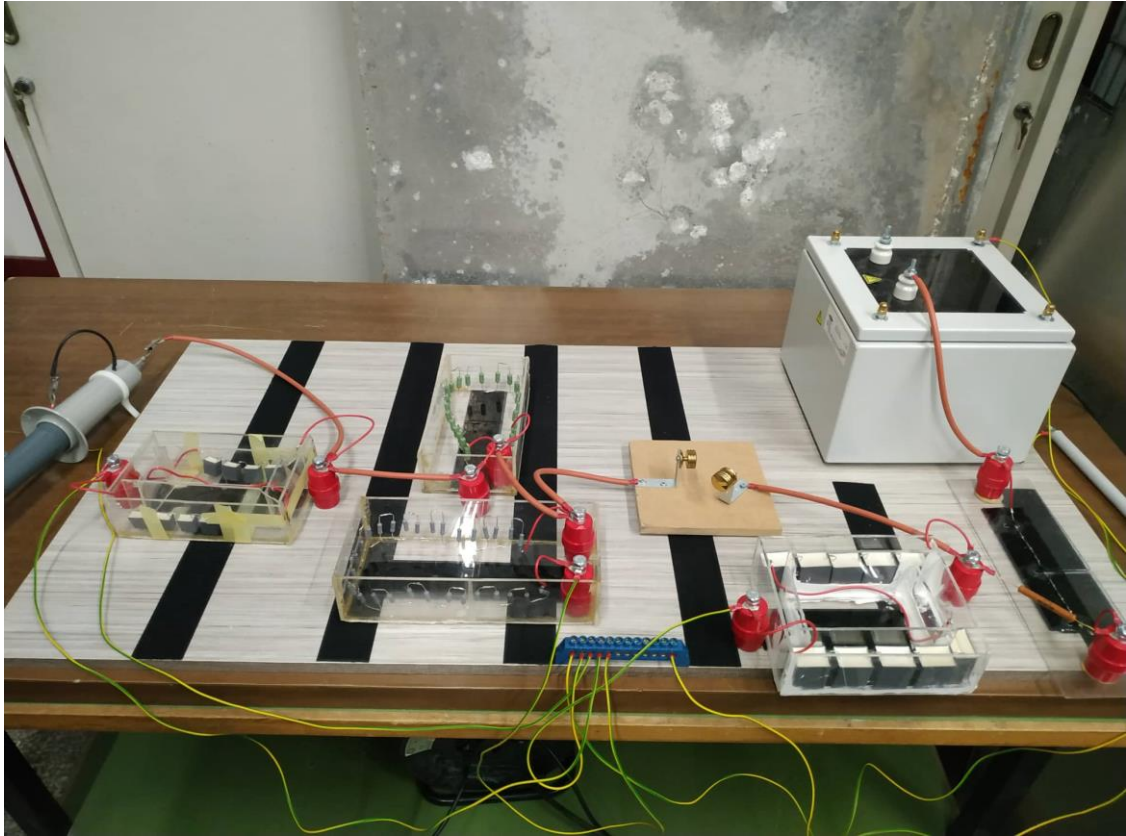
Εικόνα 3.5.1 Αναβαθμισμένο κλειστό σφαιρικό διάκενο.



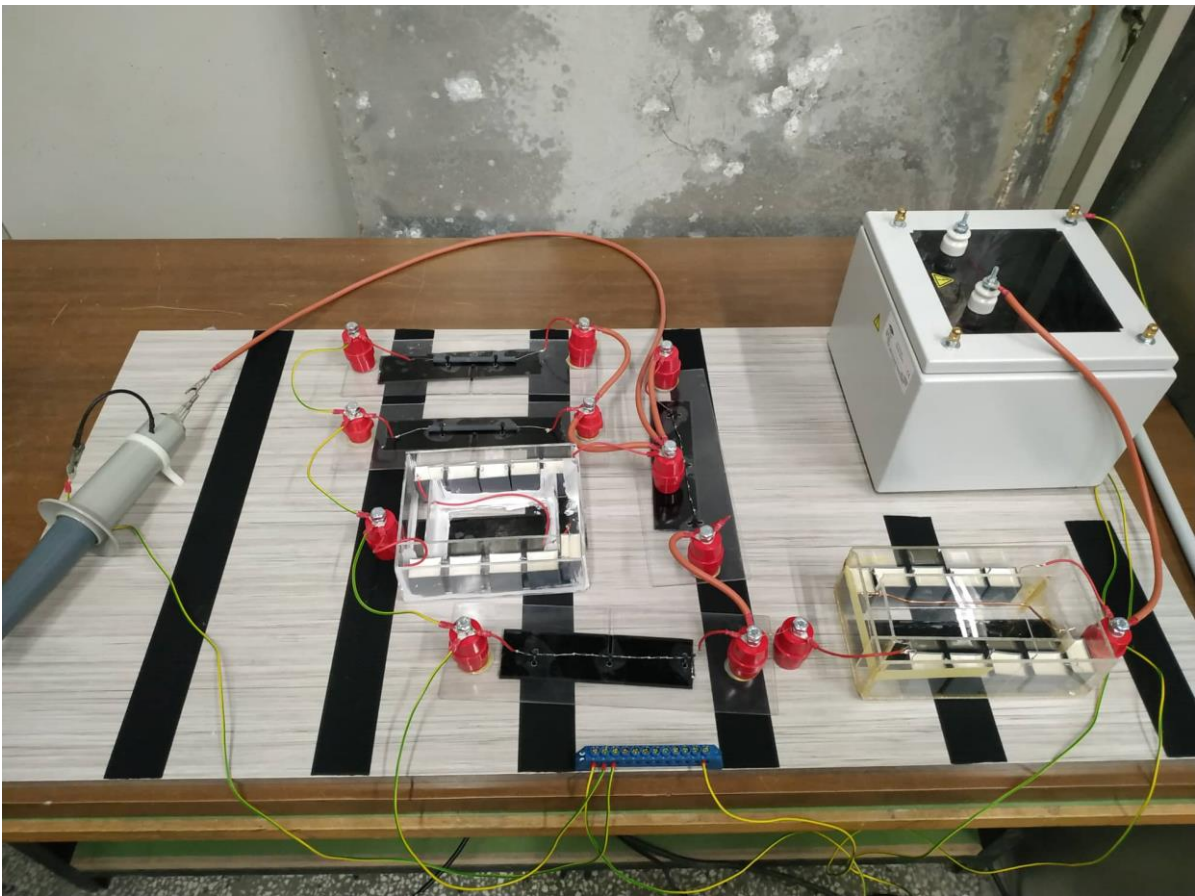
Εικόνα 3.5.2 Αναβαθμισμένο ανοιχτό σφαιρικό διάκενο.

3.6 Συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων

Οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων πραγματοποιούνται μέσω καλωδίων υψηλής τάσης, τα οποία καταλήγουν στους μονωτήρες του κάθε στοιχείου. Τα γειωμένα σημεία της διάταξης συνδέονται στην μπάρα χαλκού (γείωση) με απλό καλώδιο που χρησιμοποιείται για τον αγωγό PE. Στις εικόνες 3.6.1 και 3.6.2. παρουσιάζονται ολοκληρωμένες διατάξεις παραγωγής ΥΤ, στις οποίες φαίνονται οι συνδέσεις. Σημειώνεται ότι τα καλώδια τερματίστηκαν με κατάλληλους ακροδέκτες ώστε να είναι εύκολη και στιβαρή η σύνδεσή τους.



Εικόνα 3.6.1 Εικόνα διάταξης, όπου φαίνονται οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων (α).



Εικόνα 3.6.2 Εικόνα διάταξης, όπου φαίνονται οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων (β).

3.7 Ράβδος γείωσης

Επιπλέον κατασκευάστηκε μία κινητή ράβδος γείωσης που αποτελείται από μονωτικό κύλινδρο και στο άνω άκρο της έχει μεταλλικό στοιχείο το οποίο συνδέεται με τον ζυγό γείωσης της βάσης με καλώδιο. Η ράβδος αυτή χρησιμοποιείται για τη γείωση σημείων που μπορεί να έχουν τάση μετά τη διακοπή της τροφοδοσίας της διάταξης, όπως φορτισμένοι πυκνωτές. Επίσης χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση του κινητού μέρους του σφαιρικού διακένου που λειτουργεί ως διακόπτης στη διάταξη παραγωγής κρουστικής υψηλής τάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΘΕΣΗ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι διάφορες διατάξεις που μπορούν να δημιουργηθούν με τα διαθέσιμα στοιχεία υψηλής τάσης και καταγράφονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μέσω του παλμογράφου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Όπως φαίνεται στις Εικόνες 4.1.1 και 4.1., για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε παλμογράφος LeCroy waveRunner 64MXi και ένας δοκιμαστήρας υψηλής τάσης – probe (Tektronix P6015 1000X) με αντίσταση εισόδου 100 ΜΩ, υποβιβασμού τάσης 1000:1, προκειμένου να είναι δυνατή η απεικόνιση της τάσης στον παλμογράφο και για ασφαλή μέτρησή της.

4.1 Συνεχής Υψηλή Τάση

Οι διατάξεις που κατασκευάστηκαν και αναλύονται παρακάτω είναι:

- a) Απλή ανόρθωση
- b) Villard
- c) Greinacher

με τη χρήση διαφορετικών συνδυασμών πυκνωτών και φορτίων με στόχο την εξαγωγή βασικών συμπερασμάτων για τη λειτουργία των διατάξεων αυτών.

Η τάση εισόδου στον μετασχηματιστή δοκιμής διατηρήθηκε σταθερή και ίση με 69 V σε όλες τις περιπτώσεις ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

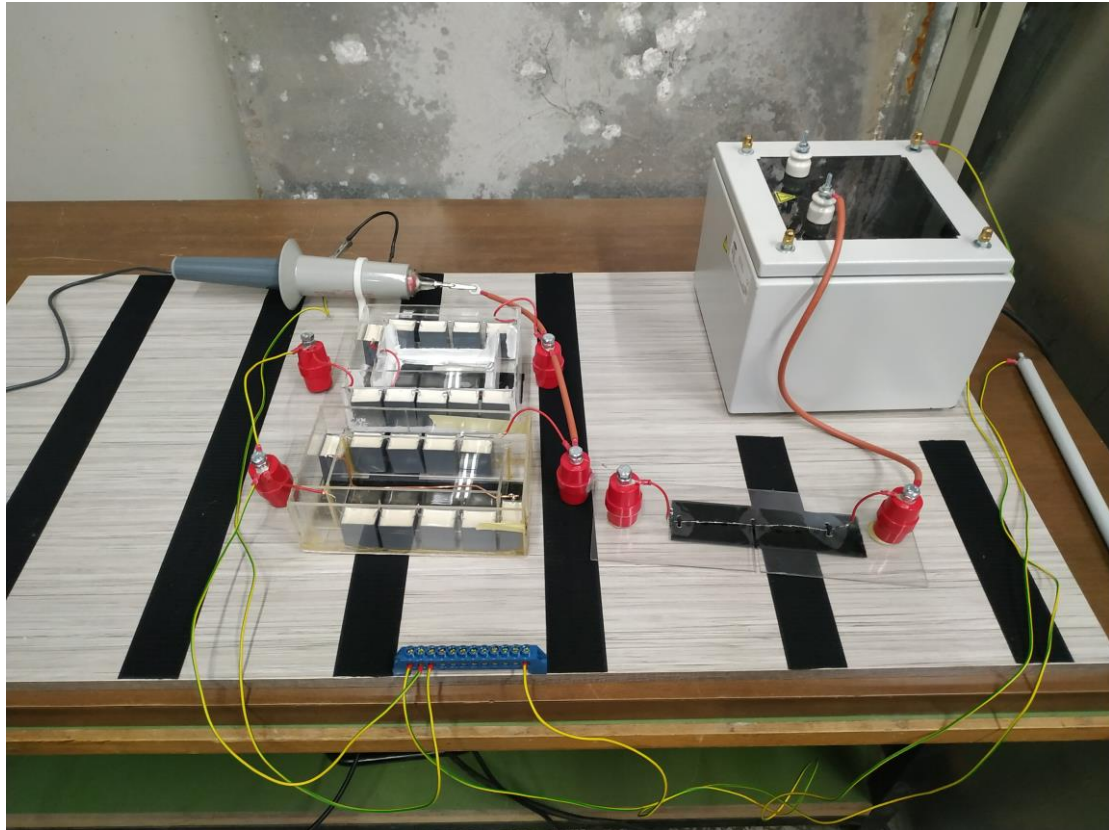


Εικόνα 4.1.1 Παλμογράφος LeCroy waveRunner 64MXi.

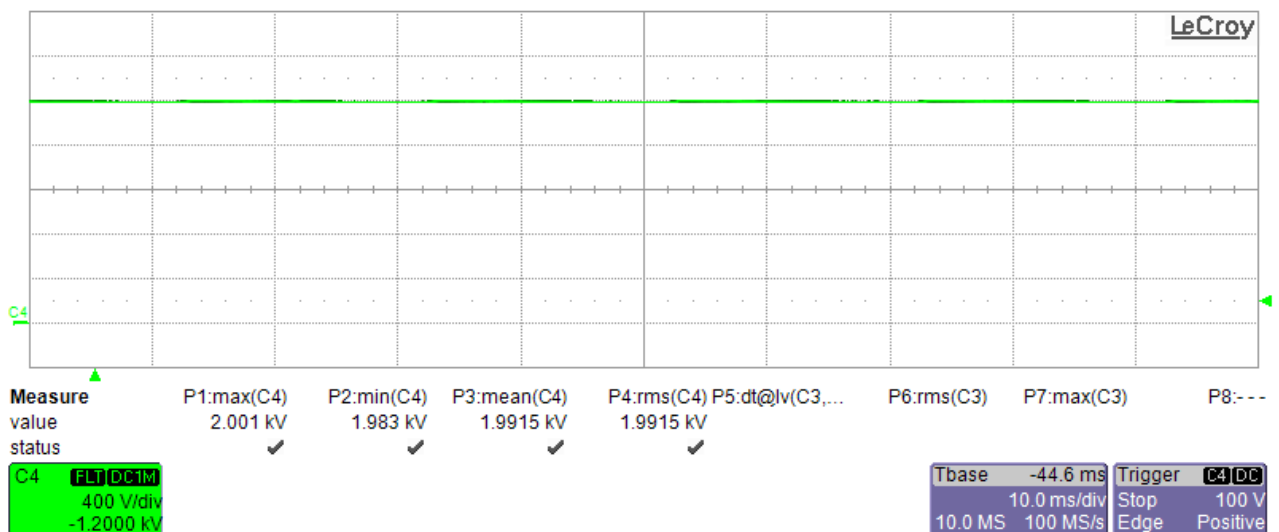


Εικόνα 4.1.2 Δοκιμαστήρας υψηλής τάσης - Tektronix P6015 1000X.

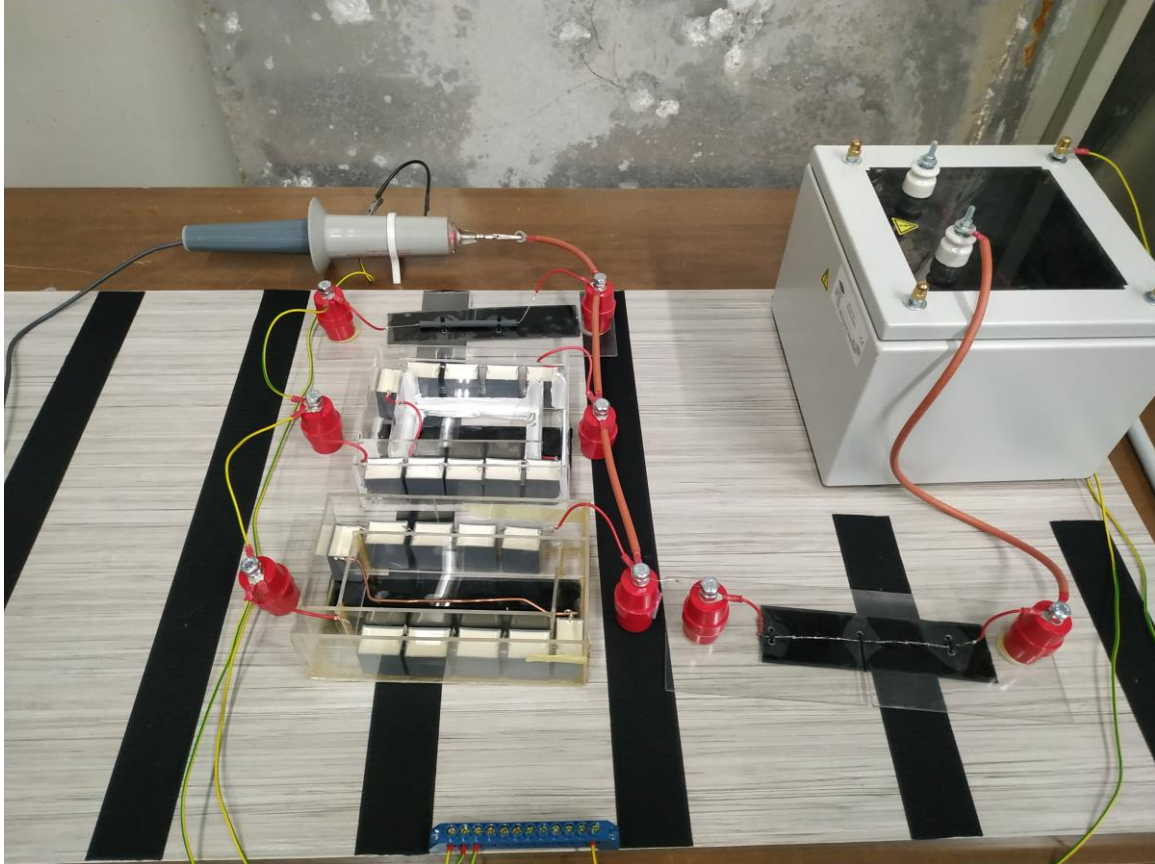
Αρχικά δημιουργήθηκαν εννιά διατάξεις απλής ανόρθωσης, των οποίων οι εικόνες και οι αντίστοιχες κυματομορφές από τον παλμογράφο εμφανίζονται παρακάτω (Εικόνες 4.1.3 έως 4.1.11), όπως και οι πίνακες με τα αποτελέσματα, αξιοποιώντας τις εξισώσεις του πρώτου κεφαλαίου.



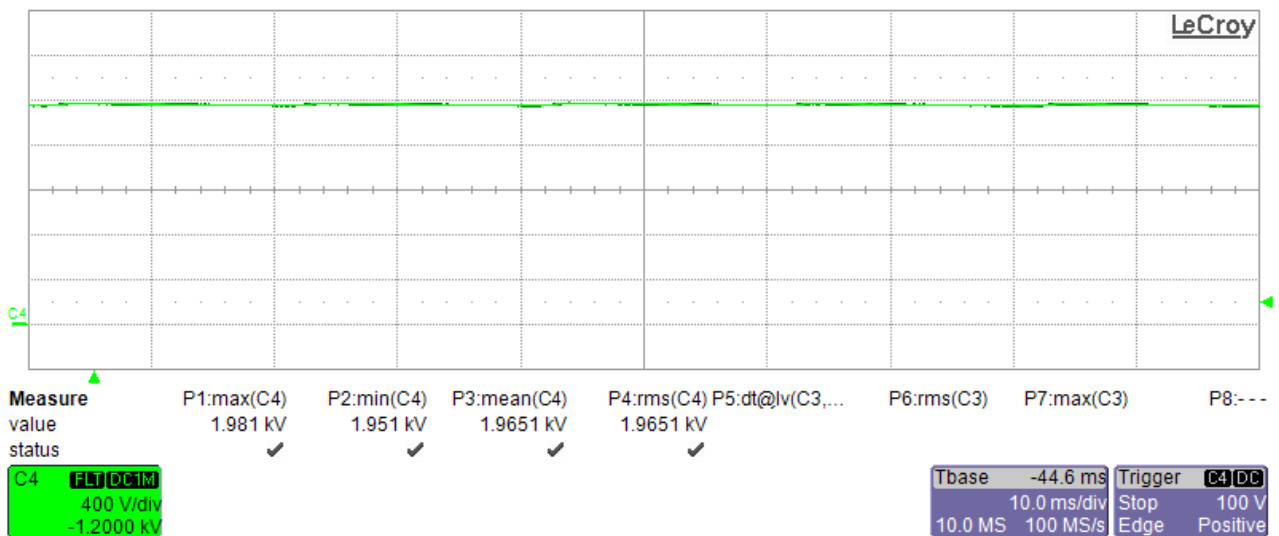
Εικόνα 4.1.3a Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, χωρίς φορτίο.



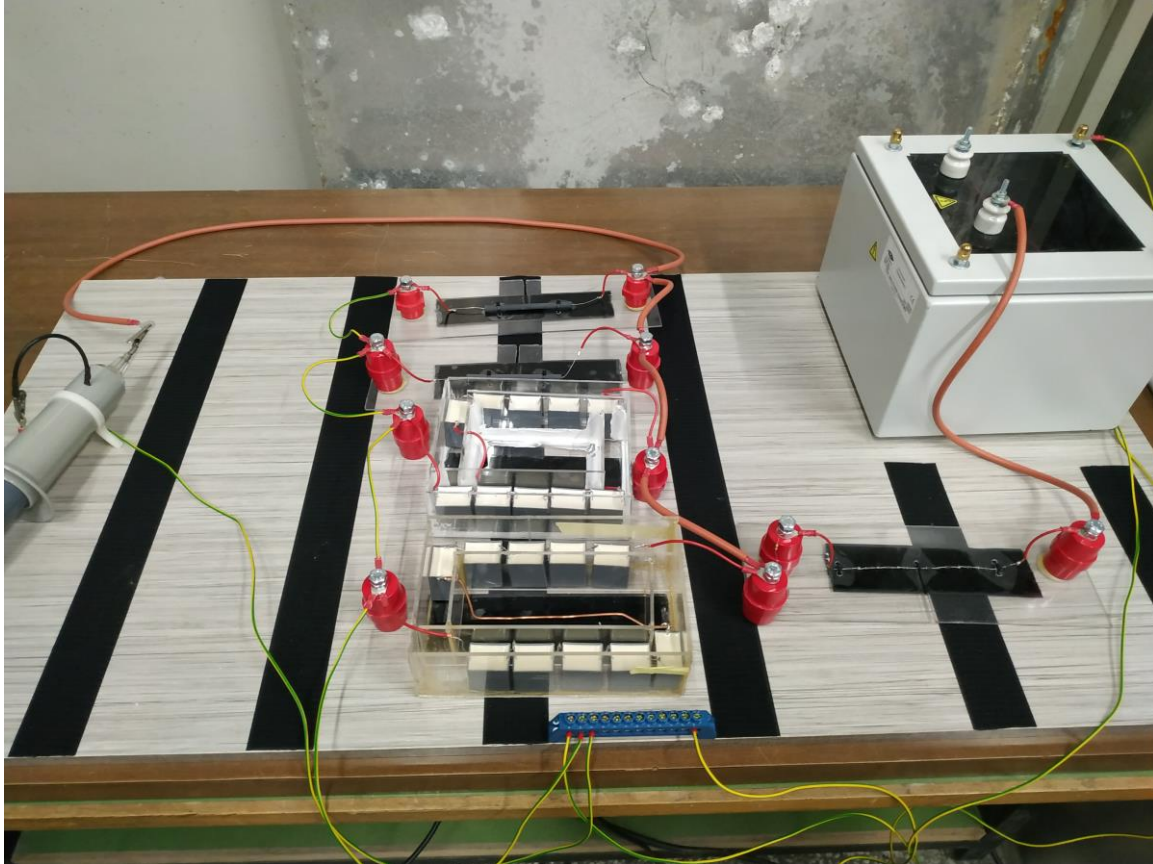
Εικόνα 4.1.3b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, χωρίς φορτίο.



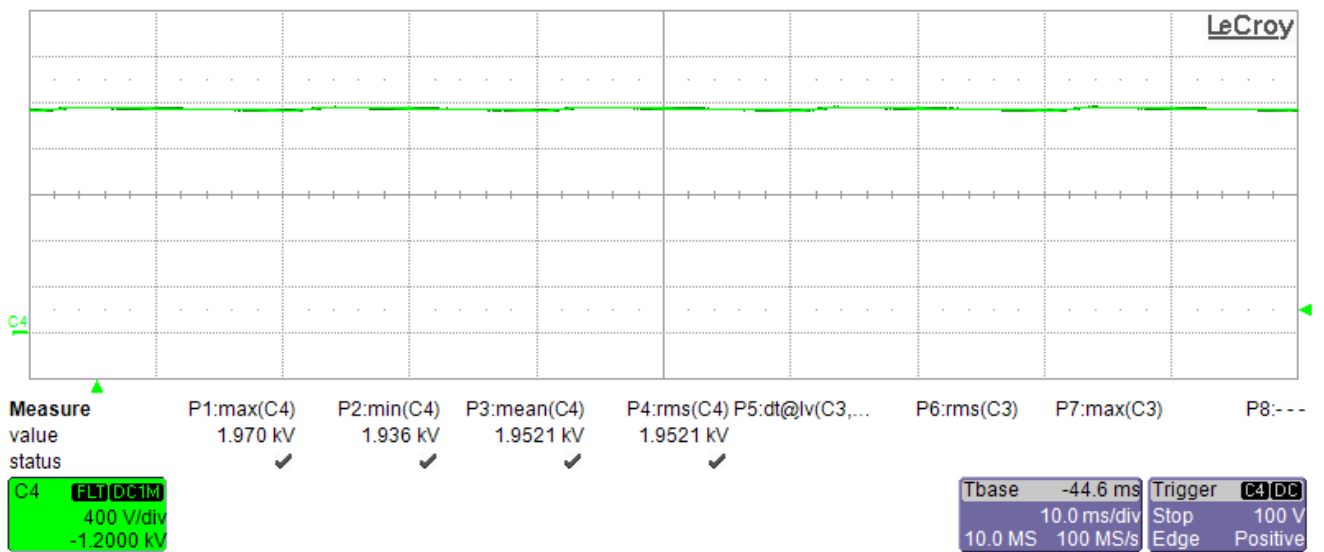
Εικόνα 4.1.4a Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.4b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 90 MΩ.



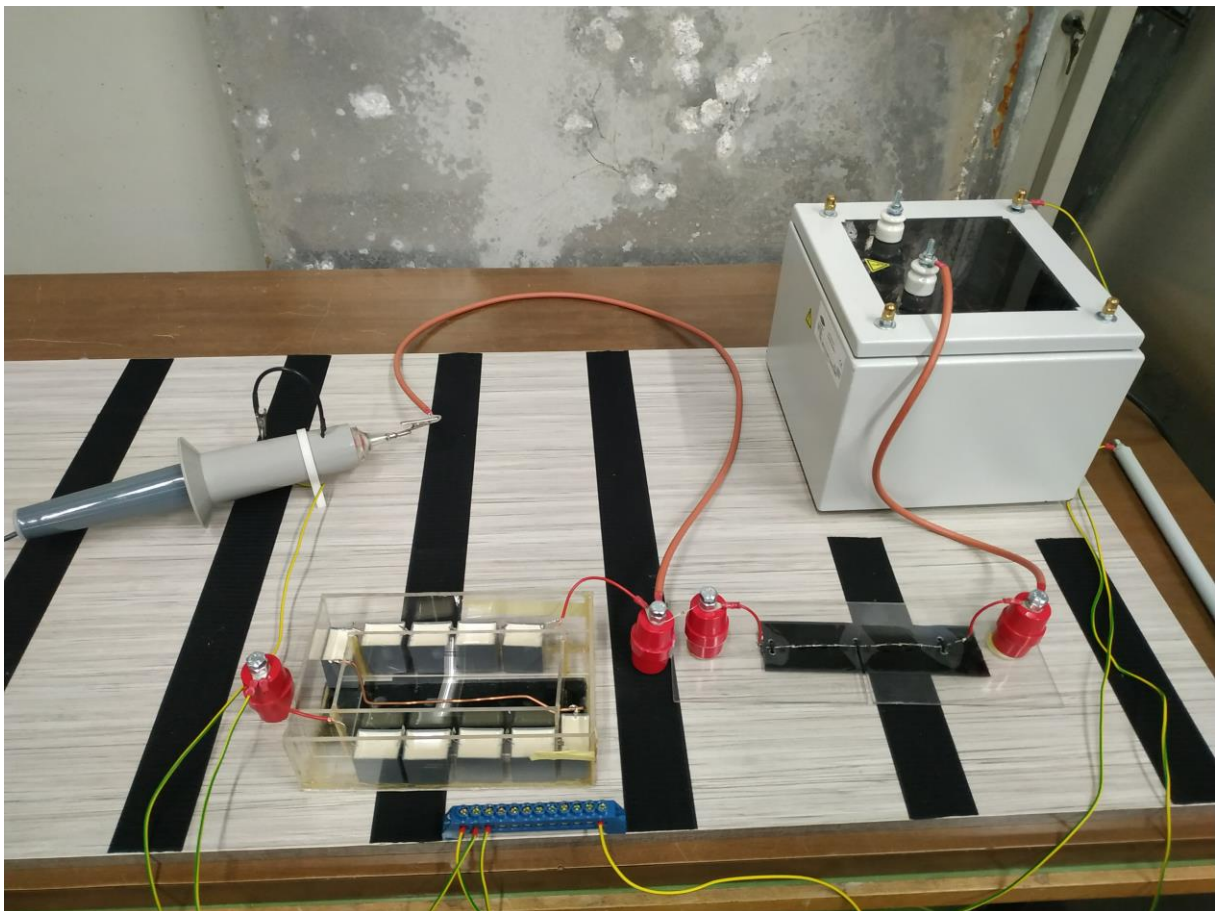
Εικόνα 4.1.5a Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 45 MΩ.



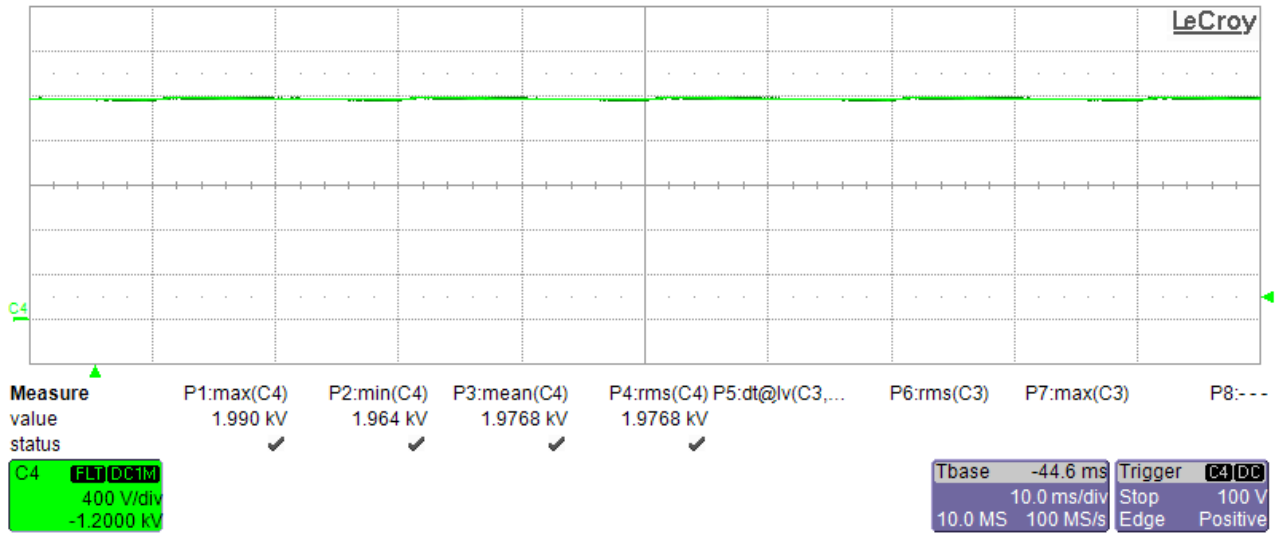
Εικόνα 4.1.5b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 44 nF, με αντίσταση 45 MΩ.

Πίνακας 1. Διάταξη απλής ανόρθωσης: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=44\text{ nF}$.

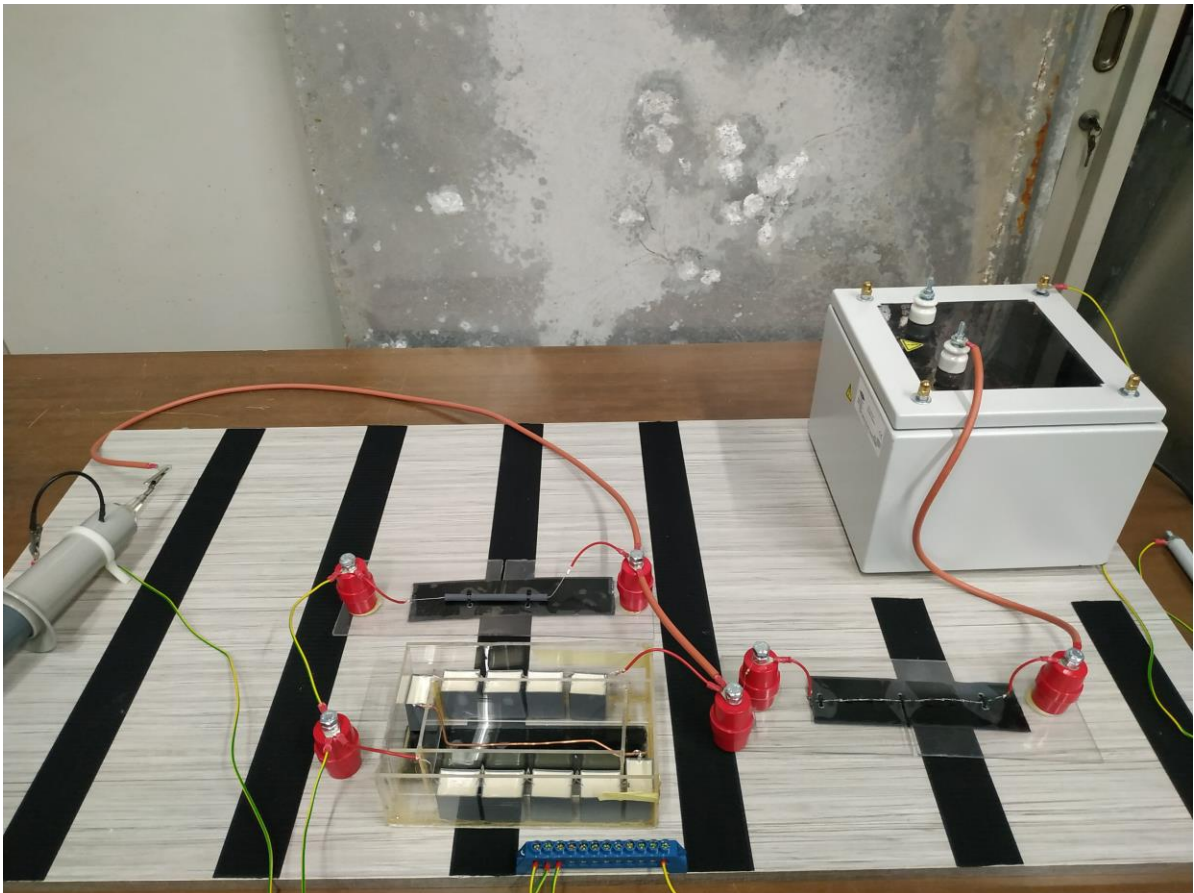
$R\text{ (M}\Omega\text{)}$	$U_{\max}\text{ (V)}$	$U_{\min}\text{ (V)}$	$\delta u\text{ (V)}$	$U_{dc}\text{ (V)}$	$\delta u/U_{dc}\text{ (\%)}$
0	2001	1983	9.0	1992.0	0.45
90	1981	1951	15.0	1966.0	0.76
45	1970	1936	17.0	1953.0	0.87



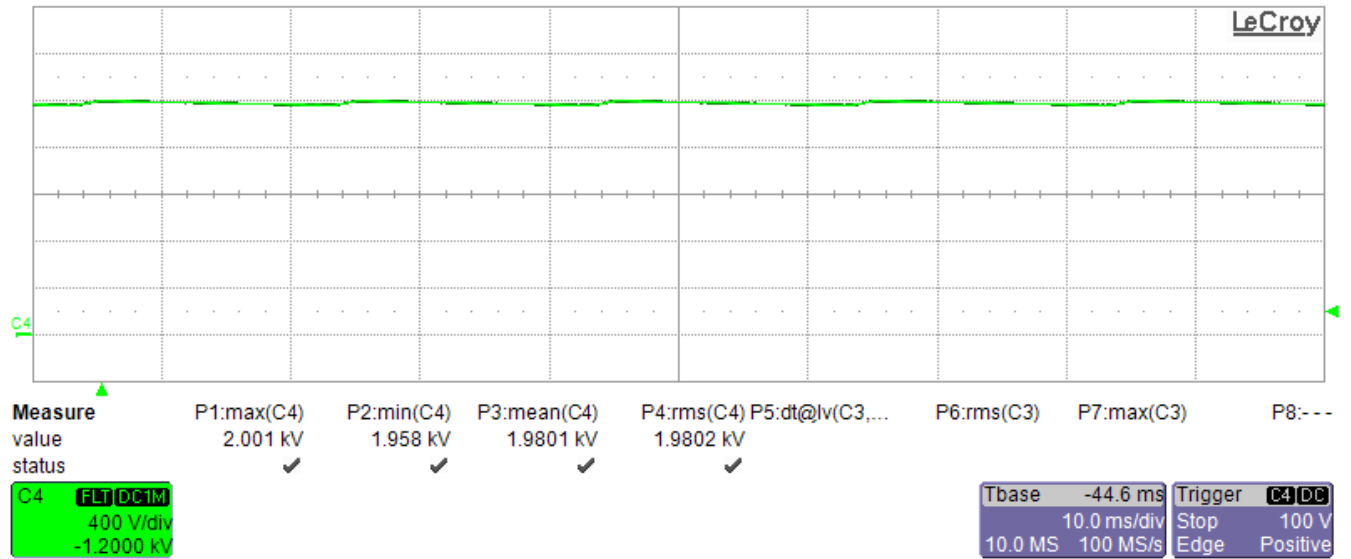
Εικόνα 4.1.6α Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF , χωρίς φορτίο.



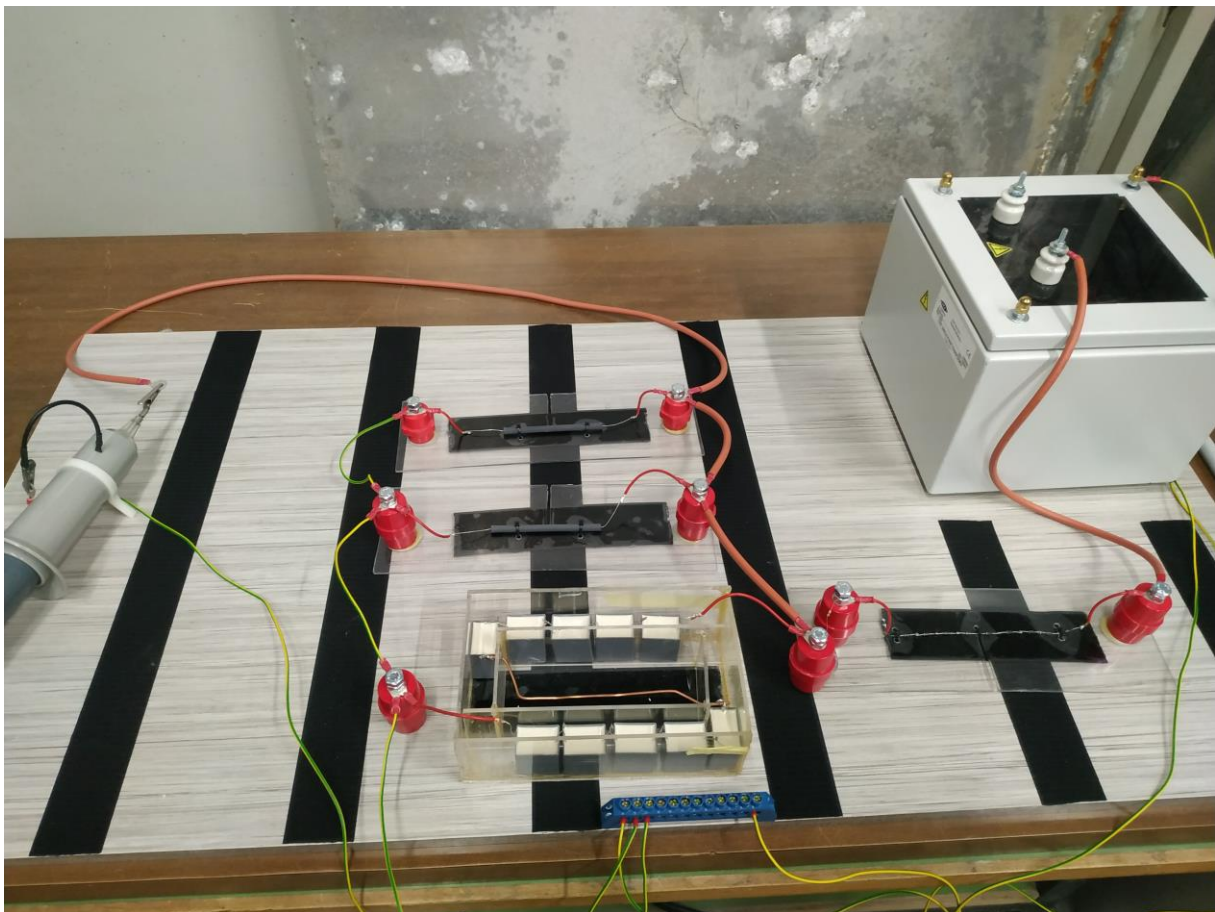
Εικόνα 4.1.6b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο.



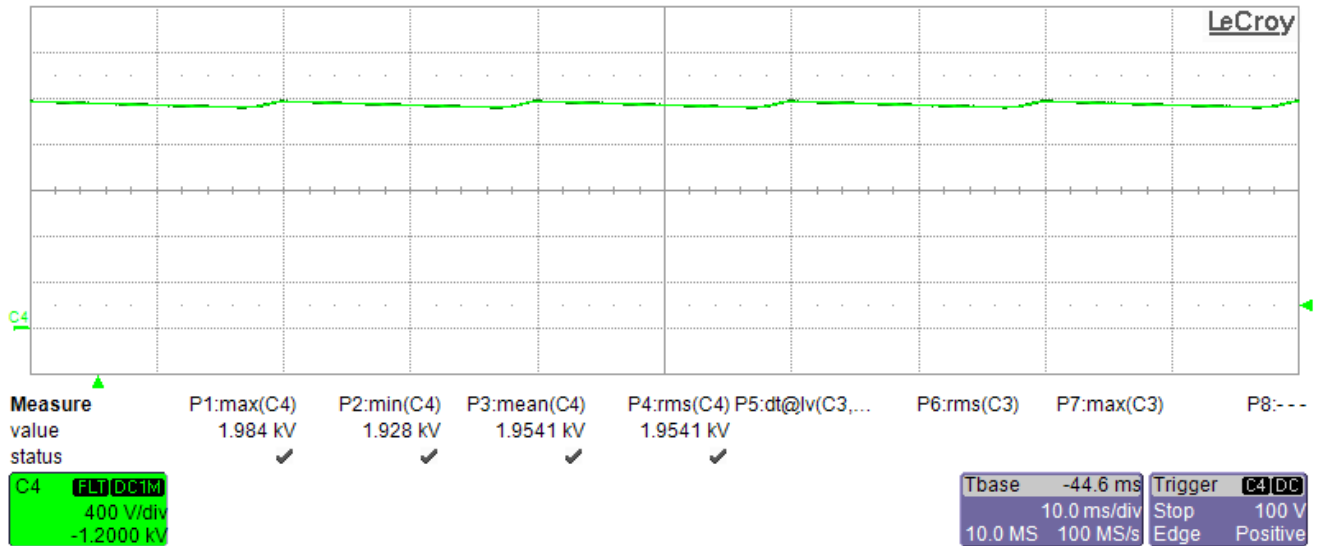
Εικόνα 4.1.7a Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.7b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.



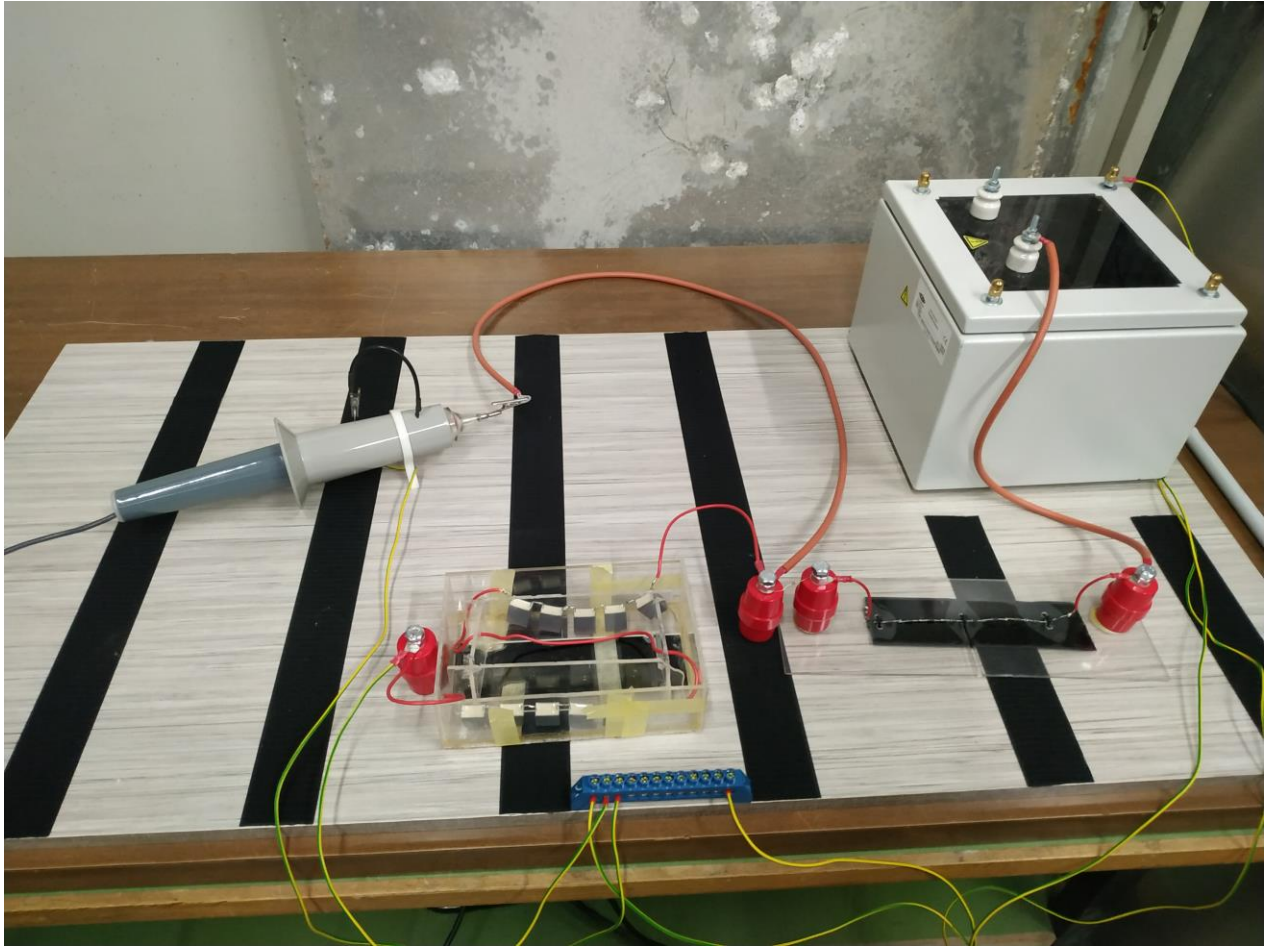
Εικόνα 4.1.8a Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.



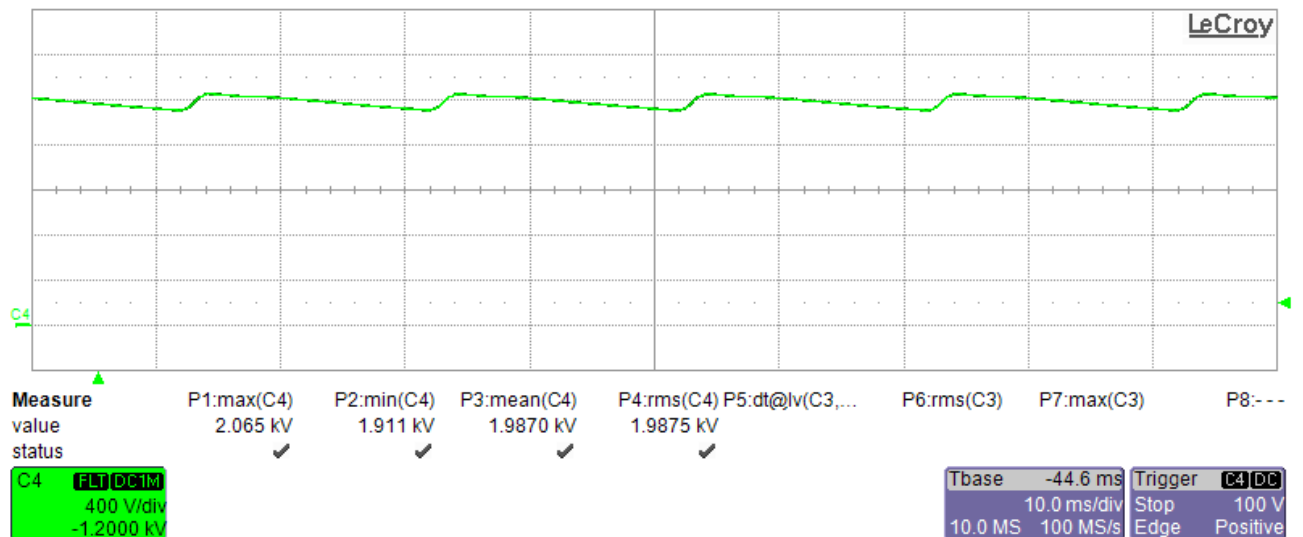
Εικόνα 4.1.8b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.

Πίνακας 2. Διάταξη απλής ανόρθωσης: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για C=22 nF.

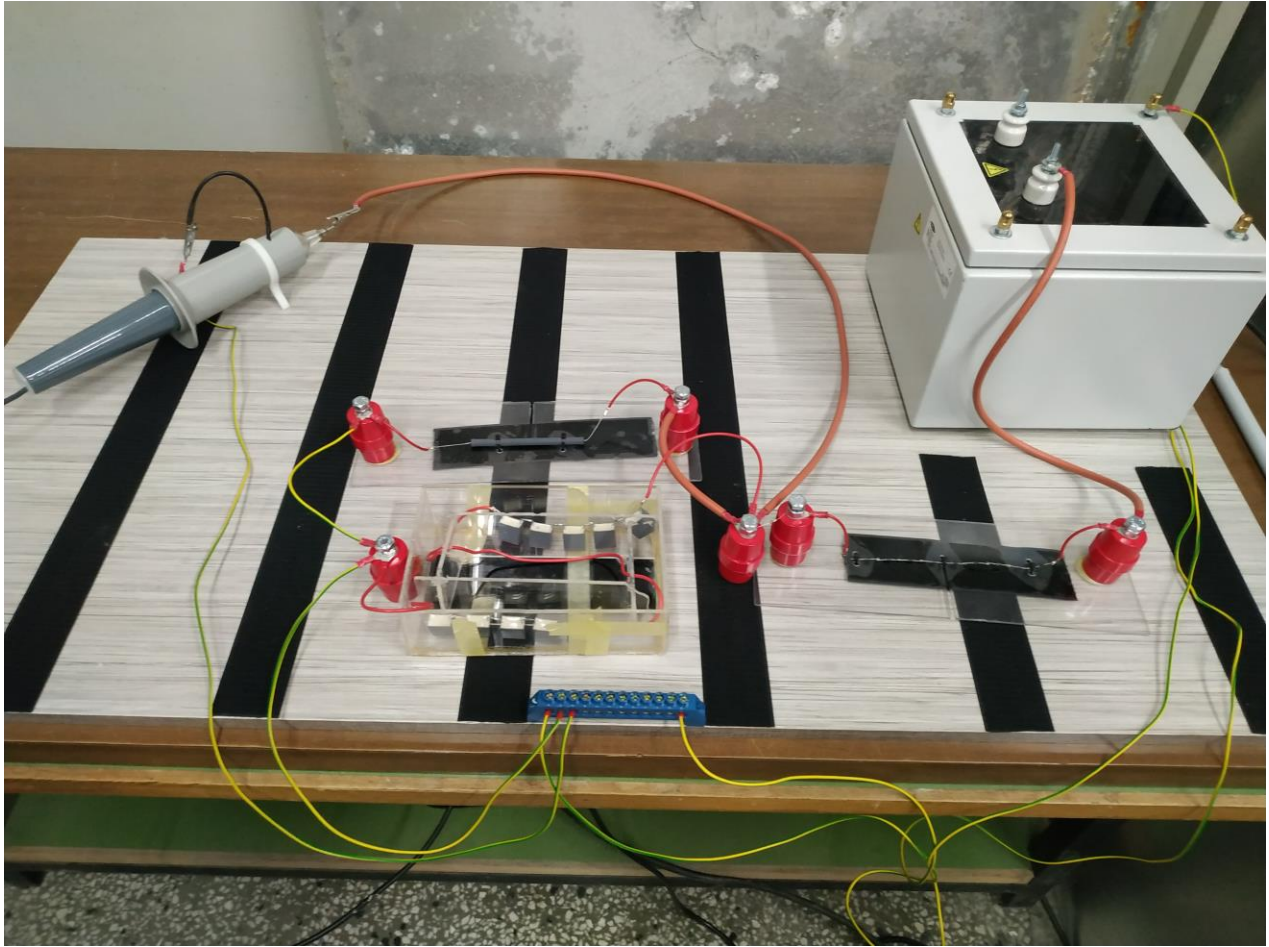
R (MΩ)	U _{max} (V)	U _{min} (V)	Δu (V)	U _{DC} (V)	Δu/U _{DC} (%)
0	1990	1964	13.0	1977.0	0.70
90	2001	1958	21.5	1979.5	1.00
45	1984	1928	28.0	1956.0	1.40



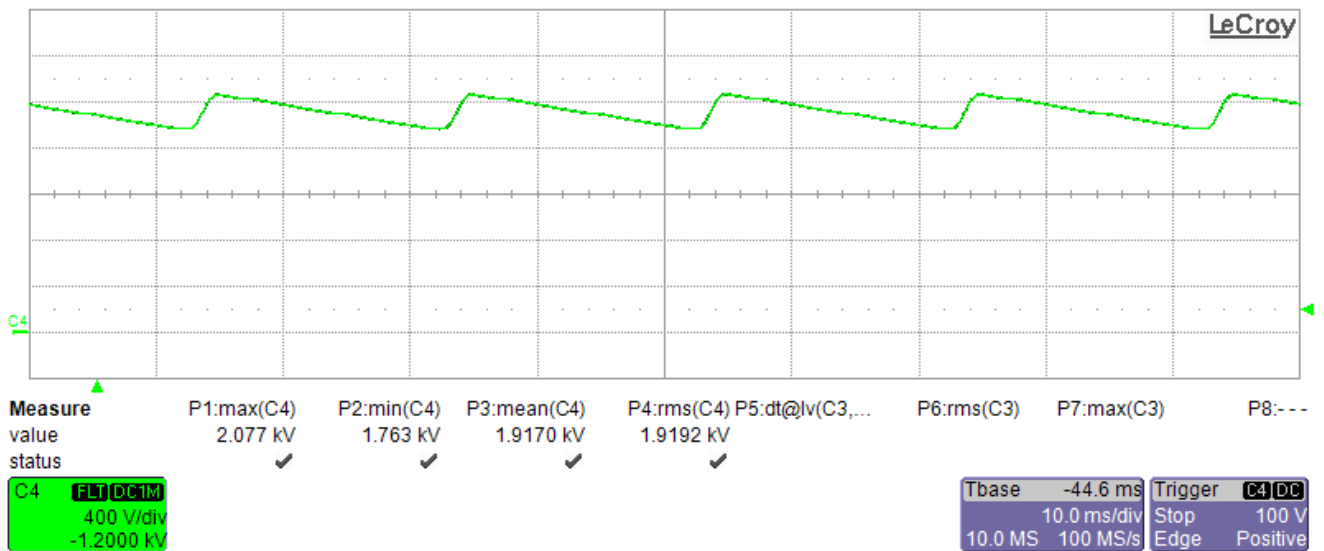
Εικόνα 4.1.9α Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, χωρίς φορτίο.



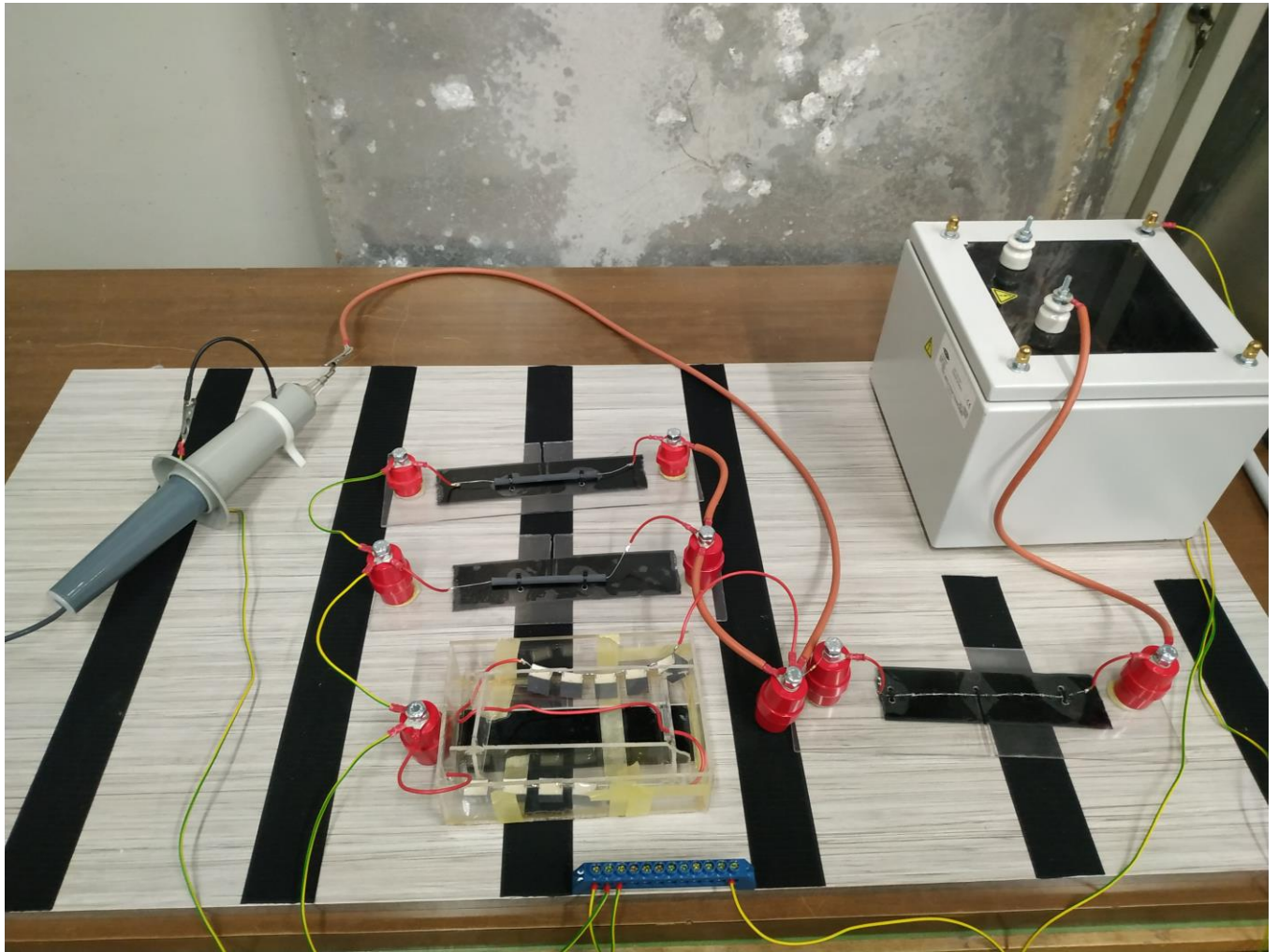
Εικόνα 4.1.9b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, χωρίς φορτίο.



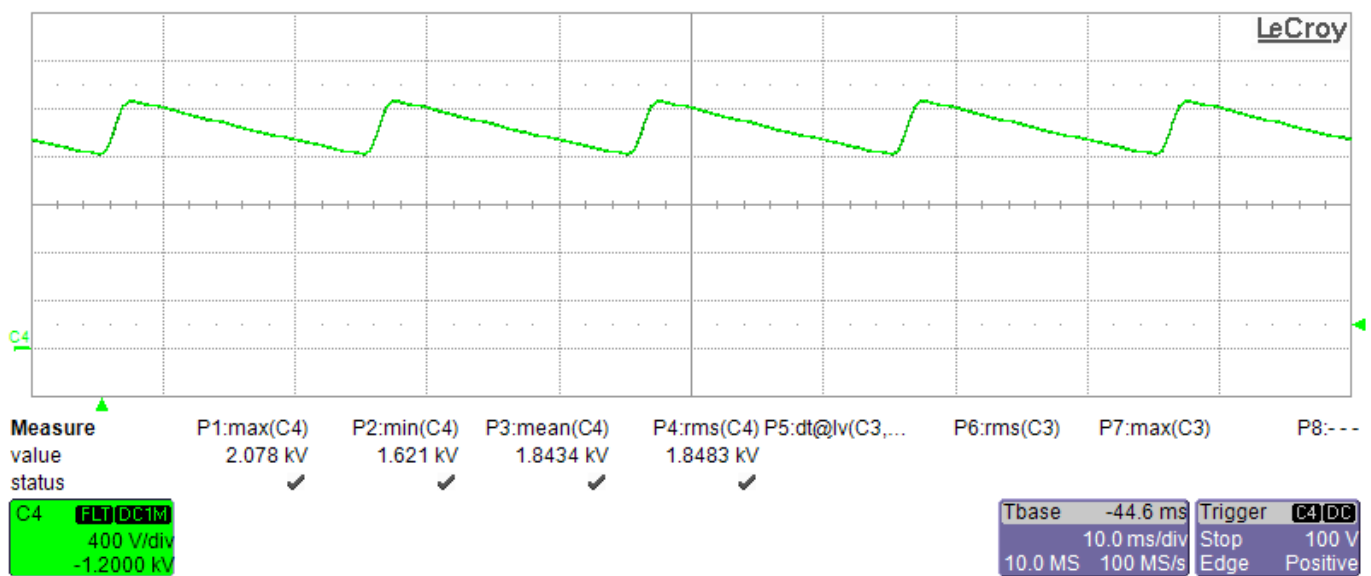
Εικόνα 4.1.10α Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.10β Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.11α Διάταξη απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 45 MΩ.

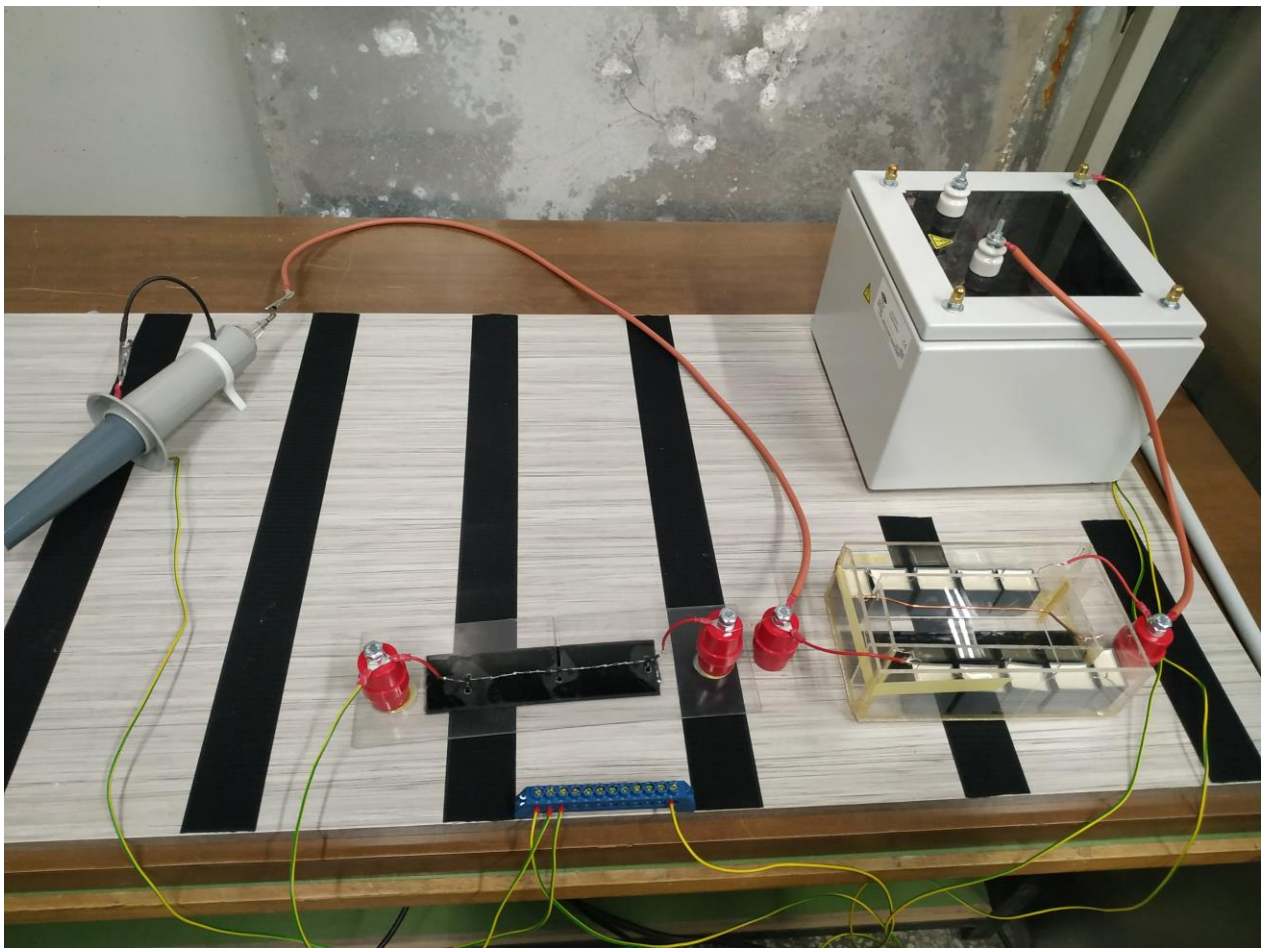


Εικόνα 4.1.11b Κυματομορφή διάταξης απλής ανόρθωσης, πυκνωτών 2.2 nF, με φορτίο 45 MΩ.

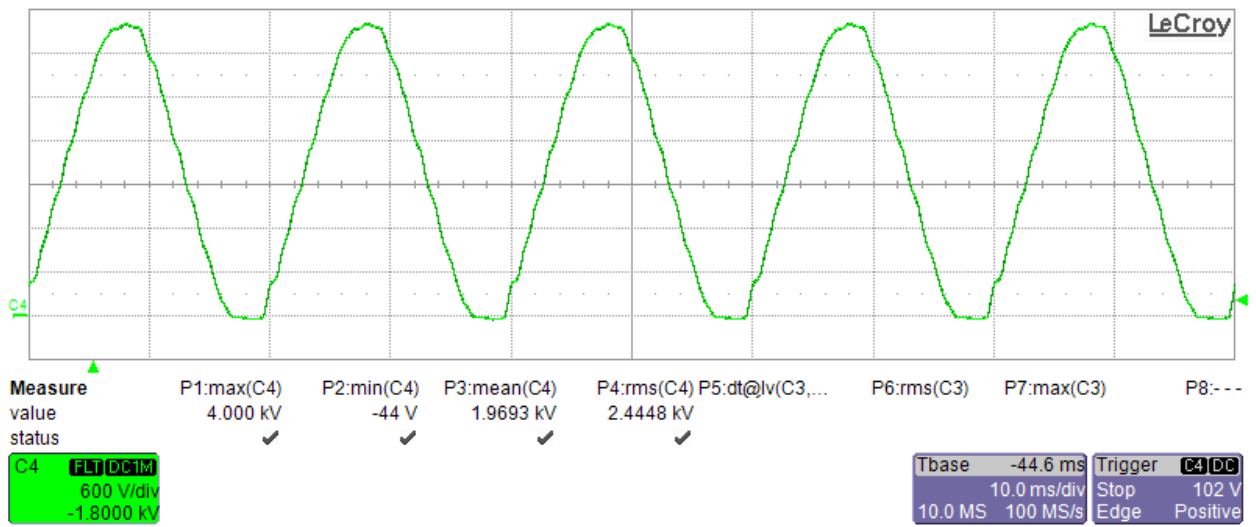
Πίνακας 3. Διάταξη απλής ανόρθωσης: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=2.2\text{ nF}$.

$R\text{ (M}\Omega\text{)}$	$U_{\max}\text{ (V)}$	$U_{\min}\text{ (V)}$	$\delta u\text{ (V)}$	$U_{DC}\text{ (V)}$	$\delta u/U_{DC}\text{ (\%)}$
0	2065	1911	77.0	1988.0	3.90
90	2077	1763	157.0	1920.0	8.20
45	2078	1621	228.5	1849.5	12.40

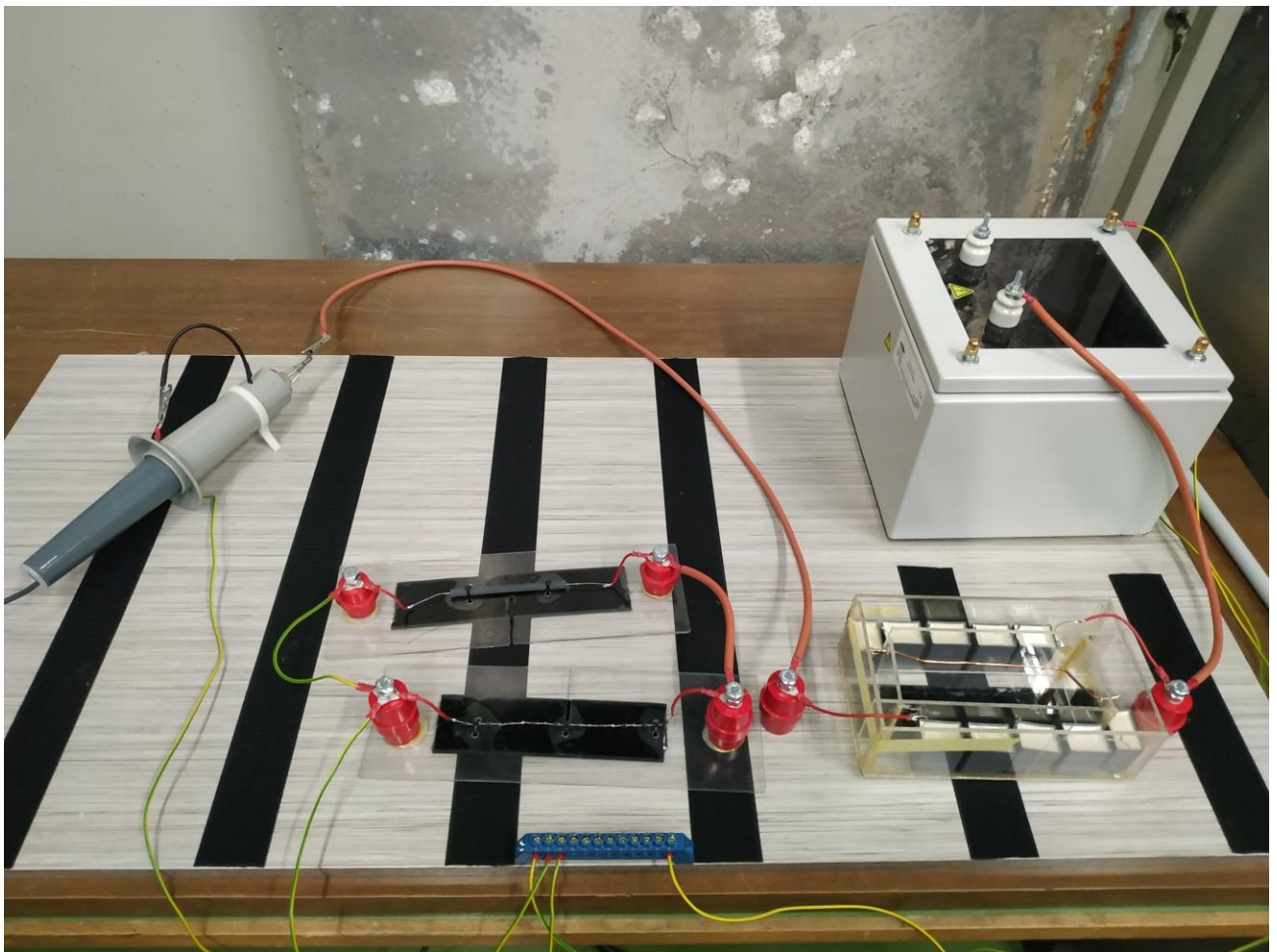
Στη συνέχεια συνδέθηκαν τρεις διατάξεις Villard, των οποίων οι εικόνες και οι αντίστοιχες κυματομορφές από τον παλμογράφο εμφανίζονται παρακάτω.



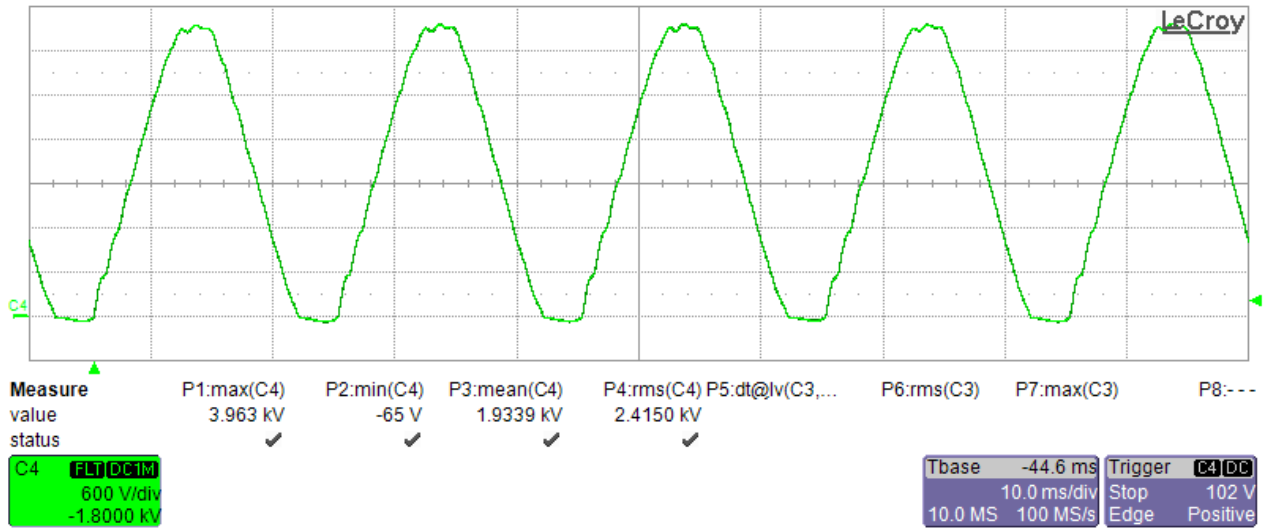
Εικόνα 4.1.12a Διάταξη Villard, πυκνωτών 22 nF , χωρίς φορτίο.



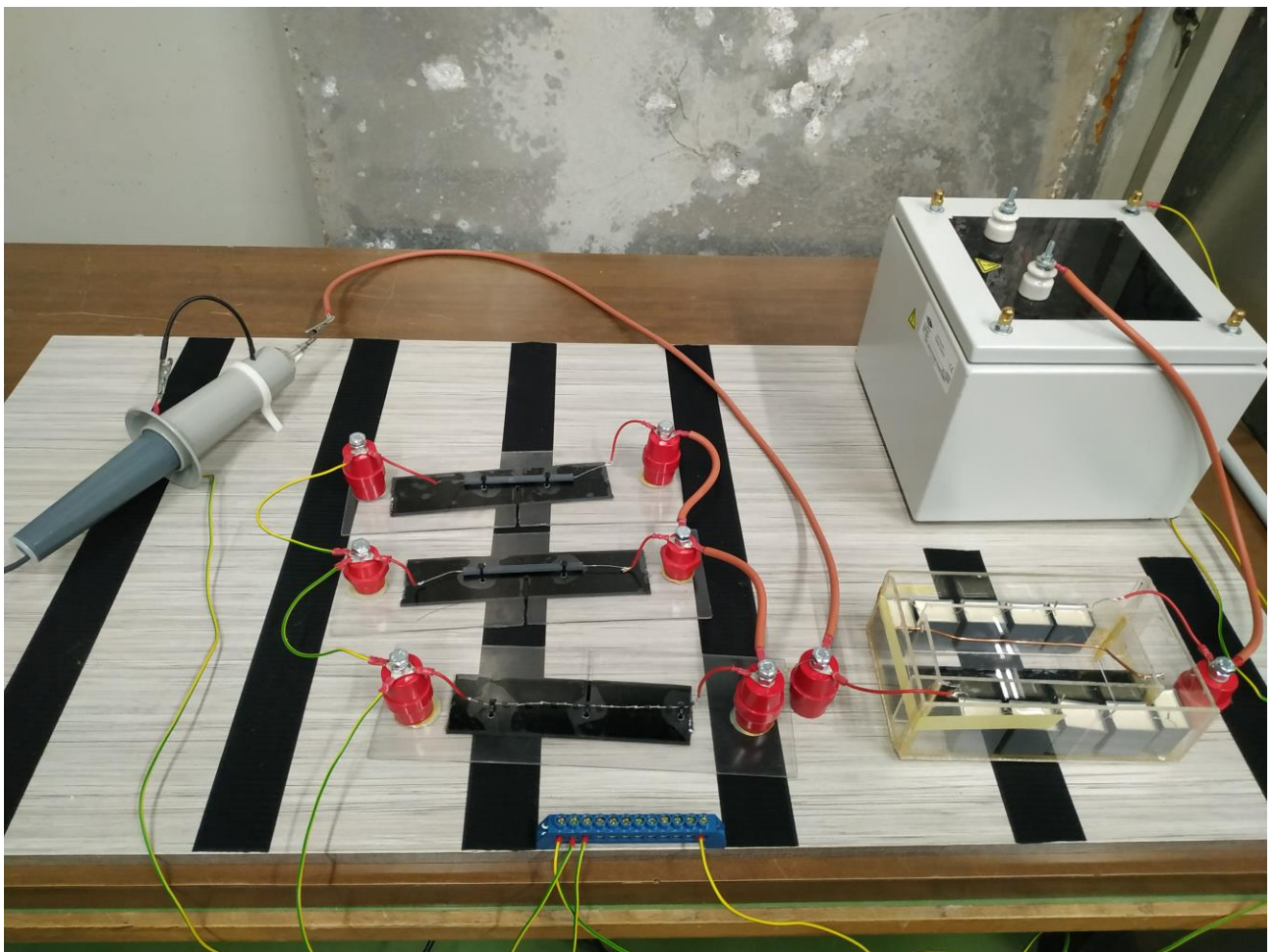
Εικόνα 4.1.12b: Κυματομορφή διάταξης Villard, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο.



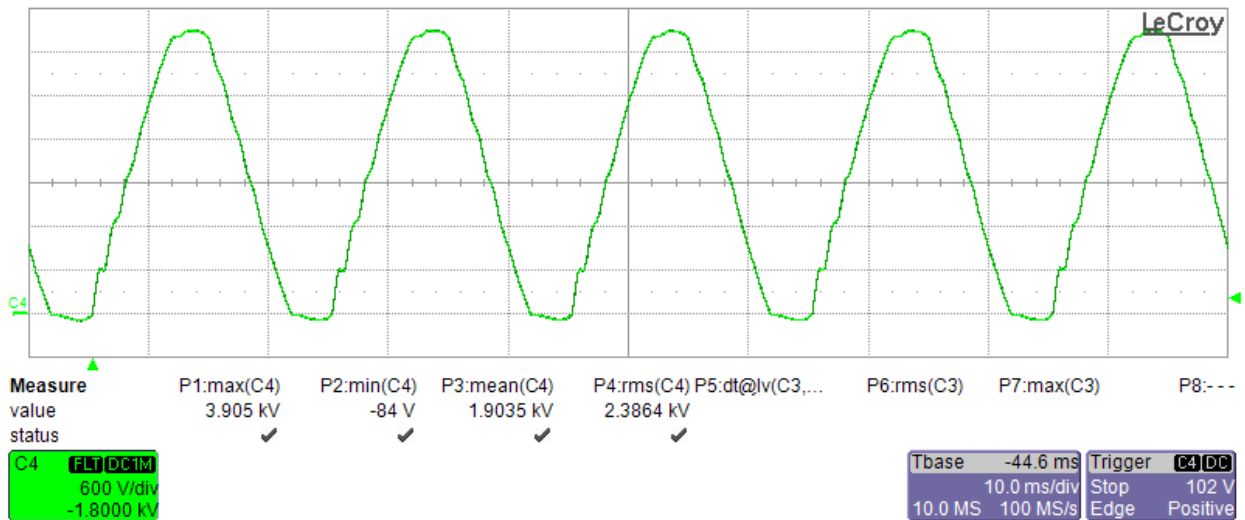
Εικόνα 4.1.13a Διάταξη Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.13b Κοματομορφή διάταξης Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.14a Διάταξη Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.

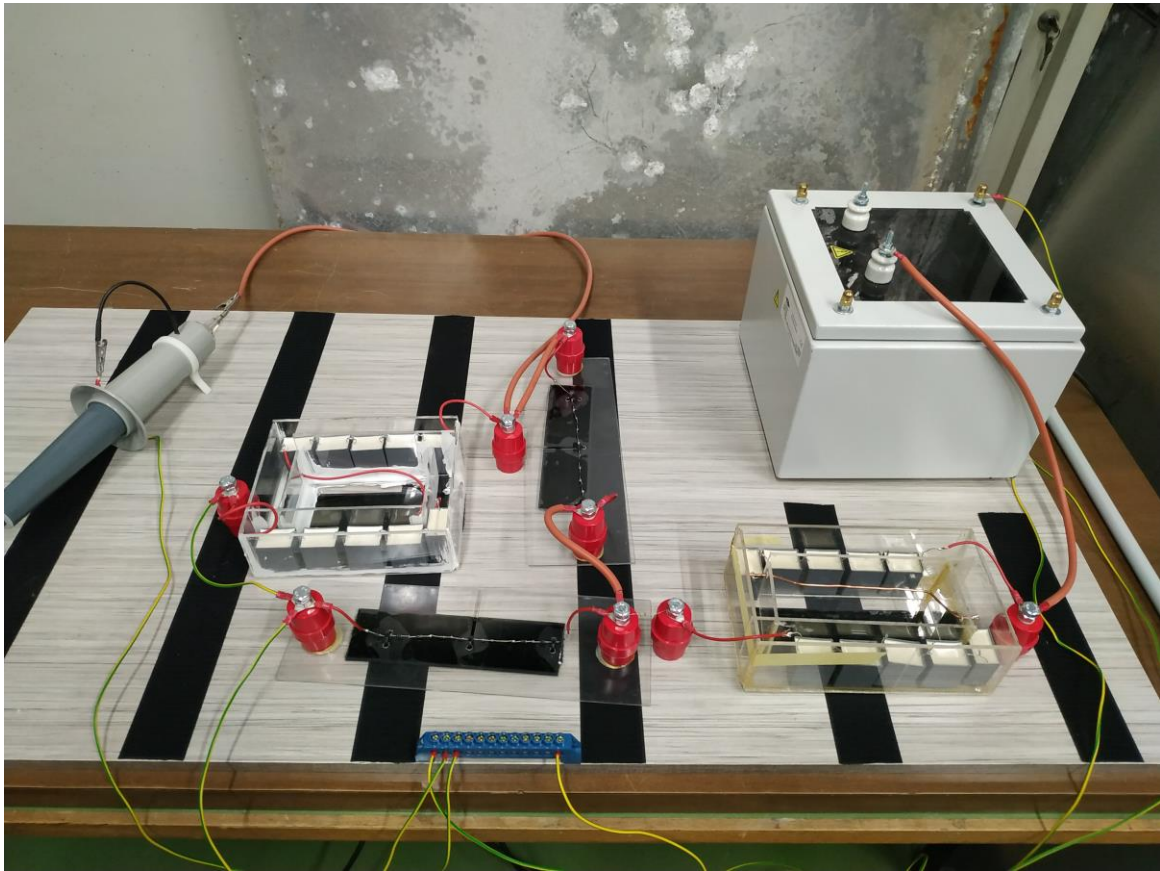


Εικόνα 4.1.14b Κυματομορφή διάταξης Villard, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.

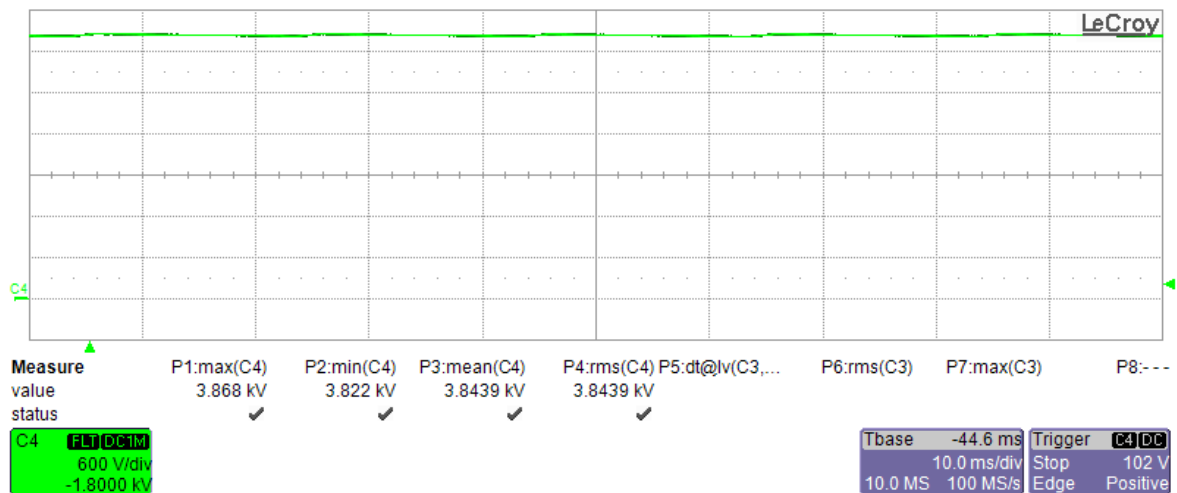
Πίνακας 4. Διάταξη Villard: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=22$ nF.

R (MΩ)	U_{max} (V)	U_{min} (V)	δu (V)	U_{DC} (V)	$\delta u/U_{DC}$ (%)
0	4000	0	2000.0	2000.0	100.00
90	3963	0	1981.5	1981.5	100.00
45	3905	0	1547.5	1547.5	100.00

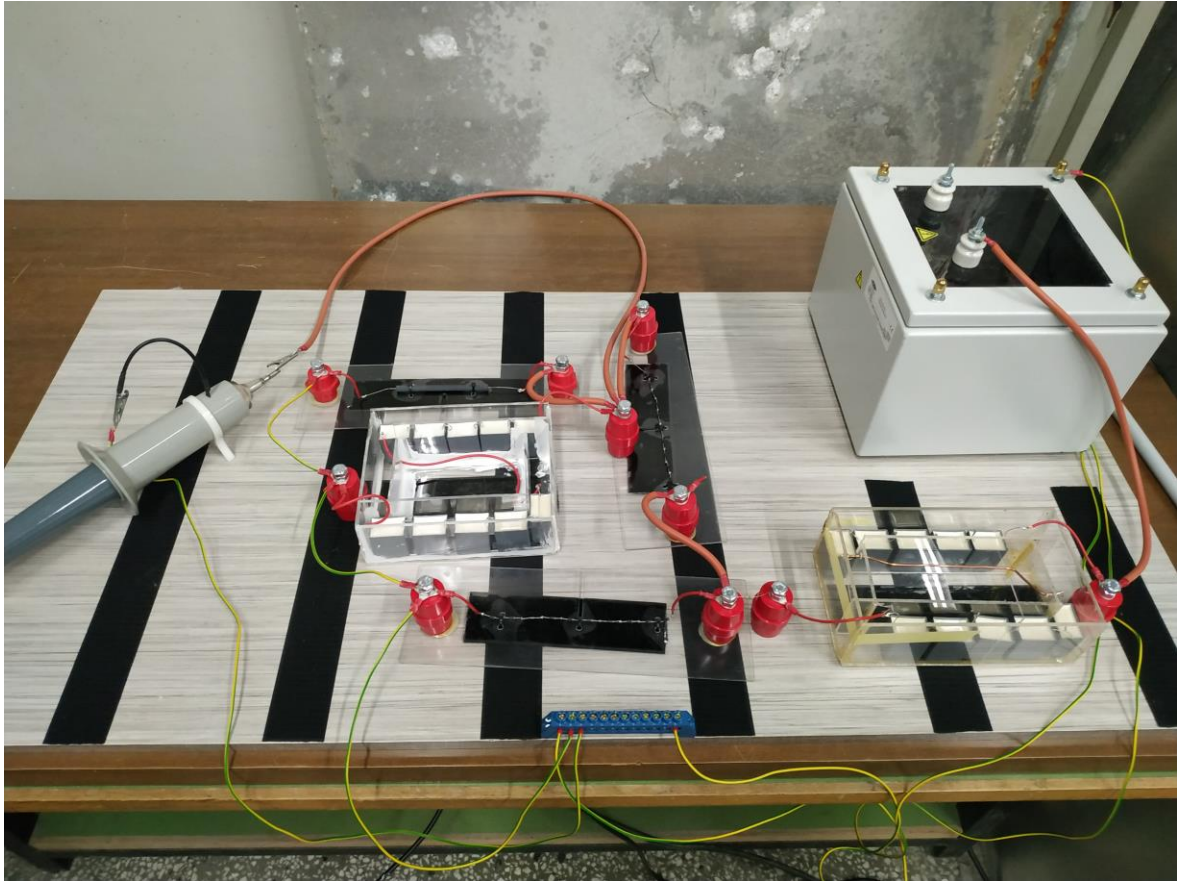
Τέλος, συνδέθηκαν τρεις διατάξεις Greinacher, των οποίων οι εικόνες και οι αντίστοιχες κυματομορφές από τον παλμογράφο εμφανίζονται παρακάτω.



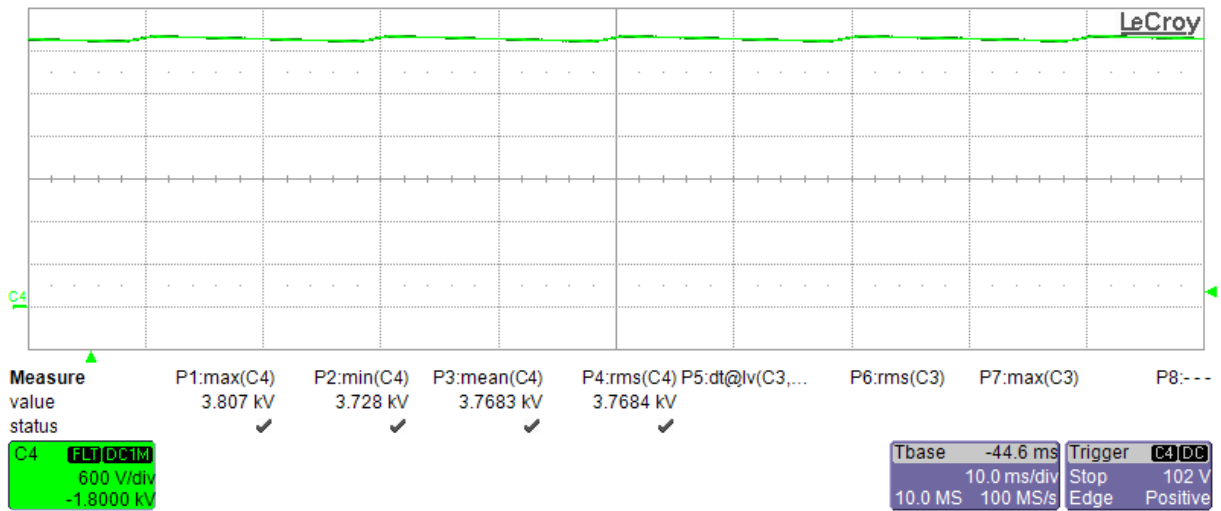
Εικόνα 4.1.15a Διάταξη Greinacher, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο.



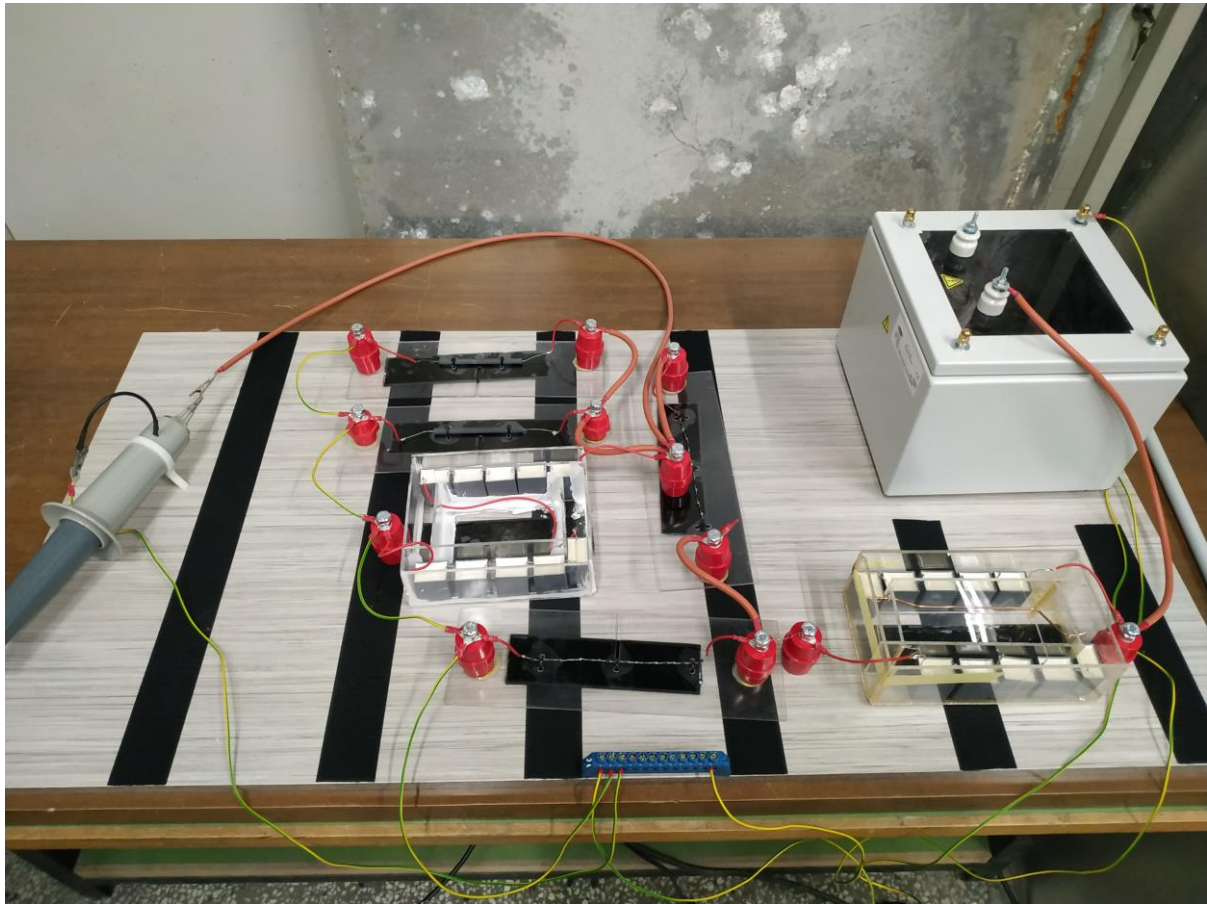
Εικόνα 4.1.15b Κυματομορφή διάταξης Greinacher, πυκνωτών 22 nF, χωρίς φορτίο.



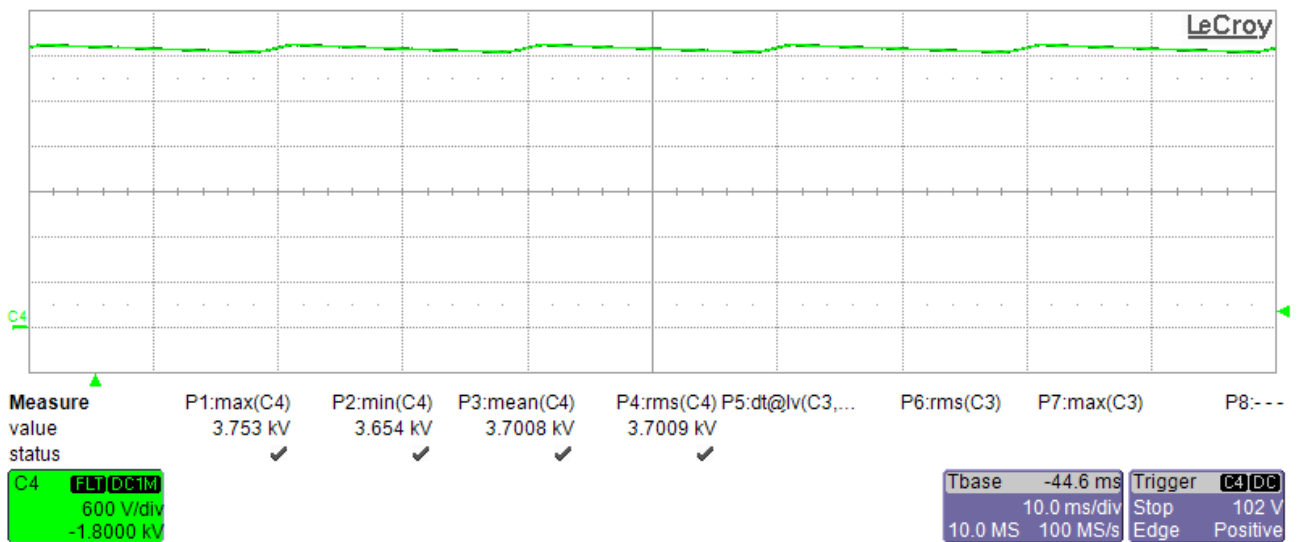
Εικόνα 4.1.16α Διάταξη Greinacher, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.16β Κυματομορφή διάταξης Greinacher, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 90 MΩ.



Εικόνα 4.1.17α Διάταξη Greinachen, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.



Εικόνα 4.1.17b Κομματομορφή διάταξης Greinacher, πυκνωτών 22 nF, με φορτίο 45 MΩ.

Πίνακας 5. Διάταξη Greinacher: Επίδραση της αντίστασης του φορτίου για $C=22\text{ nF}$.

$R\text{ (M}\Omega\text{)}$	$U_{\max}\text{ (V)}$	$U_{\min}\text{ (V)}$	$\delta u\text{ (V)}$	$U_{DC}\text{ (V)}$	$\delta u/U_{DC}\text{ (\%)}$
0	3868	3822	23.0	3845.0	0.60
90	3807	3728	39.5	3767.5	1.00
45	3753	3654	49.5	3703.5	1.30

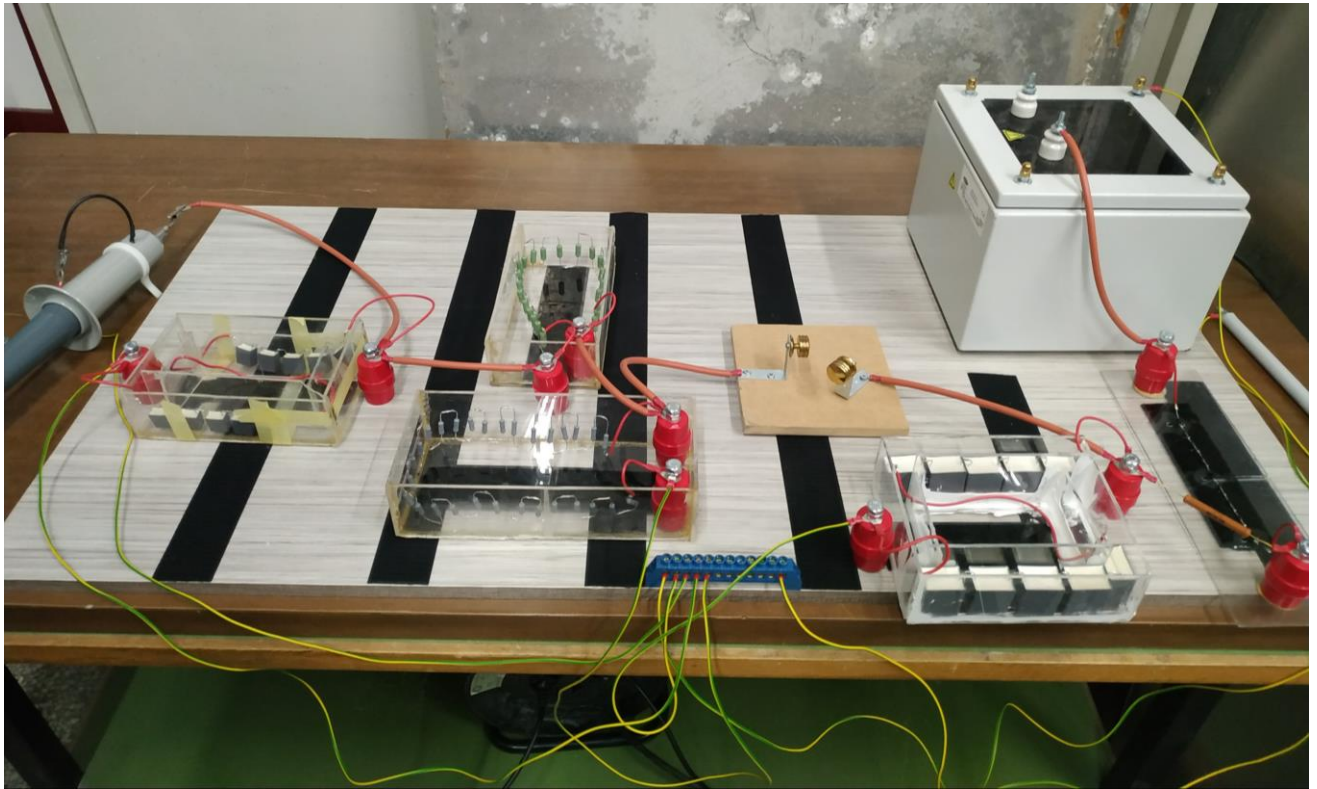
Σύμφωνα με τις κυματομορφές και τους πίνακες που παρουσιάστηκαν στο παρόν κεφάλαιο, φαίνεται πως τόσο η κυμάτωση όσο και ο συντελεστής κυμάτωσης μειώνονται καθώς αυξάνεται η αντίσταση του φορτίου και η χωρητικότητα των πυκνωτών. Στην περίπτωση της διάταξης Villard φαίνεται και η παραμόρφωση της κυματομορφής με τη μείωση της αντίστασης του φορτίου καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζεται περισσότερο μέσω του φορτίου όσο ο ανορθωτής δεν άγει.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις διατάξεις επαληθεύουν τη θεωρία, με τη χρήση των επιμέρους στοιχείων που κατασκευάστηκαν, δίνοντας τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε εκπαιδευτικά εργαστήρια υψηλών τάσεων.

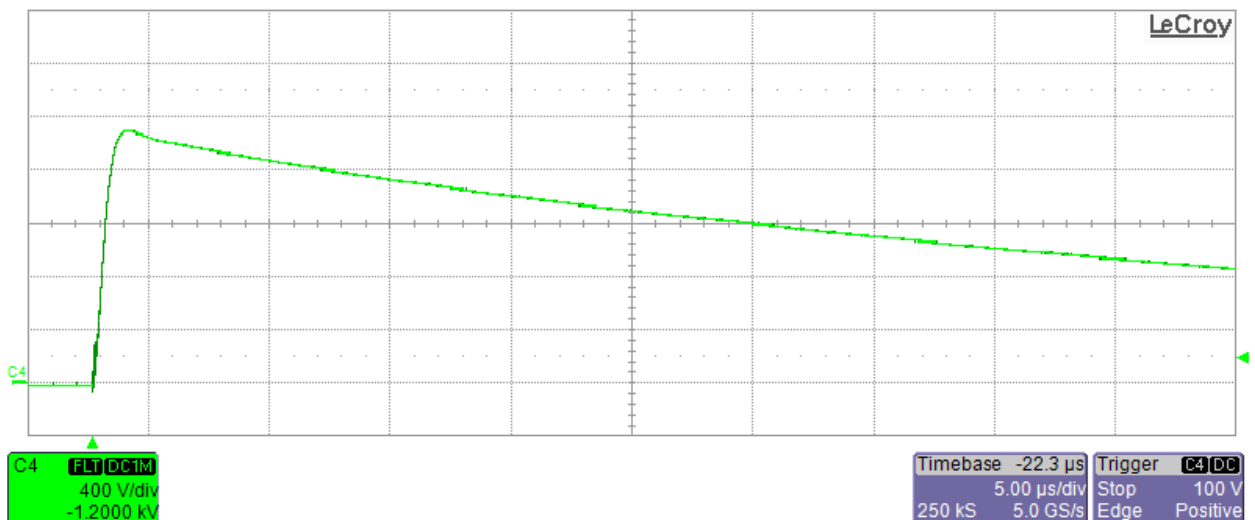
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα συστήματα μέτρησης υψηλών τάσεων ενδέχεται να επηρεάζουν τη διάταξη παραγωγής. Αυτό συμβαίνει και στις διατάξεις που μελετήθηκαν καθώς ο δοκιμαστήρας Tektronix P6015 1000X έχει αντίσταση εισόδου $100\text{ M}\Omega$ με συνέπεια να αποτελεί φορτίο για τις διατάξεις παραγωγής συνεχούς υψηλής τάσης. Οι αντιστάσεις που συνδέθηκαν ως φορτίο, συνδέθηκαν παράλληλα στην αντίσταση εισόδου του δοκιμαστήρα.

4.2 Κρουστικές Υψηλές Τάσεις

Οι διατάξεις κρουστικών υψηλών τάσεων (μονοβάθμιες γεννήτριες τύπου b) με διαφορετικά ζεύγη αντιστάσεων μετώπου και ουράς παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.2.1 και 4.2.2 μαζί με τις κυματομορφές που μετρήθηκαν.

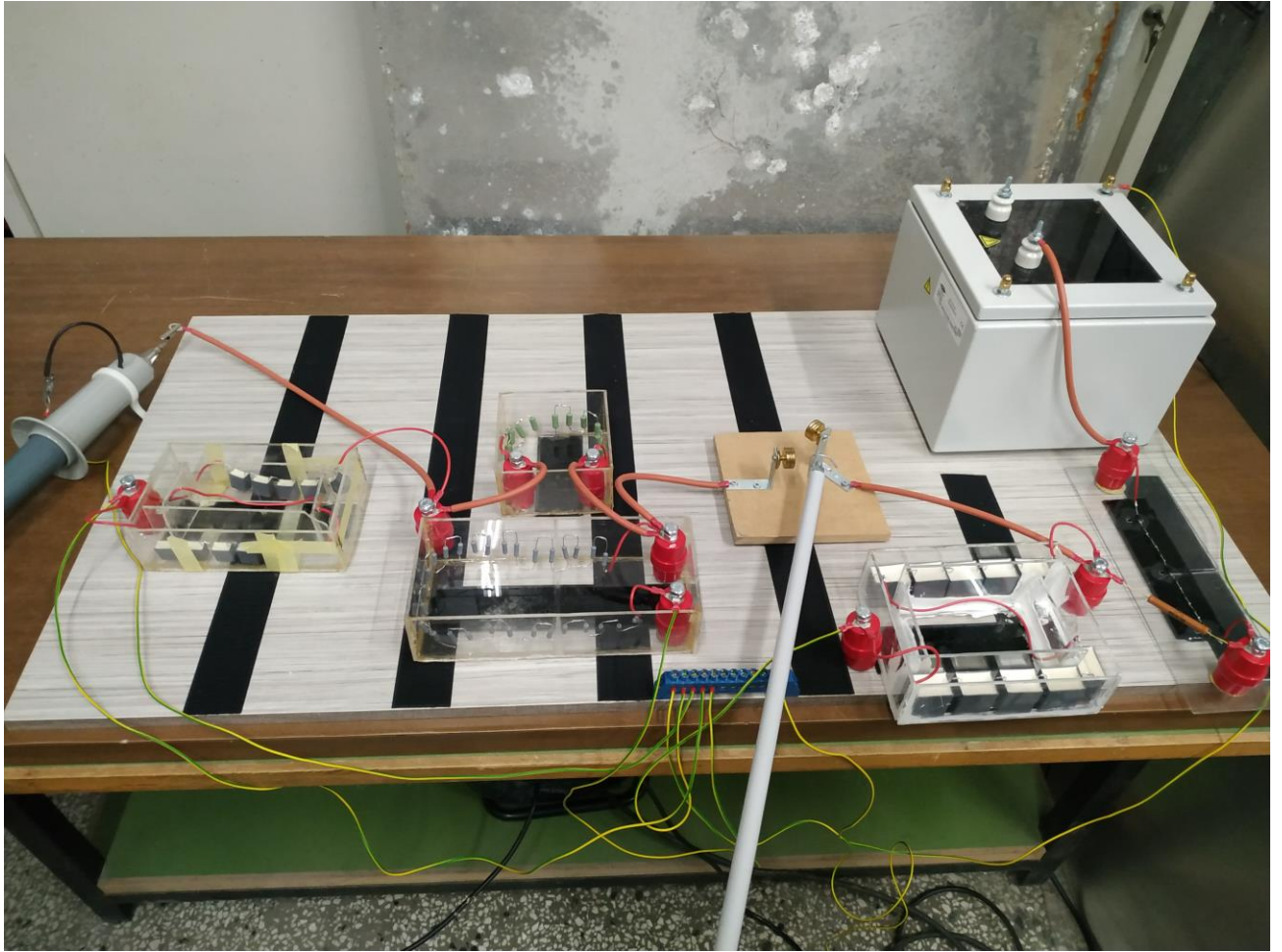


Εικόνα 4.2.1a Μονοβάθμια κρουστική διάταξη 220/2900 Ω.

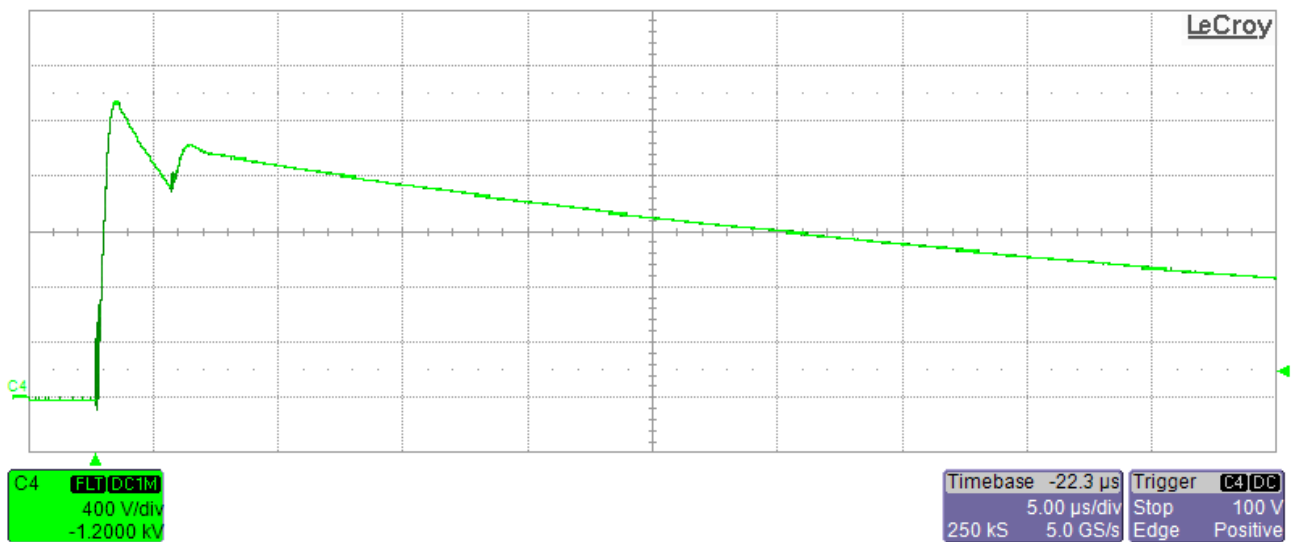


Εικόνα 4.2.1b Κυματομορφή μονοβάθμιας κρουστικής διάταξης 220/2900 Ω. Μετρήσεις:

1.918 kV, 0.982/40.71 μs.

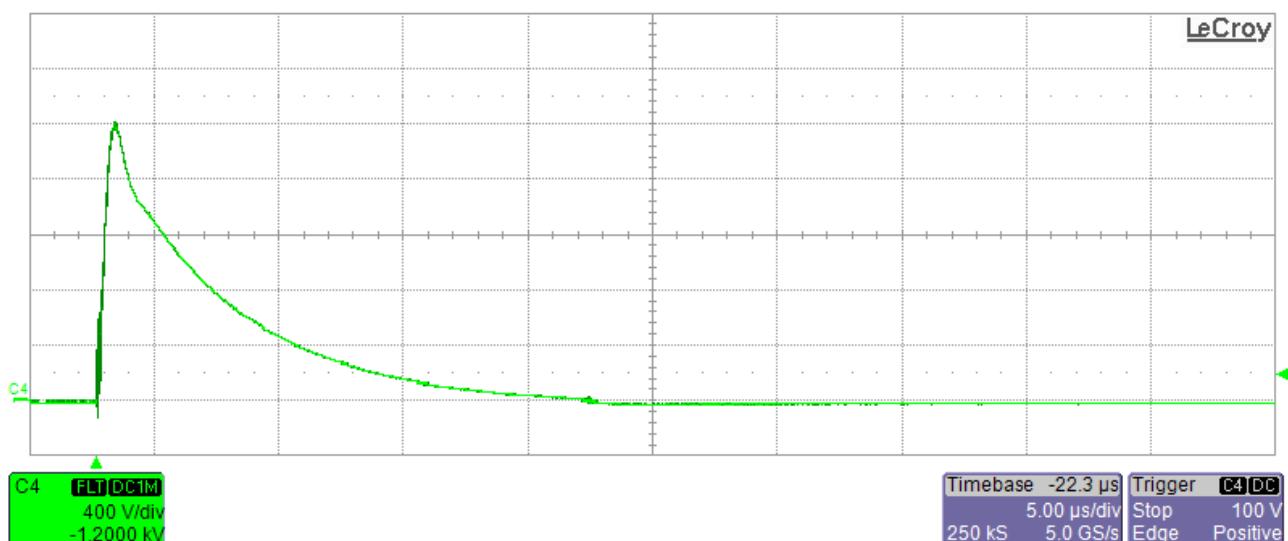


Εικόνα 4.2.2α Μονοβάθμια κρουστική διάταξη 110/2900 Ω.



Εικόνα 4.2.2β Κυματομορφή μονοβάθμιας κρουστικής διάταξης 110/2900 Ω. Μετρήσεις:

2.152 kV, 0.57/34.31 μs.



Εικόνα 4.2.3 Κυματομορφή μονοβάθμιας κρουστικής διάταξης 110/220 Ω. Μετρήσεις:

2.016 kV, 0.55/3.56 μs.

Από τις παραπάνω κυματομορφές παρατηρούμε ότι με τη μείωση της αντίστασης μετώπου μειώνεται η διάρκεια μετώπου και με την μείωση της αντίστασης ουράς, η διάρκεια ημίσεος εύρους. Επίσης παρατηρούμε ότι οι τιμές των αντιστάσεων επιδρούν στη μέγιστη τιμή της παραγόμενης τάσης (για ίδια τάση φόρτισης της γεννήτριας). Μείωση της αντίστασης μετώπου οδηγεί σε αύξηση της μέγιστης τιμής της κρουστικής τάσης, ενώ η μείωση της αντίστασης ουράς σε μείωση της τιμής αυτής.

Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στις μετρήσεις σε σχέση με την εργασία [5] οφείλονται στη χρήση διαφορετικού πυκνωτή 22 nF ως πυκνωτή φόρτισης της διάταξης με συνέπεια η πραγματική χωρητικότητα να διαφέρει.

Τέλος, σημειώνεται ότι η ως διάταξη παραγωγής συνεχούς υψηλής τάσης για την τροφοδότηση των μονοβάθμιων γεννητριών που μελετήθηκαν χρησιμοποιήθηκε διάταξη απλής ανόρθωσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκε η βελτίωση στοιχείων υψηλής τάσης που είχαν κατασκευαστεί σε παλαιότερες εργασίες, καθώς και η σχεδίαση και κατασκευή βάσης και συνδέσεων για τα στοιχεία αυτά ώστε να είναι εφικτή η εύκολη και ασφαλής δημιουργία διατάξεων παραγωγής συνεχών υψηλών τάσεων, όπως η απλή ανόρθωση, η Villard και η Greinacher, αλλά και κρουστικών υψηλών τάσεων (μονοβάθμιες γεννήτριες τύπου a και b). Οι βελτιώσεις περιλαμβάνουν καλύτερες κολλήσεις για την αποφυγή εκκενώσεων κορώνων, προσθήκη μονωτήρων στους ακροδέκτες, μείωση διαστάσεων και προσθήκη βάσεων από Plexiglas. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν συνδέσεις με καλώδιο υψηλής τάσης και συνδέσεις προς τη γείωση της διάταξης με καλώδιο χαμηλής τάσης, όπως επίσης και μία κινητή ράβδος γείωσης.

Η μέγιστη τάση εισόδου των διατάξεων (τάση εξόδου του μετασχηματιστή δοκιμής) καθορίζεται από τις τάσεις αντοχής των στοιχείων που κατασκευάστηκαν και την τάση που θα δεχθούν στην κάθε διάταξη. Ο μετασχηματιστής που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να παράξει μέχρι 10 kV. Οι μετρήσεις που έγιναν έδειξαν ότι οι διατάξεις λειτουργούν ορθά, είναι φορητές και εύχρηστες με εύκολη αλλαγή των στοιχείων τους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων επιβεβαιώνουν τα αναμενόμενα από τη θεωρία. Τα παραπάνω κάνουν τις διατάξεις αυτές κατάλληλες να χρησιμοποιηθούν σε εργαστηριακές ασκήσεις μαθημάτων υψηλών τάσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Π. Ν. Μικρόπουλος, *Εργαστηριακές Ασκήσεις στην Τεχνολογία των Υψηλών Τάσεων*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2008.
- [2] Ζ. Γ. Δάτσιος, *Παρουσιάσεις του μαθήματος Τεχνολογία Υψηλών Τάσεων*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 2019.
- [3] Ζ. Γ. Δάτσιος, *Προσομοίωση Εργαστηριακών Διατάξεων Παραγωγής Συνεχούς Υψηλής Τάσης (ΣΥΤ)*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 2019.
- [4] Ζ. Γ. Δάτσιος, *Προσομοίωση Εργαστηριακών Διατάξεων Παραγωγής Κρουστικών Υψηλών Τάσεων (ΚρΥΤ)*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 2019.
- [5] Π. Ζαέκης, *Κατασκευή Μονοβάθμιας Γεννήτριας Κρουστικών Υψηλών Τάσεων*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 2020.
- [6] Α. Λέσι, *Κατασκευή Διατάξεων Παραγωγής Συνεχούς Υψηλής Τάσης*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, 2021.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ

Τεχνικά φυλλάδια των στοιχείων υψηλής τάσης [5], [6] που βελτιώθηκαν σε αυτή την πυρηνική εργασία.

Ποικνωτές 22 nF (10x KEMET R75UI22204030J)

Polypropylene Pulse/High Frequency Capacitors

R75 Series Single Metallized Polypropylene Film, Radial, DC and Pulse Applications (Automotive Grade)



Overview

The R75 Series is constructed of metallized polypropylene film with radial leads of tinned wire. The radial leads are electrically welded to the metal layer on the ends of the capacitor winding. The capacitor is encapsulated in a self-extinguishing solvent resistant plastic case with thermosetting resin material meeting the UL 94V-0 requirements. Two different winding constructions are used depending on voltage parameters and lead spacing. Please see the Performance Characteristics for more information.

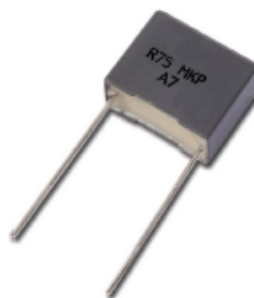
Automotive grade devices are available (up to lead spacing 22.5 mm) and meet the demanding Automotive Electronics Council's AEC-Q200 qualification requirements.

Applications

Typical applications include deflection circuits in televisions (S-correction), resonant capacitor in electronic ballast and compact lamp, power factor correction and coupling capacitor in switched mode power supply (SMPS), timing and oscillator circuits. Not suitable for across-the-line application (see Suppressor Capacitors).

Benefits

- Voltage range: 160 – 2,000 VDC
- Capacitance range: 220 pF – 33 μF
- Lead Spacing: 7.5 – 37.5 mm
- Capacitance tolerance: ±5%, ±10%, ±20%
- Climatic category: 55/105/56 IEC 60068-1
- Operating temperature range of -55°C to +105°C
- RoHS compliance and lead-free terminations
- Tape and reel packaging in accordance with IEC 60286-2
- Self-healing
- Automotive (AEC-Q200) grades available up to lead spacing 22.5mm



Part Number System

R75	P	N	2820	AA	30	K
Series	Rated Voltage (VDC)	Lead Spacing (mm)	Capacitance Code (μF)	Lead and Packaging Code	Internal Use	Capacitance Tolerance
Metallized Polypropylene	G = 160 I = 250 M = 400 P = 630 Q = 1,000 R = 1,250 T = 1,600 U = 2,000	D = 7.5 F = 10 I = 15 N = 22.5 R = 27.5 W = 37.5	Digits 2 – 4 indicate the first three digits of the capacitance value. First digit indicates the number of zeros to be added.	See Ordering Options Table	00 10 30 40 50 60 70 80	J = ±5% K = ±10% M = ±20%

One world. One KEMET

VDC	VAC	Capacitance Value (µF)	Dimensions in mm			Lead Spacing (p)	dV/dt (V/µs)	Max K ₀ (V²/µs)	New KEMET Part Number	Legacy Part Number
			B	H	L					
1,600	650	0.56	19.0	32.0	41.5	37.5	750	2,400,000	75TW3560(1)30(2)	R75TW3560(1)30(2)
1,600	650	0.68	19.0	32.0	41.5	37.5	750	2,400,000	75TW3680(1)30(2)	R75TW3680(1)30(2)
1,600	650	0.82	20.0	40.0	41.5	37.5	750	2,400,000	75TW3820(1)30(2)	R75TW3820(1)30(2)
1,600	650	1.0	24.0	44.0	41.5	37.5	750	2,400,000	75TW4100(1)30(2)	R75TW4100(1)30(2)
1,600	650	1.2	24.0	44.0	41.5	37.5	750	2,400,000	75TW4120(1)30(2)	R75TW4120(1)30(2)
1,600	650	1.5	30.0	45.0	41.5	37.5	750	2,400,000	75TW4150(1)30(2)	R75TW4150(1)30(2)
2,000	700	0.0010	4.0	10.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI100(1)40(2)	R75UI100(1)40(2)
2,000	700	0.0012	4.0	10.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1120(1)40(2)	R75UI1120(1)40(2)
2,000	700	0.0015	4.0	10.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1150(1)40(2)	R75UI1150(1)40(2)
2,000	700	0.0018	4.0	10.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1180(1)40(2)	R75UI1180(1)40(2)
2,000	700	0.0022	4.0	10.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1220(1)40(2)	R75UI1220(1)40(2)
2,000	700	0.0027	4.0	10.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1270(1)40(2)	R75UI1270(1)40(2)
2,000	700	0.0033	4.0	10.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1330(1)40(2)	R75UI1330(1)40(2)
2,000	700	0.0039	5.0	11.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1390(1)30(2)	R75UI1390(1)30(2)
2,000	700	0.0047	5.0	11.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1470(1)30(2)	R75UI1470(1)30(2)
2,000	700	0.0056	6.0	12.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1560(1)30(2)	R75UI1560(1)30(2)
2,000	700	0.0068	6.0	12.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1680(1)30(2)	R75UI1680(1)30(2)
2,000	700	0.0082	7.5	13.5	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI1820(1)30(2)	R75UI1820(1)30(2)
2,000	700	0.010	7.5	13.5	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2100(1)30(2)	R75UI2100(1)30(2)
2,000	700	0.012	8.5	14.5	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2120(1)30(2)	R75UI2120(1)30(2)
2,000	700	0.012	9.0	12.5	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2120(1)70(2)	R75UI2120(1)70(2)
2,000	700	0.015	8.5	14.5	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2150(1)30(2)	R75UI2150(1)30(2)
2,000	700	0.015	13.0	12.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2150(1)70(2)	R75UI2150(1)70(2)
2,000	700	0.018	10.0	16.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2180(1)30(2)	R75UI2180(1)30(2)
2,000	700	0.018	13.0	12.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2180(1)70(2)	R75UI2180(1)70(2)
2,000	700	0.022	11.0	19.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2220(1)30(2)	R75UI2220(1)30(2)
2,000	700	0.027	11.0	19.0	18.0	15.0	9,500	38,000,000	75UI2270(1)30(2)	R75UI2270(1)30(2)

Ποικωτές 220 nF (20x KEMET R76UR32204030J)

Polypropylene Pulse/High Frequency Capacitors

R76 Series Double Metallized Polypropylene Film, Radial, DC and Pulse Applications (Automotive Grade)



Overview

The R76 Series is constructed of polypropylene film and double metallized polyester film as electrodes with radial leads of tinned wire. The radial leads are electrically welded to the metal layer on the ends of the capacitor winding. The capacitor is encapsulated in a self-extinguishing solvent resistant plastic case with thermosetting resin material meeting the UL 94V-0 requirements. Two different winding constructions are used depending on voltage parameters. Please see the Performance Characteristics for more information.

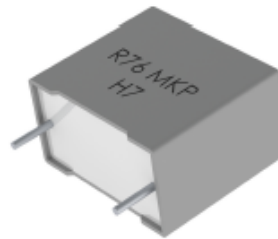
Automotive grade devices are available (up to lead spacing 22.5 mm) and meet the demanding Automotive Electronics Council's AEC-Q200 qualification requirements.

Applications

Typical applications include deflection circuits in televisions (S-correction and flyback tuning) and monitors, switching spikes suppression in switched mode power supplies (SMPS), lamp capacitors for electronic ballasts and compact lamps, and snubber and silicon-controlled rectifier (SCR) commutation circuits as well as applications with high voltage and high current. Not suitable for across-the-line application (see Suppressor Capacitors).

Benefits

- Voltage range: 250 – 2,000 VDC
- Capacitance range: 100 pF – 15 μ F
- Lead Spacing: 7.5 mm – 37.5 mm
- Capacitance tolerance: $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$
- Climatic category: 55/105/56 IEC 60068-1
- Operating temperature range of -55°C to $+105^{\circ}\text{C}$
- RoHS compliance and lead-free terminations
- Tape and reel packaging in accordance with IEC 60286-2
- Self-healing
- Automotive (AEC-Q200) grades available up to lead spacing 22.5mm



Click image above for interactive 3D content
Open PDF in Adobe Reader for full functionality

Part Number System

R76	I	D	1680	SE	30	K
Series	Rated Voltage (VDC)	Lead Spacing (mm)	Capacitance Code (pF)	Packaging	Internal Use	Capacitance Tolerance
Double Metallized Polypropylene	I = 250 M = 400 P = 630 Q = 1,000 T = 1,600 U = 2,000	D = 7.5 F = 10 I = 15 N = 22.5 R = 27.5 W = 37.5	The last three digits represent significant figures. The first digit specifies the total number of zeros to be added.	See Ordering Options Table	00 10 30 40 50 60 70 80	H = 2.5% J = $\pm 5\%$ K = $\pm 10\%$

VDC	VAC	Capacitance Value (μF)	Dimensions in mm			Lead Spacing (p)	dV/dt (V/μs)	Max K ₀ (V ² /μs)	New KEMET Part Number	Legacy Part Number
			B	H	L					
2,000	700	0.033	8.5	17.0	26.5	22.5	3,500	14,000,000	76UN2330(1)40(2)	R76UN2330(1)40(2)
2,000	700	0.039	10.0	18.5	26.5	22.5	3,500	14,000,000	76UN2390(1)40(2)	R76UN2390(1)40(2)
2,000	700	0.047	10.0	18.5	26.5	22.5	3,500	14,000,000	76UN2470(1)40(2)	R76UN2470(1)40(2)
2,000	700	0.056	11.0	20.0	26.5	22.5	3,500	14,000,000	76UN2560(1)40(2)	R76UN2560(1)40(2)
2,000	700	0.022	9.0	17.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2220(1)30(2)	R76UR2220(1)30(2)
2,000	700	0.027	9.0	17.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2270(1)30(2)	R76UR2270(1)30(2)
2,000	700	0.033	9.0	17.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2330(1)30(2)	R76UR2330(1)30(2)
2,000	700	0.039	11.0	20.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2390(1)20(2)	R76UR2390(1)20(2)
2,000	700	0.047	11.0	20.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2470(1)30(2)	R76UR2470(1)30(2)
2,000	700	0.056	13.0	22.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2560(1)30(2)	R76UR2560(1)30(2)
2,000	700	0.068	13.0	22.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2680(1)30(2)	R76UR2680(1)30(2)
2,000	700	0.082	13.0	25.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR2820(1)40(2)	R76UR2820(1)40(2)
2,000	700	0.10	14.0	28.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR3100(1)30(2)	R76UR3100(1)30(2)
2,000	700	0.12	18.0	33.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR3120(1)30(2)	R76UR3120(1)30(2)
2,000	700	0.15	18.0	33.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR3150(1)30(2)	R76UR3150(1)30(2)
2,000	700	0.18	22.0	37.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR3180(1)30(2)	R76UR3180(1)30(2)
2,000	700	0.22	22.0	37.0	32.0	27.5	2,300	9,200,000	76UR3220(1)30(2)	R76UR3220(1)30(2)
2,000	700	0.033	11.0	22.0	41.5	37.5	1,500	6,000,000	76UW2330(1)30(2)	R76UW2330(1)30(2)

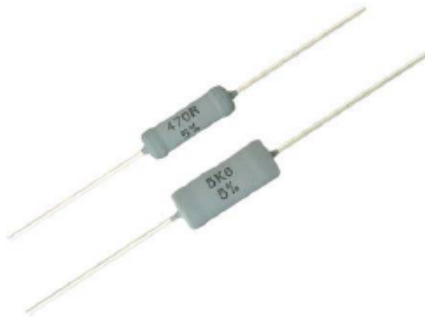
Οι 10 πυκνωτές με $dV/dt = 2,500 \text{ V}/\mu\text{s}$ και με $\text{Max } K_0 = 10,000,000 \text{ V}^2/\mu\text{s}$.

Αντιστάσεις 100 Ω (29x Vishay Z33061731000J2CC06)



Z300-Cxx
Vishay Draloric

High Surge Axial Cemented Leaded Wirewound Resistors



FEATURES

- High voltage surge (up to 12 kV) withstanding capability
- Non flammable silicon cement coating
- High grade ceramic core
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE
GREEN
(JE-00001)

APPLICATIONS

- Energy meter
- Appliances
- Ballast

DESIGN SUPPORT TOOLS [click logo to get started](#)



The Z300-Cxx series, is the perfect choice for high voltage surge applications. This product series is tested and proven to meet the 1.2 / 50 μ s pulse up to 12 kV defined in IEC 61000-4-5. Typical applications include but are not limited to energy meters, power supplies, etc.

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS					
TYPE	POWER RATING P_{40}	POWER RATING P_{70}	RESISTANCE RANGE	RESISTANCE TOLERANCE ⁽¹⁾	TEMPERATURE COEFFICIENT ⁽²⁾
Z301-Cxx	1 W	0.9 W	430 Ω to 2 k Ω	± 5 %, ± 10 %	± 200 ppm/K
ZDA0411-Cxx	2 W	1.8 W	182 Ω to 4.3 k Ω		
Z302-Cxx	3 W	2.7 W	62 Ω to 3.3 k Ω		
Z303-Cxx	4 W	3.5 W	27 Ω to 3.9 k Ω		
Z304-Cxx	5 W	4.4 W	15 Ω to 5.6 k Ω		
Z305-Cxx	6 W	5.3 W	4.7 Ω to 10 k Ω		

Notes

- ⁽¹⁾ Resistance value to be selected for ± 10 % tolerance from E12 and for ± 5 % from E24, 1 % tolerance available on request
⁽²⁾ Lower TCR products are available on request

Revision: 11-Jul-2018

1

Document Number: 21027

For technical questions, contact: www1.resistors@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Αντιστάσεις 10 Ω (33x Vishay AC05000001009JAC00)



www.vishay.com

AC, AC-AT
Vishay Draloric

Cemented Leaded Wirewound Resistors



DESIGN SUPPORT TOOLS

[click logo to get started](#)



The AC series is the perfect choice for general purpose power applications. The AEC-Q200 qualified AC-AT series is best suited for automotive applications. The robust silicon cement coating can handle challenging ambient and operating conditions. Typical applications include but are not limited to energy meters, power supplies and automotive electronics. For a given application, requirements of ohmic value, rated power, peak voltage, pulse shape, pulse duration, lead bending, and environmental conditions may be submitted to recommend the most suitable product.

Various lead forms are available such as RT (radial taped), WSZ (Z-form), DK (double kink), EK (single kink) with defined mounting pitch.

FEATURES

- AEC-Q200 qualified AC-AT series
- High power dissipation in small design
- Non-flammable coating conforming to UL 94 V-0
- Excellent pulse load capability
- Non-inductive (NI) version available
- WSZ-form lead bending available for SMD mounting
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS COMPLIANT
HALOGEN FREE
GREEN

APPLICATIONS

- Automotive electronics
- Industrial electronics
- Power supplies
- White goods
- Pre-charged applications

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
TYPE	RATED DISSIPATION P_{40}	RATED DISSIPATION P_{70}	LIMITING VOLTAGE U_{max}	RESISTANCE RANGE ⁽¹⁾ TCR = -10 ppm/K to -80 ppm/K	RESISTANCE RANGE ⁽¹⁾ TCR = +100 ppm/K to +180 ppm/K	RESISTANCE RANGE ⁽¹⁾ TCR = ± 100 ppm/K	RESISTANCE TOLERANCE
AC01	1 W	0.9 W	$\sqrt{P \times R}$	0.10 Ω to 33 Ω	36 Ω to 2.4 kΩ	-	± 5 %
AC01-AT	1 W	0.9 W	$\sqrt{P \times R}$	0.39 Ω to 33 Ω	36 Ω to 2.4 kΩ	-	± 5 %
AC03 ⁽²⁾	3 W	2.5 W	$\sqrt{P \times R}$	0.10 Ω to 390 Ω	430 Ω to 3.3 kΩ	3.6 kΩ to 5.1 kΩ	± 5 %
AC03-AT	3 W	2.5 W	$\sqrt{P \times R}$	0.27 Ω to 390 Ω	430 Ω to 3.3 kΩ	-	± 5 %
AC04	4 W	3.5 W	$\sqrt{P \times R}$	0.10 Ω to 620 Ω	680 Ω to 6.8 kΩ	-	± 5 %
AC04-AT	4 W	3.5 W	$\sqrt{P \times R}$	0.22 Ω to 620 Ω	680 Ω to 6.8 kΩ	-	± 5 %
AC05	5 W	4.7 W	$\sqrt{P \times R}$	0.10 Ω to 910 Ω	1.0 kΩ to 10 kΩ	-	± 5 %
AC05-AT	5 W	4.7 W	$\sqrt{P \times R}$	0.62 Ω to 910 Ω	1.0 kΩ to 10 kΩ	-	± 5 %
AC07	7 W	5.8 W	$\sqrt{P \times R}$	0.10 Ω to 820 Ω	910 Ω to 15 kΩ	-	± 5 %
AC07-AT	7 W	5.8 W	$\sqrt{P \times R}$	1.0 Ω to 820 Ω	910 Ω to 15 kΩ	-	± 5 %
AC10	10 W	8.4 W	$\sqrt{P \times R}$	0.22 Ω to 560 Ω	620 Ω to 27 kΩ	-	± 5 %
AC10-AT	10 W	8.4 W	$\sqrt{P \times R}$	2.0 Ω to 560 Ω	620 Ω to 27 kΩ	-	± 5 %

Notes

- The operating temperature range for these resistors is from -55 °C up to 250 °C

⁽¹⁾ Resistance value to be selected for ± 5 % from E24

⁽²⁾ AC03 WSZ: P_{40} = 1.8 W; P_{70} °C = 1.5 W

Revision: 11-Jul-2018

1

Document Number: 28730

For technical questions, contact: ww1resistors@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Δίοδοι (20x Vishay GP02-40-E3)



www.vishay.com

GP02-20, GP02-25, GP02-30, GP02-35, GP02-40

Vishay General Semiconductor

High Voltage Glass Passivated Junction Plastic Rectifier



FEATURES

- Superectifier structure for high reliability application
- Cavity-free glass-passivated junction
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- AEC-Q101 qualified
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in rectification of high voltage power supplies, inverters, converters, and freewheeling diodes application.

MECHANICAL DATA

Case: DO-204AL, molded epoxy over glass body
Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating
Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade
Base P/NHE3 - RoHS-compliant, AEC-Q101 qualified

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test, HE3 suffix meets JESD 201 class 2 whisker test

Polarity: Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	0.25 A
V_{RRM}	1000 V, 2500 V, 3000 V, 3500 V, 4000 V
I_{FSM}	15 A
I_R	5.0 μ A
V_F	3.0 V
T_J max.	175 °C
Package	DO-204AL (DO-41)
Diode variations	Single die

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25\text{ °C}$ unless otherwise noted)							
PARAMETER	SYMBOL	GP02-20	GP02-25	GP02-30	GP02-35	GP02-40	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	2000	2500	3000	3500	4000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	1400	1750	2100	2450	2800	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	2000	2500	3000	3500	4000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_A = 55\text{ °C}$	$I_{F(AV)}$	0.25					A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	15					A
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	-65 to +175					°C

Revision: 23-Jun-15

1

Document Number: 88635

For technical questions within your region: DiodesAmericas@vishay.com, DiodesAsia@vishay.com, DiodesEurope@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Αντιστάσεις 100 kΩ (50x 279-ROX7J100K)

Flame-Proof Power Metal Oxide Film Resistors



Key Features

High Power with Small Size for Space Saving

Excellent Long Term Stability

Complete Flameproof Construction

Controlled Temperature Capability

Solvent Resistant Coat and Code

Special Lead Formations Possible

Type ROX Series



The resistive element comprises a metal oxide film deposited on a ceramic former. The element is protected by a flameproof coating which will withstand overload conditions without flame or mechanical damage. They are recommended for use in applications such as line protection etc

Characteristics – Electrical

Type	Rated Power @ 70°C	Max. Working Voltage	Max. Overload Voltage	Dielectric Withstand Voltage	Resistance Range Ω	Operating Temp. Range	
Normal Size	ROX025	0.25W	250V	400V	250V	0.3 ~ 50K	-55 ~ 155°C
	ROX05	0.5W	250V	400V	250V	0.3 ~ 330K	
	ROX1	1W	350V	600V	350V	0.1 ~ 470K	
	ROX2	2W	350V	600V	350V	0.1 ~ 560K	
	ROX3	3W	500V	800V	500V	5.0 ~ 100K	
	ROX5	5W	750V	1000V	750V	5.0 ~ 150K	
	ROX7	7W	750V	1000V	750V	20 ~ 150K	
	ROX8	8W	750V	1000V	750V	30 ~ 200K	
	ROX9	9W	750V	1000V	750V	50 ~ 200K	
Small Size	ROX05S	0.5W	250V	400V	250V	0.3 ~ 50K	
	ROX1S	1W	350V	600V	350V	0.3 ~ 1MΩ	
	ROX2S	2W	350V	600V	350V	0.3 ~ 1MΩ	
	ROX3S	3W	350V	600V	350V	0.3 ~ 1MΩ	
	ROX4S	4W	500V	800V	500V	5.0 ~ 100K	
	ROX5S	5W	500V	800V	500V	5.0 ~ 100K	
	ROX5S	5W	500V	800V	500V	5.0 ~ 150K	

Resistors shall have a rated direct-current (DC) continuous working voltage or an approximate sine-wave root-mean-square (RMS) alternating-current (AC) continuous working voltage at commercial line frequency and waveform corresponding to the power rating, as determined from the following formula :

$$RCWV = \sqrt{P \times R}$$

Where : RCWV = Rated DC or RMS AC continuous working voltage at commercial-line frequency and waveform (volt)

P = Power Rating (watt)

R = Nominal Resistance (ohm)

Rated Voltage = RCWV or Max. Working Voltage, whichever is smaller

Αντιστάσεις 90 MΩ (2x Vishay ROX40090M0JKF5)



www.vishay.com

ROX

Vishay Dale

Metal Oxide Resistors, Special Purpose, High Voltage



The ROX is an excellent choice for high voltage systems with the advantage of high wattage and space saving dimensions.

FEATURES

- Low TCR: ± 200 ppm/°C standard; ± 100 ppm/°C, ± 50 ppm/°C available; non-inductive only available with TC of ± 200 ppm/°C
- Tolerance: $\pm 1\%$; $\pm 2\%$; $\pm 5\%$; $\pm 10\%$
- High Voltage (up to 45 kV)
- For oil bath or open air operation
- Standard ROX product is coated; optional uncoated version of the ROX product is available on request
- Matched sets available
- Special testing available upon request
- Applications: HV power supplies; laboratory equipment; power control; aeronautical
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS* Available

Note

* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and/or parts that are non RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS								
GLOBAL MODEL	HISTORICAL MODEL	POWER RATING			MAXIMUM WORKING VOLTAGE (1) V	RESISTANCE RANGE (2) Ω	TOLERANCE ± %	TEMPERATURE COEFFICIENT (3) ± ppm/°C
		P ₂₅ °C W	P ₇₀ °C W	P ₁₂₅ °C W				
ROX050	ROX-1/2	2	1.4	1	2K	1M to 100M	1, 2, 5, 10	50
						1k to 100M	1, 2, 5, 10	100
						100 to 1G	1, 2, 5, 10	200
ROX050_P	ROX-1/2P	2.8	1.96	1.4	2K	1M to 100M	1, 2, 5, 10	50
						1k to 100M	1, 2, 5, 10	100
						100 to 1G	1, 2, 5, 10	200
ROX075	ROX-3/4	3	2.16	1.5	5K	1M to 100M	1, 2, 5, 10	50
						1k to 500M	1, 2, 5, 10	100
						100 to 3G	1, 2, 5, 10	200
ROX075_N	ROX-3/4N	3	2.16	1.5	5K	100 to 1M	1, 2, 5, 10	200
ROX075_P	ROX-3/4P	4.2	3.02	2.1	5K	1M to 100M	1, 2, 5, 10	50
						1k to 500M	1, 2, 5, 10	100
						100 to 3G	1, 2, 5, 10	200
ROX075_NP	ROX-3/4NP	4.2	3.02	2.1	5K	100 to 1M	1, 2, 5, 10	200
ROX100	ROX-1	4	2.88	2	7.5K	1M to 100M	1, 2, 5, 10	50
						1k to 500M	1, 2, 5, 10	100
						150 to 3G	1, 2, 5, 10	200
ROX100_N	ROX-1N	4	2.88	2	7.5K	100 to 1M	1, 2, 5, 10	200
ROX100_P	ROX-1P	5.6	4.03	2.8	7.5K	1M to 100M	1, 2, 5, 10	50
						1k to 500M	1, 2, 5, 10	100
						150 to 3G	1, 2, 5, 10	200
ROX100_NP	ROX-1NP	5.6	4.03	2.8	7.5K	100 to 1M	1, 2, 5, 10	200
ROX150	ROX-1-1/2	5	3.6	2.5	11K	1M to 100M	1, 2, 5, 10	50
						1k to 500M	1, 2, 5, 10	100
						200 to 3G	1, 2, 5, 10	200
ROX150_N	ROX-1-1/2N	5	3.6	2.5	11K	100 to 1M	1, 2, 5, 10	200

Revision: 31-Jan-17

1

Document Number: 31033

For technical questions, contact: R2resistors@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91100