

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΔΟΚΙΜΕΣ – ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΓΙΑΧΑΛΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ

ΠΑΤΡΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τις υψηλές τάσεις και κατά πρώτο λόγο με την παραγωγή των υψηλών τάσεων και την μέτρηση των υψηλών τάσεων. Ακόμα θα δούμε τις διηλεκτρικές δοκιμές που κάνουμε πάνω σε μονωτικά υλικά και τέλος θα δούμε τους κανονισμούς ασφαλείας στα Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων. Όλα τα παραπάνω πραγματοποιούνται στα εργαστήρια υψηλών τάσεων κάτω από υψηλά μέτρα ασφαλείας.

Οι υψηλές τάσεις τις βρίσκουμε παντού μέσα στην φύση από την ημέρα που δημιουργήθηκε το σύμπαν. Οι άνθρωποι αισθάνονταν δέος πάντα όταν υπήρχαν φαινόμενα υψηλών τάσεων, όπως για παράδειγμα όταν σε κακοκαιρία υπήρχαν κεραυνοί, όμως πέρασαν πολλοί αιώνες για να έχουν την δυνατότητα να τους καταλάβουν. Αυτό συνέβη μόλις στις αρχές του 20^{ου} αιώνα άρχισαν οι υψηλές τάσεις να τις κατανοεί ο άνθρωπος και αποτελούν μια νέα επιστημονική περιοχή που την οποία οι άνθρωποι πλέον όχι αποκλειστικά κατάλαβαν τα φαινόμενα των υψηλών τάσεων, όμως παράλληλα είχαν την δυνατότητα να τις παράγουν αποκλειστικά μόνοι τους και επιπροσθέτως να τις χρησιμοποιούν στην καθημερινή τους ζωή πάνω σε πληθώρα εφαρμογών.

Στα κεφάλαια αυτού του βιβλίου θα ασχοληθούμε όπως είπαμε παραπάνω κυρίως με την παραγωγή υψηλών τάσεων, την μέτρηση των υψηλών τάσεων τις διηλεκτρικές δοκιμές και με τους κανονισμούς ασφαλείας στα εργαστήρια υψηλών τάσεων. Αυτά τα κεφάλαια είναι σε σειρά ως εξής:

1^ο κεφάλαιο: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.

2^ο κεφάλαιο: ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.

3^ο κεφάλαιο: ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.

4^ο κεφάλαιο: ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Στην συνέχεια θα πούμε λίγα λόγια για τα παραπάνω κεφάλαια:

Στο 1^ο κεφάλαιο θα αναφέρουμε τις διατάξεις με τις οποίες έχουμε την δυνατότητα να παράγουμε τα τρία διαφορετικά είδη τάσεων που είναι οι κρουστικές υψηλές τάσεις, οι εναλλασσόμενες υψηλές τάσεις και οι συνεχείς υψηλές τάσεις. Ακόμα, θα αναφέρουμε τις ανορθωτικές διατάξεις που τις χρησιμοποιούμε για να παράγουμε τις συνεχείς υψηλές τάσεις, τους μετασχηματιστές δοκιμής και τους πολυβάθμιους μετασχηματιστές δοκιμής που και τους δύο τους χρησιμοποιούμε για να παράγουμε τις εναλλασσόμενες υψηλές τάσεις, και θα αναφέρουμε και τις διατάξεις τις χρησιμοποιούμε για να παράγουμε τις κρουστικές υψηλές τάσεις. Επιπλέον, στο τέλος αυτού του κεφαλαίου θα αναφέρουμε τις διατάξεις με τις οποίες έχουμε την δυνατότητα να παράγουμε τα κρουστικά υψηλά ρεύματα.

Στο 2^ο κεφάλαιο θα αναφέρουμε τις τεχνικές μέτρησης των τριών διαφορετικών ειδών τάσεων που είναι οι κρουστικές υψηλές τάσεις, οι εναλλασσόμενες υψηλές τάσεις και οι συνεχείς υψηλές τάσεις. Θα αναφέρουμε τα όργανα μέτρησης των τριών διαφορετικών ειδών τάσεων όπως π.χ. το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο για την μέτρηση των εναλλασσόμενων υψηλών τάσεων, των σφαιρικών διακένων για την μέτρηση των συνεχών υψηλών τάσεων και τους καταμεριστές τύπου Zaengl για την μέτρηση των κρουστικών υψηλών τάσεων. Τις υψηλές τάσεις δεν έχουμε την δυνατότητα να τις μετρήσουμε με τις έως τώρα τυποποιημένες μεθόδους.

Στο 3^ο κεφάλαιο θα αναφέρουμε τις τεχνικές που υφίστανται για να πραγματοποιήσουμε τις διηλεκτρικές δοκιμές. Τις διηλεκτρικές δοκιμές τις πραγματοποιούμε προκειμένου να εντοπίσουμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μερικών εκκενώσεων, όπως τον συντελεστή απωλειών και της διηλεκτρικής σταθεράς. Οι διηλεκτρικές δοκιμές χωρίζονται στις δοκιμές με τις οποίες καταστρέφουμε (διάσπαση) το αντικείμενο πάνω στο οποίο κάνουμε τις δοκιμές και στις διηλεκτρικές δοκιμές με τις οποίες δεν καταστρέφουμε (διάσπαση) το αντικείμενο πάνω στο οποίο κάνουμε τις δοκιμές. Τις διηλεκτρικές δοκιμές τις πραγματοποιούμε κυρίως στα Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων.

Στο 4^ο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τους κανονισμούς ασφαλείας στα Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων. Στα Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων επειδή οι εργασίες γίνονται κάτω από υψηλή τάση υπάρχουν κίνδυνοι για την ζωή των ανθρώπων που εργάζονται σε αυτά τα εργαστήρια είτε είναι κοντά ή μακριά ή σε επαφή με καλώδια με υψηλή τάση. Ακόμη, θα αναφέρουμε τα μέτρα ασφαλείας κατά την είσοδο στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, για τον προστατευτικό φράκτη, τις αποστάσεις ασφαλείας, τις επεμβάσεις σε διάταξη – γειώσεις, το πώς κάνουμε συνδεσμολογίες και το πώς εκτελούμε πειράματα και όλα τα παραπάνω γίνονται σε Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων. Οι κανονισμοί που θα αναφέρουμε στο κεφάλαιο αυτό πρέπει να τηρούνται από όλους τους ανθρώπους ανεξαρτήτως αν εργάζονται σε Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων ή είναι απλώς επισκέπτες σε αυτό το εργαστήριο.

Με αυτά τα κεφάλαια θα ασχοληθούμε σε αυτή την πτυχιακή εργασία τα οποία θα αναφέρουμε παρακάτω αναλυτικά και θα δούμε το καθένα ξεχωριστά. Σε κάθε κεφάλαιο υπάρχουν σχήματα, φωτογραφίες και γραφήματα, τα οποία δείχνουν τις διατάξεις, τα κυκλώματα, διάφορες κατανομές και το πώς είναι η κάθε συσκευή την πραγματικότητα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τις υψηλές τάσεις και κυρίως με τα Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων με τον εξοπλισμό τους, τις δοκιμές και την προστασία σε αυτά τα εργαστήρια. Αυτή χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια.

Το 1^ο κεφάλαιο ασχολείται με την παραγωγή υψηλών τάσεων και ρευμάτων. Η παραγωγή συνεχών υψηλών τάσεων γίνεται κυρίως με τις ανορθωτικές διατάξεις με διόδους όπως απλής και διπλής ανόρθωσης. Η παραγωγή υψηλών εναλλασσόμενων τάσεων γίνονται με τους μετασχηματιστές δοκιμής που είναι διαφορετικοί από τους μετασχηματιστές ισχύος. Η παραγωγή υψηλών κρουστικών τάσεων γίνεται με την κρουστική γεννήτρια μιας βαθμίδας και την γεννήτρια Marx. Στην παραγωγή υψηλών κρουστικών ρευμάτων θα δούμε το κρουστικό ρεύμα διπλοεκθετικής μορφής και ορθογωνικής μορφής.

Το 2^ο κεφάλαιο ασχολείται με την μέτρηση υψηλών τάσεων και ρευμάτων. Η μέτρηση συνεχών υψηλών τάσεων γίνεται με ηλεκτροστατικό βολτόμετρο και άλλα. Η μέτρηση υψηλών εναλλασσόμενων τάσεων γίνεται με ηλεκτροστατικό βολτόμετρο και άλλα. Η μέτρηση υψηλών κρουστικών τάσεων γίνεται είτε μέσω καταμεριστών, είτε σφαιρικών διακένων. Η μέτρηση υψηλών ρευμάτων γίνεται με πηνία Rogowski.

Το 3^ο κεφάλαιο ασχολείται με τις διηλεκτρικές δοκιμές που αυτές συνήθως γίνονται στην μόνωση του εξοπλισμού, δείχνουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά για την σωστή λειτουργία του και βρίσκονται η διηλεκτρική σταθερά και ο συντελεστής απωλειών.

Το 4^ο κεφάλαιο ασχολείται με τους κανονισμούς ασφαλείας στα Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων που πρέπει να υπάρχουν για την ασφάλεια των ανθρώπων σε αυτά τα εργαστήρια και αποτρέπουν τον κίνδυνο να βρεθούν κοντά σε αγωγούς με υψηλή τάση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.**ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.**

1.1 Εισαγωγή στην μέτρηση υψηλών τάσεων και ρευμάτων.....	10
1.2 Παραγωγή συνεχών υψηλών τάσεων.....	10
1.2-α Απλή και διπλή ανόρθωση.....	10
1.2-β Άλλες ανορθωτικές διατάξεις.....	12
1.2-γ Διατάξεις διπλασιασμού της τάσης.....	13
1.2-δ πολυβάθμιες ανορθωτικές διατάξεις.....	15
1.2-ε Ηλεκτροστατικές γεννήτριες – Γεννήτριες Van de Graaff.....	18
1.3 Παραγωγή υψηλών εναλλασσόμενων τάσεων.....	21
1.3-α Μετασχηματιστές δοκιμής.....	21
1.3-β Πολυβάθμιοι μετασχηματιστές δοκιμής.....	23
1.4 Παραγωγή υψηλών κρουστικών τάσεων.....	27
1.4-α Κυματομορφές κρουστικών τάσεων και υπερτάσεων.....	27
1.4-β Η κρουστική γεννήτρια μιας βαθμίδας.....	29
1.4-γ Η πολυβάθμια κρουστική γεννήτρια ή γεννήτρια Marx.....	34
1.5 Παραγωγή υψηλών κρουστικών ρευμάτων.....	37
1.5-α Κρουστικό ρεύμα διπλοεκθετικής μορφής.....	38
1.5-β Κρουστικό ρεύμα ορθογωνικής μορφής.....	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.**ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.**

2.1 Εισαγωγή στην μέτρηση των υψηλών τάσεων και ρευμάτων.....	41
2.2 Μετρήσεις συνεχών υψηλών τάσεων.....	41
2.2-α Σφαιρικά διάκενα.....	41
2.2-β Ηλεκτροστατικό βολτόμετρο.....	44
2.2-γ Μέτρηση με ωμικό καταμεριστή τάσης.....	45
2.2-δ Μέτρηση με αμπερόμετρο και αντίσταση εν σειρά.....	46
2.3 Μέτρηση εναλλασσόμενων υψηλών τάσεων.....	47
2.3-α Σφαιρικά διάκενα.....	48
2.3-β Ηλεκτροστατικό βολτόμετρο.....	49
2.3-γ Ωμικοί καταμεριστές.....	50
2.3-δ Μέτρηση με αμπερόμετρο και ωμική αντίσταση εν σειρά.....	51
2.3-ε Μέθοδος Chubb – Fortescue.....	53

2.3-ζ Χωρητικοί καταμεριστές.....	54
2.3-η Μέτρηση μέσω μετασχηματιστών τάσης.....	55
2.3-θ Διάταξη κατά Davis, Bowdler και Starding.....	56
2.4 Μέτρηση υψηλών κρουστικών τάσεων	57
2.4-α Γενικά για τις υψηλές κρουστικές τάσεις.....	57
2.4-β Ατρωσία εξοπλισμού μέτρησης υψηλής τάσης.....	57
2.4-γ Συμπεριφορά καταμεριστών τάσης για μέτρηση κρουστικών τάσεων.....	59
2.4-δ Χωρητικοί καταμεριστές.....	61
2.4-ε Ωμικοί καταμεριστές.....	62
2.4-ζ Μικτοί καταμεριστές ή καταμεριστές τύπου Zaengl.....	64
2.4-η Τα ομοαξονικά καλώδια στο σύστημα μέτρησης κρουστικών τάσεων.....	66
2.5 Μέτρηση υψηλών ρευμάτων.....	68
2.5-α Μετασχηματιστές ρεύματος.....	68
2.5-β Χρήση πηνίων Rogowski.....	69
2.5-γ Αντιστάσεις διακλάδωσης.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.

3.1 Εισαγωγή στις διηλεκτρικές δοκιμές.....	75
3.2 Μερικές εκκενώσεις.....	75
3.3 Μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς και του συντελεστή απωλειών.....	79
3.3.1 Γενικά για την μέτρηση διηλεκτρικής σταθεράς και του συντελεστή απωλειών.....	80
3.3.2 Μέθοδοι μέτρησης.....	82
3.3.3 Μέθοδοι μέτρησης χαμηλής συχνότητας (0 – 10 Hz).....	82
3.3.4 Μέθοδοι μέτρησης βιομηχανικής συχνότητας – Γέφυρα Schering.....	84
3.3.4.α Γέφυρα Schering για γειωμένους πυκνωτές.....	86
3.3.4.β Γέφυρα Schering για υψηλά ρεύματα φόρτισης.....	88
3.3.4.γ Γέφυρα Schering για υψηλούς συντελεστές απωλειών.....	89
3.3.5 Μέθοδοι μέτρησης ακουστικών συχνοτήτων.....	90
3.3.5.α Γέφυρα Schering για ακουστικές συχνότητες από 50 Hz έως 100Hz.....	91
3.3.5.β Γείωση και θωράκιση.....	94
3.3.5.γ Γέφυρες με βραχίονα μεταβλητής σχέσης μετασχηματισμού.....	95
3.4 Πρότυπες διαδικασίες δοκιμών Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων και στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	97
3.4.α διηλεκτρική καταπόνηση – καταπόνηση τάσης.....	98
3.4.β Χαρακτηριστικά μόνωσης.....	98
3.4.γ Τυχαιότητα της εμφάνισης εκκένωσης.....	98
3.4.δ Τύποι μόνωσης.....	99

3.4.ε Τύποι καταπόνησης που χρησιμοποιούνται σε δοκιμές υψηλής τάσης.....	99
3.4.ζ Σφάλματα και εμπιστοσύνη σε αποτελέσματα.....	104
3.4.η Πρότυπες διαδικασίες εργαστηριακών δοκιμών.....	105
3.4.η.1 Μέθοδος δοκιμής πολλαπλών επιπέδων.....	105
3.4.η.2 Μέθοδος αυξομείωσης.....	106
3.4.η.3 Η επεκταμένη μέθοδος αυξομείωσης.....	108
3.4.θ Τυποποιημένες πρότυπες διαδικασίες δοκιμών.....	109
3.4.θ.1 Δοκιμή επιπέδου αντοχής σε κεραυνικούς παλμούς.....	109
3.4.θ.2 Δοκιμή με διακοπτικούς παλμούς.....	110
3.4.ι Δοκιμές σε τάσεις βιομηχανικής συχνότητας.....	110
3.4.κ Κατανομή μετρημένων πιθανοτήτων διάσπασης (εμπιστοσύνη σε μετρημένες P(V)).....	110
3.4.λ Διαστήματα εμπιστοσύνης σε πιθανότητα διάσπασης (για μετρημένες τιμές).....	113
3.4.μ Στάθμιση των μετρημένων πιθανοτήτων διάσπασης.....	116
3.4.μ.1 Αριθμητική προσαρμογή της βέλτιστης κανονικής κατανομής.....	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

4.1 Εισαγωγή στους κανονισμούς ασφαλείας στα Εργαστήρια Υψηλών Τάσεων.....	120
4.2 Είσοδος στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων.....	120
4.3 Περίφραξη – Αποστάσεις ασφαλείας.....	120
4.4 Επέμβαση σε διάταξη – γειώσεις.....	122
4.5 Συνδεσμολογίες.....	123
4.6 Εκτέλεση πειραμάτων.....	124
Βιβλιογραφία.....	125

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.



Σχήμα 1: Μια διάταξη παραγωγής υψηλών τάσεων (από το Εργαστήριο Υψηλών τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου).

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.

Για την παραγωγή υψηλών τάσεων απαιτούνται κάποιες διατάξεις, που λέγονται γεννήτριες υψηλών τάσεων. Οι γεννήτριες υψηλών τάσεων που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια υψηλών τάσεων είναι για δοκιμές σε εξοπλισμό, όπως πυκνωτές, διακόπτες, καλώδια, μετασχηματιστές, απαγωγείς υπερτάσεων, πηνία και άλλα. Αυτές οι δοκιμές δείχνουν την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητα του εξοπλισμού του εργαστηρίου και αν έχουν ληφθεί υπόψη όλοι οι παράμετροι που ενδέχεται να επηρεάσουν την μόνωση του εξοπλισμού. Τα μεγέθη και τα είδη των τάσεων δοκιμής πρέπει να είναι μεγαλύτερα από την τάση λειτουργίας του εξοπλισμού που πρόκειται να δοκιμαστεί και περιγράφονται από διεθνή πρότυπα.

Όταν γίνονται δοκιμές με υψηλές τάσεις η ένταση των ρευμάτων δεν πρέπει να ξεπερνά τα ελάχιστα A για κρουστικές τάσεις δοκιμής και μην είναι πολύ μεγάλη από $1 A$ για τάσεις δοκιμής συνεχείς ή εναλλασσόμενες. Όμως, για δοκιμές σε διακόπτες ή απαγωγείς υπερτάσεων σε συνθήκη βραχυκυκλώματος τα ρεύματα είναι μεγαλύτερα.

Οι υψηλές τάσεις που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια υψηλών τάσεων για δοκιμές είναι:

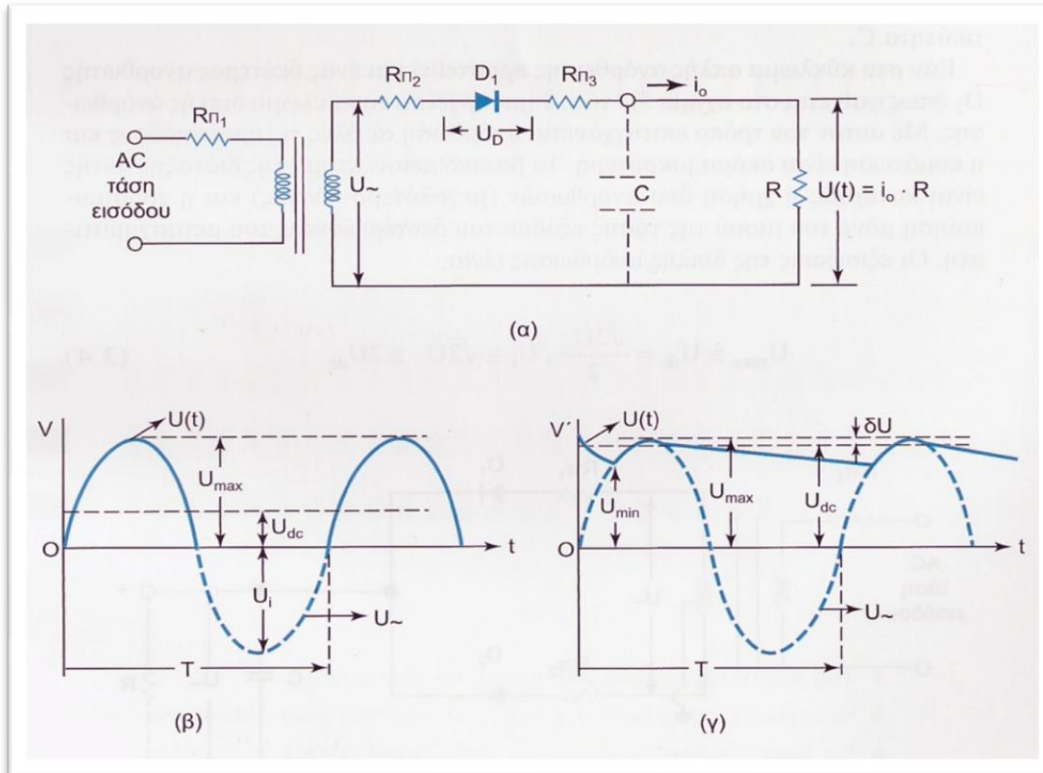
- A) Συνεχείς υψηλές τάσεις, που παράγονται με την ανόρθωση εναλλασσόμενων υψηλών τάσεων.
- B) Εναλλασσόμενες υψηλές τάσεις που τις παίρνουμε από μετασχηματιστές δοκιμής.
- Γ) Κρουστικές υψηλές τάσεις που τις παίρνουμε από γεννήτριες κρουστικών τάσεων.

1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΕΧΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Η παραγωγή υψηλών τάσεων γίνεται κυρίως με τη χρήση ανόρθωσης Εναλλασσόμενων υψηλών τάσεων. Οι ανορθωτικές διατάξεις αποτελούνται από διόδους πυριτίου (si) 2-3kV. Με τη χρήση των ανορθωτών γίνεται ομοιόμορφη κατανομή της τάσης. Για το φτιάξιμο των ανορθωτικών διατάξεων συνδέονται πολλά στοιχεία σε σειρά.

1.2-α ΑΠΛΗ ΚΑΙ ΔΙΠΛΗ ΑΝΟΡΘΩΣΗ.

Οι διατάξεις απλής και διπλής ανόρθωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τάσεις μέχρι και 200 kV. Μια τέτοια διάταξη φαίνεται στο σχήμα 1.Α.α. Η διάταξη αυτή αποτελείται από τον μετασχηματιστή για την ανύψωση της υψηλής τάσης, που στο δευτερεύον υπάρχει ένας ανορθωτής D_1 . Ακόμα, υπάρχει και μια αντίσταση R , η οποία φορτίζεται από τον ανορθωτή D_1 . Στην διάταξη μπορεί να υπάρχει ένας πυκνωτής εξομάλυνσης C παράλληλα με την αντίσταση R . Οι αντιστάσεις $R_{\pi 1}$, $R_{\pi 2}$ και $R_{\pi 3}$ προστατεύουν τη διάταξη από βραχυκύκλωμα.



Σχήμα 1.Α: α) Η διάταξη της απλής ανόρθωσης, β) Η τάση της εξόδου της διάταξης δίχως τον πυκνωτή εξομάλυνσης C και γ) Η τάση της εξόδου της διάταξης με τον πυκνωτή εξομάλυνσης C (οι αντιστάσεις $R_{\pi 2}$, $R_{\pi 1}$ και $R_{\pi 3}$ οι αντιστάσεις που προστατεύουν το κύκλωμα).

Σε περίπτωση που φορτιστεί μονάχα η αντίσταση R όταν λείπει ο πυκνωτής εξομάλυνσης C ο ανορθωτής D1(θεωρείται ιδανικός) άγει αποκλειστικά στην θετική ημιπερίοδο της τάσης, όταν είναι στην αρνητική ημιπερίοδο δεν άγει. Αυτή η περίπτωση φαίνεται στην κυματομορφή του σχήματος 1.Α.β. Η μέση τάση U_{dc} , η ενεργός τάση U_{rms} , η μέγιστη τάση U_{max} και η μέγιστη ανάστροφη τάση U_i συναρτήσει της τάσης εξόδου, στο δευτερεύον του μετασχηματιστή φαίνεται στις σχέσεις:

$$U_{max}=\sqrt{2}U_{\sim}, U_{dc}=\frac{\sqrt{2}U_{\sim}}{\pi}, U_{rms}=\frac{\sqrt{2}U_{\sim}}{T}, U_i=\sqrt{2}U_{\sim} \quad (1-α).$$

Στην περίπτωση που βάλουμε τον πυκνωτή εξομάλυνσης C τότε η τάση εξόδου εξομαλύνεται. Η κυματομορφή αυτής της περίπτωσης φαίνεται στο σχήμα 1.Α.γ. Τότε ο ανορθωτής D1 άγει σε όλη το μήκος μιας περιόδου. Η μέγιστη τάση U_{max} , η ενεργός τάση U_{rms} , η μέση τάση U_{dc} και η μέγιστη ανάστροφη τάση U_i συναρτήσει της τάσης εξόδου, στο δευτερεύον του μετασχηματιστή σε αυτή την περίπτωση φαίνεται στις σχέσεις:

$$U_{max}=\sqrt{2}U_{\sim}, U_{dc}= U_{max}-\delta U, U_{rms}=\frac{\sqrt{2}U_{\sim}}{T}, U_i \cong \sqrt{2}U_{\sim} \quad (1-β).$$

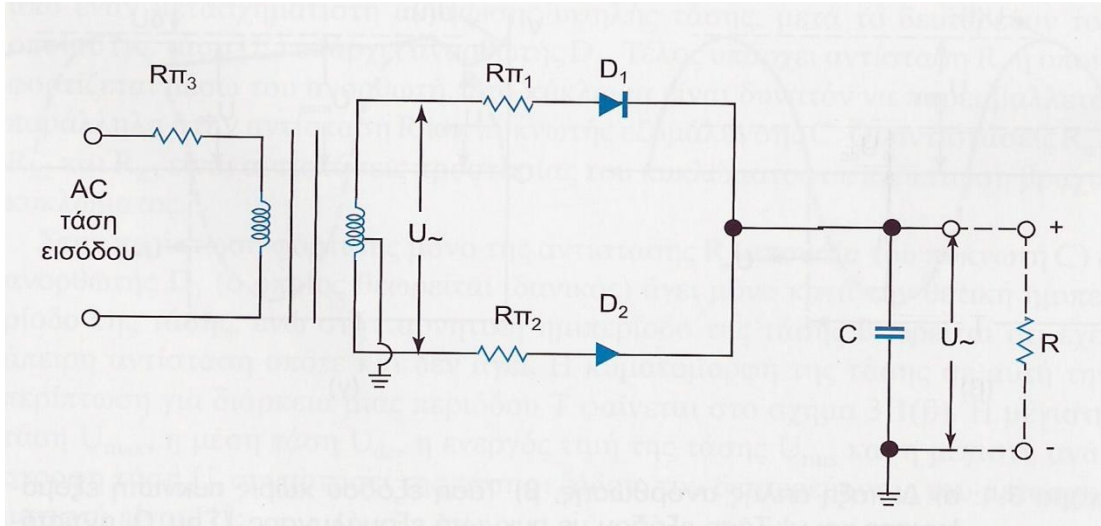
(Οι παραπάνω εξισώσεις είναι για την περίπτωση της απλής ανόρθωσης με πυκνωτή εξομάλυνσης C).

Όπου:

δU : η κυμάτωση, που δίνεται από τη σχέση:

$$\delta U=\frac{I_o}{2fc} \quad (1-γ).$$

Από τη σχέση (1-γ) φαίνεται ότι η κυμάτωση μπορεί να μειωθεί, όταν αυξάνεται την χωρητικότητα πυκνωτή εξομάλυνσης C, ή όταν αυξάνεται η συχνότητα του εναλλασσομένου ρεύματος.



Σχήμα 1.Β: Η διάταξη της διπλής ανόρθωσης (οι αντιστάσεις $R_{\pi 2}$, $R_{\pi 1}$ και $R_{\pi 3}$ οι αντιστάσεις που προστατεύουν το κύκλωμα).

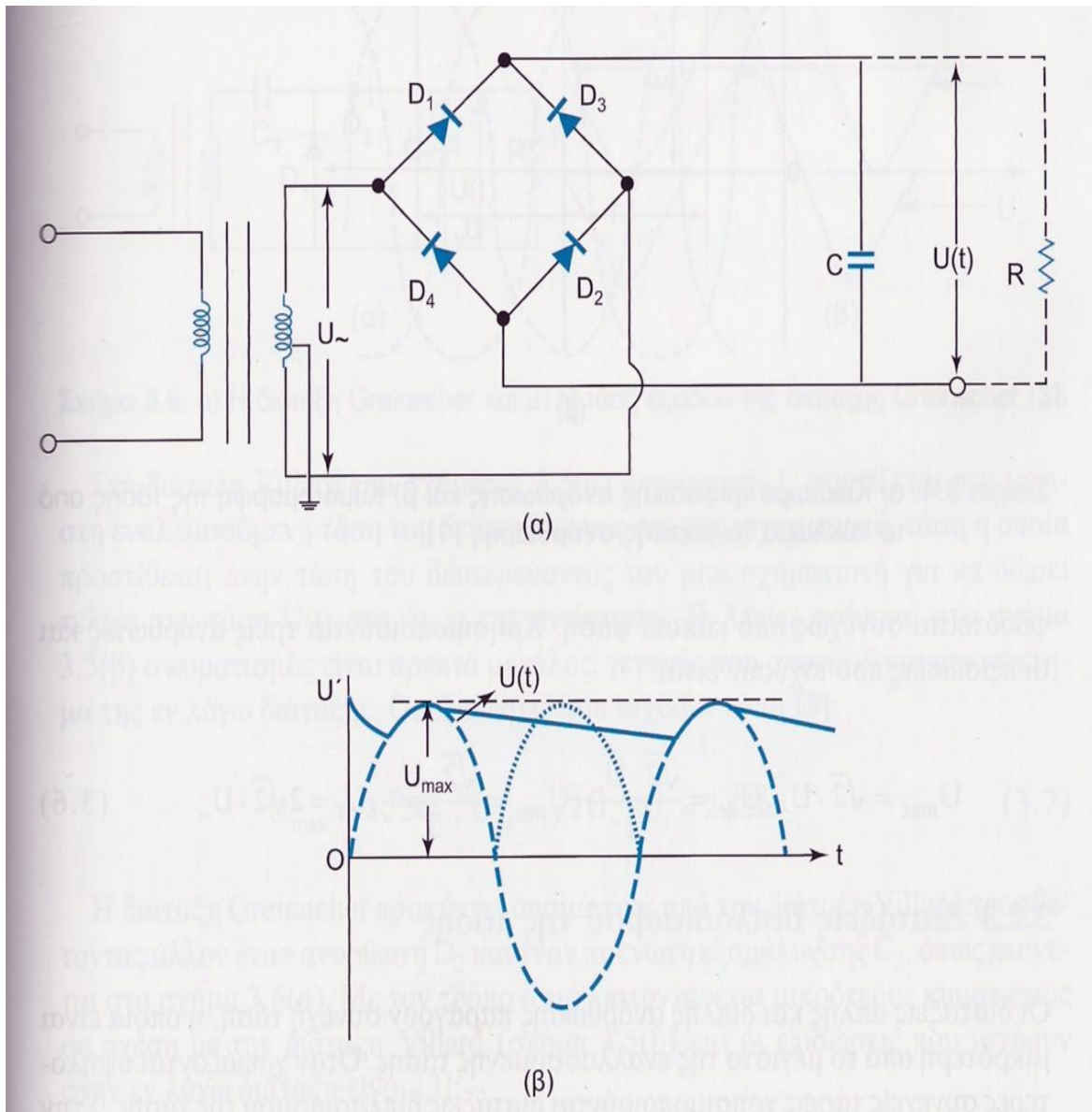
Εάν στη διάταξη απλής ανόρθωσης βάλουμε και ένα δεύτερο ανορθωτή D2, τότε δημιουργείται το κύκλωμα διπλής ανόρθωσης, το οποίο δείχνεται στο σχήμα 1.Β . Με το κύκλωμα διπλής ανόρθωσης γίνεται ανόρθωση σε όλες τις υποπεριόδους και η κυμάτωση γίνεται μικρότερη. Το πιο βασικά μειονεκτήματα της είναι ότι παίρνουμε μονάχα το μισό της τάσης εξόδου του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή και ότι με τη χρήση δύο ανορθωτών υπάρχει υψηλότερο κόστος. . Η μέγιστη τάση U_{max} , η ενεργός τάση U_{rms} , η μέση τάση U_{dc} και η μέγιστη ανάστροφη τάση U_i συναρτήσει της τάσης εξόδου, στο δευτερεύον του μετασχηματιστή σε αυτή την περίπτωση φαίνεται στις σχέσεις:

$$U_{max} = U_{dc} = \frac{\sqrt{2}U_{\sim}}{2}, \quad U_i = \sqrt{2}U_{\sim} \cong 2 U_{dc} \quad (1-\delta).$$

1.2-β ΆΛΛΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.

Εκτός από την απλή και διπλή ανόρθωση υπάρχουν και άλλες μονοβάθμιες διατάξεις για να παράγουμε υψηλές τάσεις. Η πιο συνηθισμένη είναι η γέφυρα Graetz, που υφίσταται μεσαία λήψη. Η γέφυρα Graetz δείχνεται στο σχήμα 1.Γ. Η μέγιστη τάση U_{max} και η μέγιστη ανάστροφη τάση U_i δίνονται από τις σχέσεις:

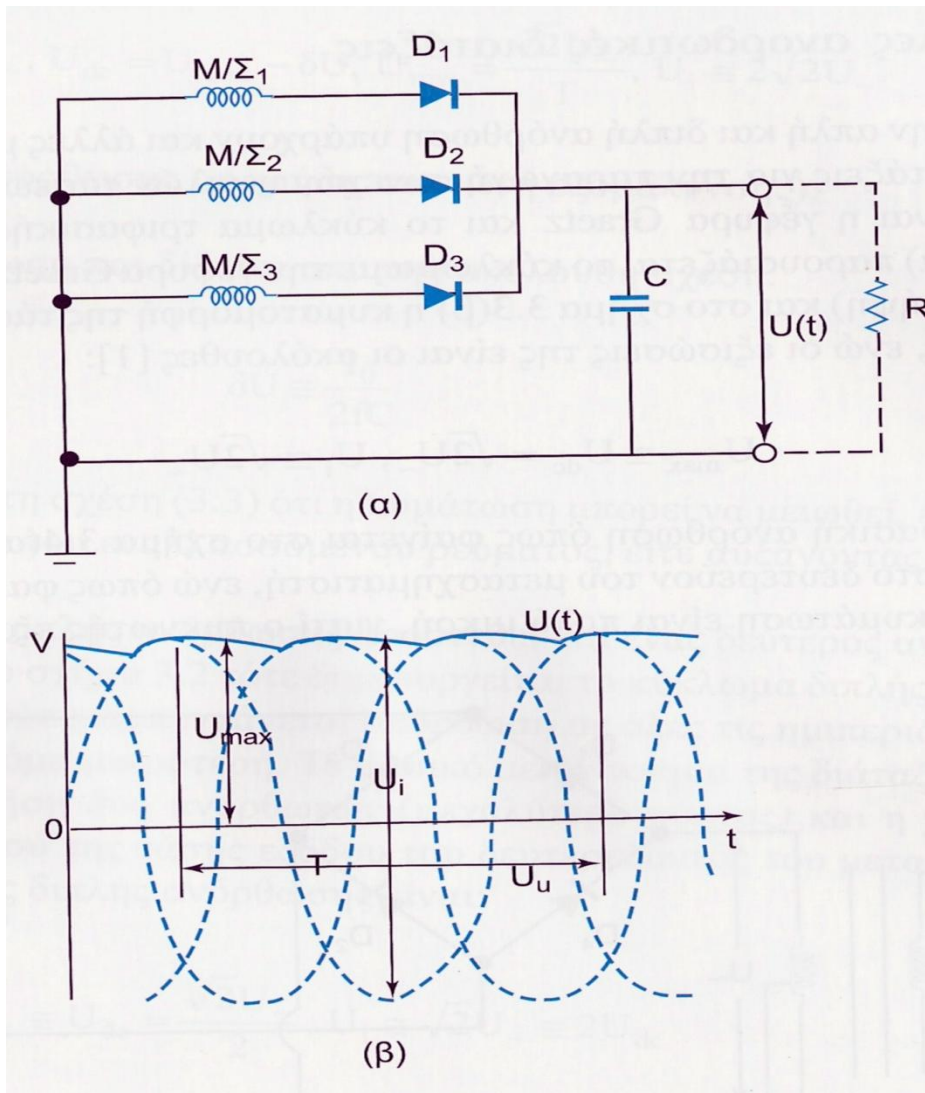
$$U_{max} = U_{dc} = \sqrt{2}U_{\sim}, \quad U_i \cong \sqrt{2}U_{\sim} \quad (1-\epsilon).$$



Σχήμα 1.Γ: α) Το κύκλωμα της γέφυρας Graetz και β) Η κυματομορφή της τάσης στην έξοδο της γέφυρας Graetz.

Όταν υπάρχει τριφασική ανόρθωση (το κύκλωμα της οποίας δείχνεται στο σχήμα 1.Δ.α) δίνεται όλη η τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, ενώ η κυμάτωση γίνεται πολύ μικρότερη (η οποία δείχνεται στο σχήμα 1.Δ.β), επειδή ο πυκνωτής εξομάλυνσης C τροφοδοτείται μόνιμα από κάποια φάση. Η μέγιστη τάση U_{max} , η μέση τάση U_{dc} η μέγιστη ανάστροφη τάση U_i και η ενεργός τάση U_{rms} δίνονται από τις σχέσεις:

$$U_{max} = \sqrt{2}U_{\sim}, \quad U_{dc} = \frac{\sqrt{2}U_{\sim}}{\pi}, \quad U_{rms} = \frac{\sqrt{2}U_{\sim}}{T}, \quad U_i = 2\sqrt{2}U_{\sim} \quad (1-\sigma\tau).$$



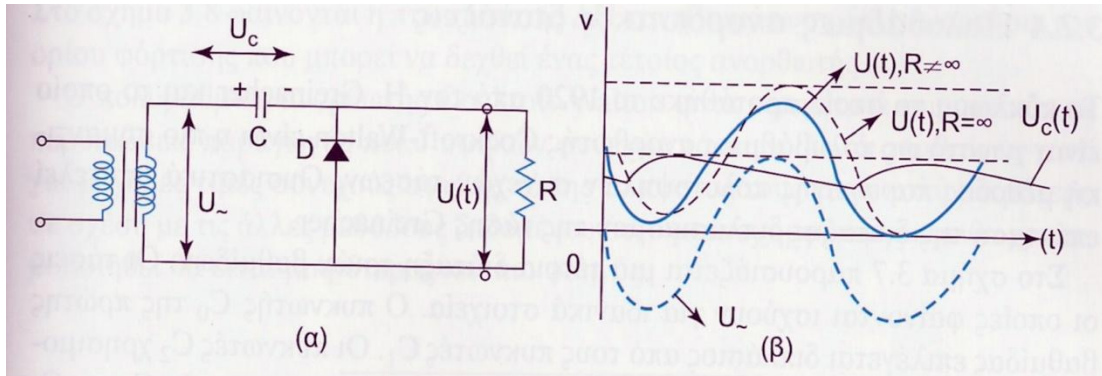
Σχήμα 1.1: α) Το κύκλωμα της τριφασικής ανόρθωσης και β) Η κυματομορφή της τάσης της εξόδου από το παραπάνω κύκλωμα.

1.2-γ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ.

Η συνεχή τάση που παράγουν οι διατάξεις απλής και διπλής ανόρθωσης είναι μικρότερη από το μέγιστο της εναλλασσόμενης τάσης. Άμα όμως χρειαζόμαστε μεγαλύτερες συνεχείς τάσεις χρησιμοποιούμε διατάξεις διπλασιασμού της τάσης. Υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις, η Villard και η Greinacher, οι οποίες δείχνονται στο σχήμα 1.Ε και στο σχήμα 1.Ζ.

Η διάταξη Villard φαίνεται στο σχήμα.1.Ε.α. Σε αυτή τη διάταξη ο πυκνωτής C φορτίζεται με την μέγιστη εναλλασσόμενη τάση του μετασχηματιστή από το δευτερεύον του, η οποία τάση προστίθεται με την τάση που έχει το δευτερεύον του μετασχηματιστή για πάρουμε στο τέλος την τάση $U(t)$ στα άκρα της αντίστασης R. Επίσης, Σε αυτή τη διάταξη ο κυματισμός, ο οποίος δείχνεται στο σχήμα 1.Ε.β, είναι εξαιρετικά μεγάλος, που αυτό είναι μειονέκτημα της διάταξης. Η μέγιστη τάση U_{max} , η μέση τάση U_{dc} , και η μέγιστη ανάστροφη τάση U_i της διάταξης δίνονται από τις σχέσεις:

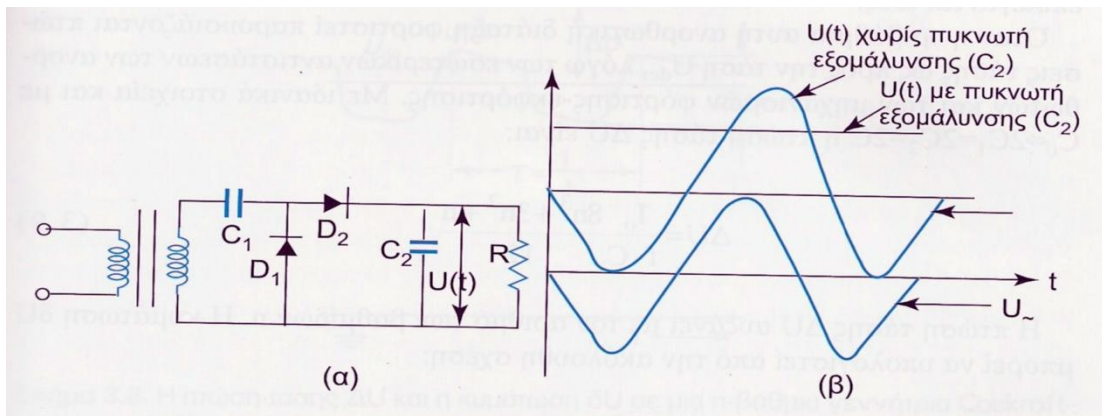
$$U_{max}=2\sqrt{2}U_{\sim}, U_{dc}=\sqrt{2}U_{\sim}, U_i= 2\sqrt{2}U_{\sim} \quad (1-\zeta).$$



Σχήμα 1.E: α) Η διάταξη Villard και β) η κυματομορφή της τάσης της εξόδου της διάταξης.

Η διάταξη Greinacher φαίνεται στο σχήμα 1.Z.α. Αυτή η διάταξη απορρέει από τη διάταξη Villard βάζοντας της έναν ανορθωτή D2 και ένα πυκνωτή εξομάλυνσης C, που με αυτά επιτυχαίνουμε μικρότερο κυματισμό ο οποίος δείχνεται στο σχήμα 1.Z.β. Η μέγιστη τάση U_{max} και η μέγιστη ανάστροφη τάση U_i της διάταξης δίνονται από τις σχέσεις:

$$U_{max}=U_{dc} = 2\sqrt{2}U_{\sim}, U_i = 2\sqrt{2}U_{\sim} \quad (1-\eta).$$



Σχήμα 1.Z: α) Η διάταξη Greinacher και β) Η κυματομορφή της τάσης της εξόδου της διάταξης.

1.2-δ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.

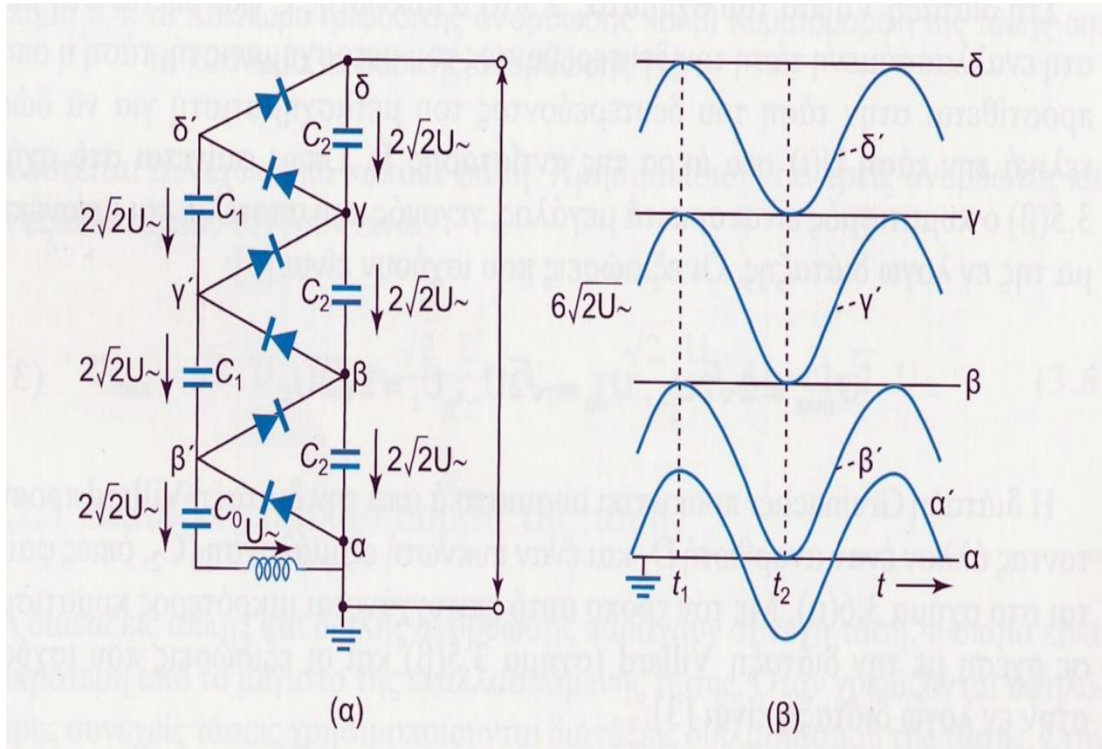
Ένα από τα πιο βασικά κυκλώματα είναι ο πολυβάθμιος ανορθωτής Cockroft-Walton, που παράγει εξαιρετικά υψηλές τάσεις και αποτελεί την εξάπλωση της διάταξης Greinacher.

Μια διάταξη τριών βαθμίδων φαίνεται στο σχήμα 1.H, ενώ στο σχήμα 1.Θ1 φαίνεται απεικονίζεται μια γεννήτρια Cockroft-Walton. Οι τάσεις είναι για ιδανικά στοιχεία. Στην πρώτη βαθμίδα ο πυκνωτής C0 επιλέγεται να είναι διπλάσιος από τους πυκνωτές C1. Ο C2 είναι πυκνωτής εξομάλυνσης. Κατά κανόνα οι των πυκνωτών C1 και C2 επιλέγονται ίδιες. Ενώ αυτή η διάταξη φορτιστεί παρουσιάζονται πτώσεις τάσεων ως προς την U_{dc} , εξαιτίας των εσωτερικών αντιστάσεων στους μηχανισμούς φόρτισης-εκφόρτισης και στους ανορθωτές. Η πτώση τάσης με ιδανικά στοιχεία και με $C0=2C1=2C2=1C$ είναι:

$$\Delta U = \frac{I_0}{fC} \frac{8n^3 + n^2 + n}{12} \quad (1-\theta).$$

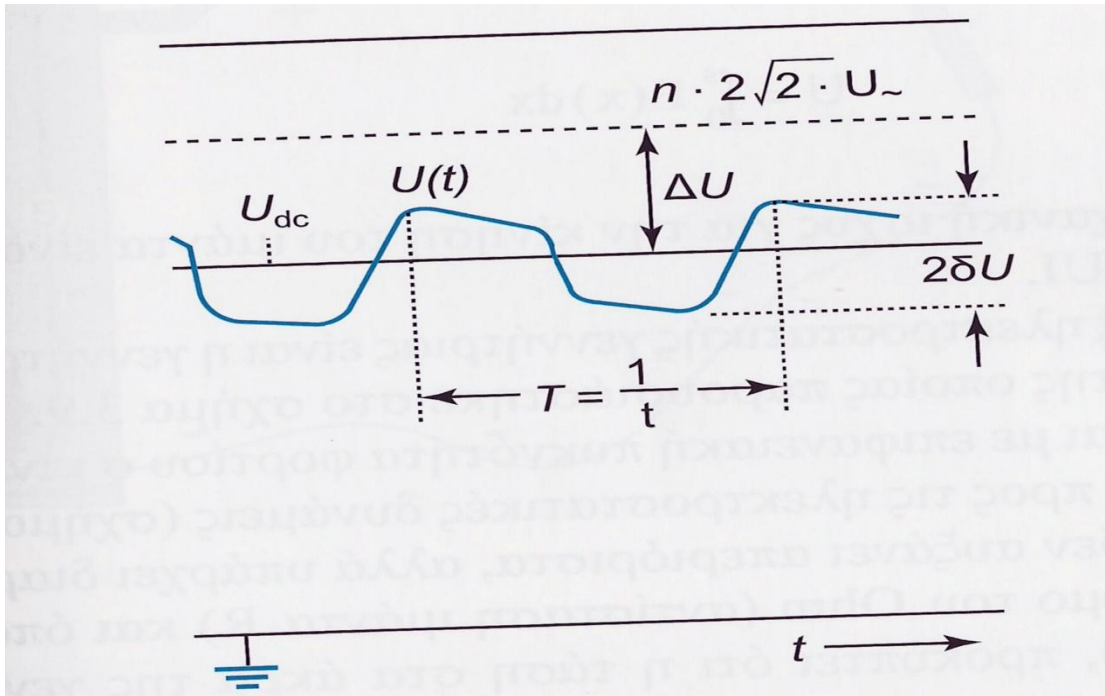
Η πτώση τάσης μεγαλώνει με τον βαθμό των βαθμίδων n . Η κυμάτωση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta U = \frac{I_0 n(n+1)}{fC} \quad (1-i).$$

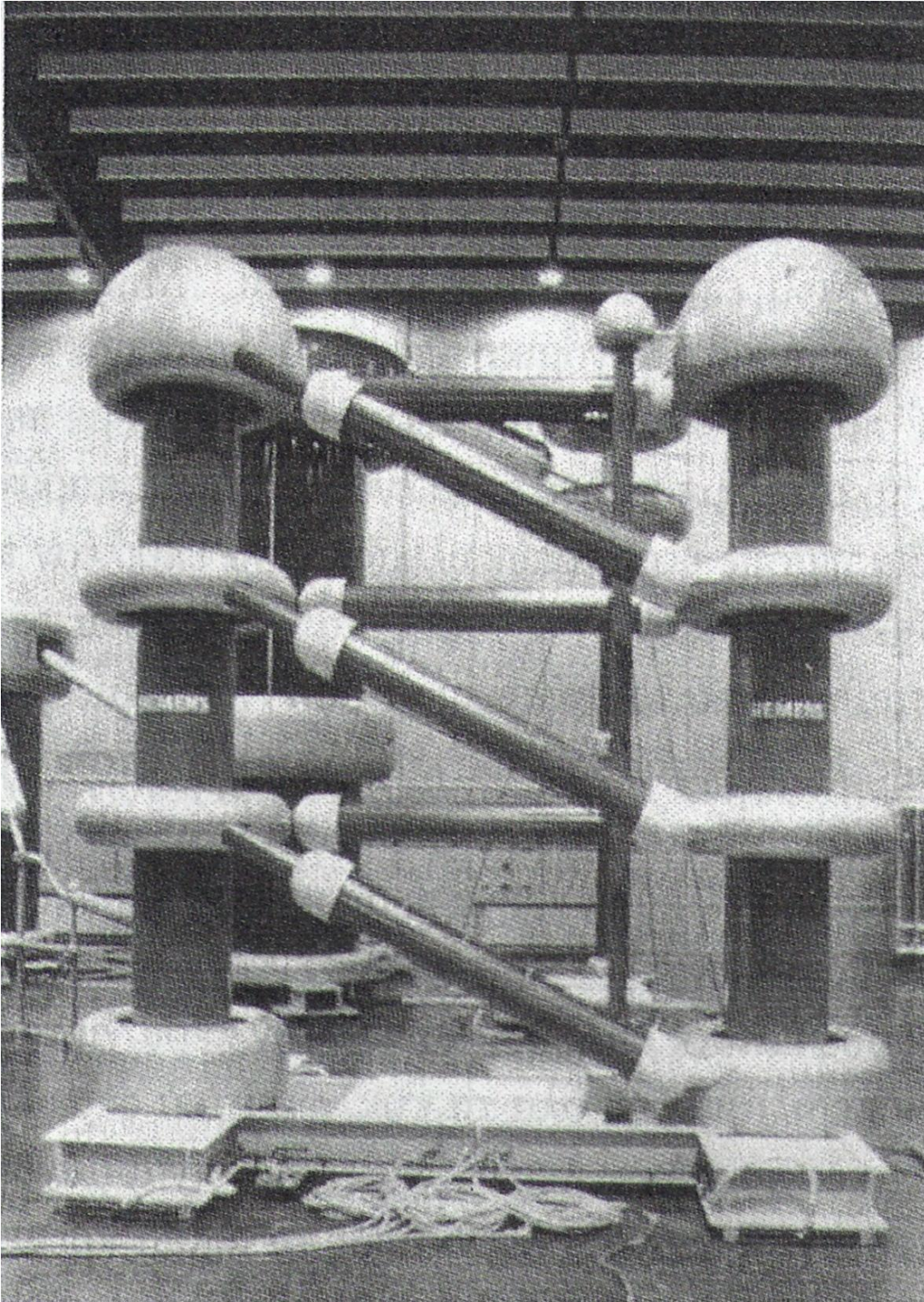


Σχήμα 1.Η: α) Η τριβάθμια ανορθωτική διάταξη Cockroft – Walton και β) Οι ιδανικές τάσεις της εξόδου χωρίς φορτίο.

Η πτώση τάσης και η κυμάτωση συναρτήσει του ορίου φόρτισης που είναι δυνατόν να δεχθεί ένας όμοιος ανορθωτής δίνεται στο σχήμα 1.Θ. Ακόμα, αυτός ο ανορθωτής είναι πολύ αξιόλογος για περιπτώσεις παραγωγής εξαιρετικά υψηλών τάσεων και αυτό γίνεται, επειδή για μεγάλες τιμές τάσης η αξία τους είναι πολύ μικρότερη σε αναλογία με άλλες μεθόδους δεδομένου ότι θα είναι μικρότερος και φτηνότερος ο μετασχηματιστής.



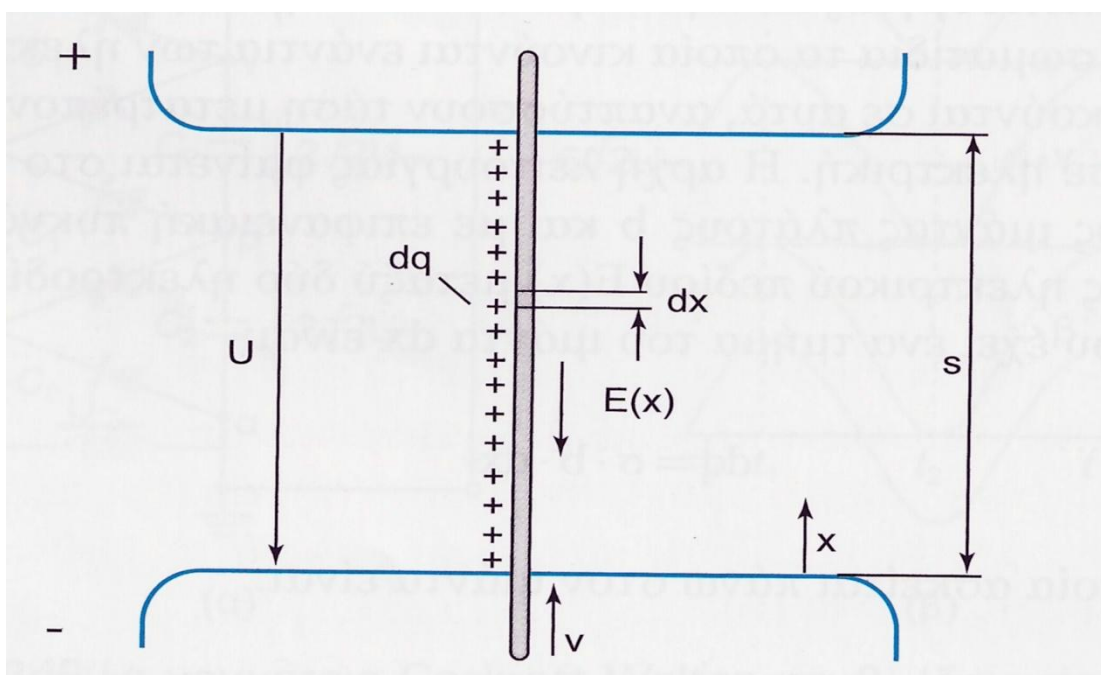
Σχήμα 1.Θ: Η κυμάτωση δU και η πτώση τάσης ΔU σε μια n -βάθμια ανορθωτική διάταξη Cockroft – Walton.



Σχήμα 1.01: Μια γεννήτρια Cockcroft-Walton για τάσεις ίσαμε 900 kV/10 mA με γρήγορη αντιστροφή πολικότητας που βρίσκεται στην ΕΤΗ Ζυρίχης (αυτή η γεννήτρια είναι ευγενική προσφορά του HIGH - VOLT, Δρέσδη, Γερμανία).

1.2-ε ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ- ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ VAN DE GRAEFF.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι ότι ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια που κινούνται εναντίον στις ηλεκτροστατικές δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά, αναπτύσσουν τάση μετατρέποντας την κινητική σε ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 1.1: Η αρχή λειτουργίας της ηλεκτροστατικής γεννήτριας.

Στο σχήμα 1.1 (αρχή λειτουργίας της ηλεκτροστατικής γεννήτριας) φαίνεται ένας μονωμένος μίαντας με επιφανειακή πυκνότητα φορτίου σ και με πλάτος b είναι μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο $E(x)$ ανάμεσα από δύο ηλεκτρόδια σε απόσταση s . Το φορτίο που είναι σε περιοχή του μίαντα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$dq = \sigma * b * dx \quad (1-k).$$

Η δύναμη που ασκείται στον μίαντα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F = \int_0^x dF = \int_0^x E(x) dq = \sigma * b \int_0^x E(x) dx \quad (1-l).$$

Αν ο μίαντας κινείται με σταθερή ταχύτητα ενάντια αυτής της δύναμης άρα η μηχανική δύναμη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = F * v = \sigma * b * v \int_0^x E(x) dx \quad (1-μ).$$

$$E\varphi' \text{ όσον: } I = \frac{dq}{dt} = \sigma * b * v \quad (1-v).$$

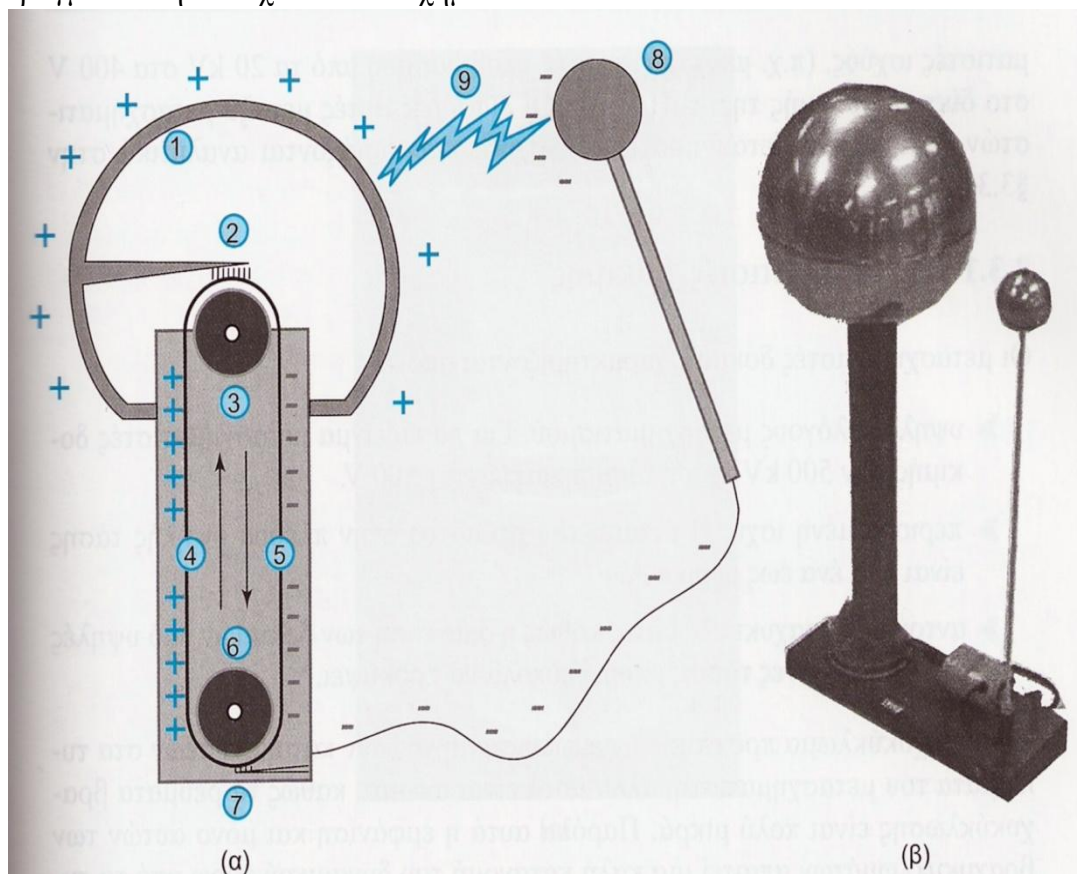
$$U = \int_0^x E(x) dx \quad (1-ξ).$$

Απορρέει ότι η μηχανική ισχύς για την κίνηση του μίαντα είναι ίση με την ηλεκτρική ισχύ εξόδου.

Η αρχή λειτουργίας της γεννήτριας Van de Graaff την περιγράψαμε πριν, με ακόμα ότι η τάση στα άκρα του ιμάντα δεν αυξάνει απεριόριστα, αλλά υφίσταται διαρροή ως προς τη γη και προκύπτει η σχέση:

$$U=IR= \sigma * b * v * R \quad (1-0).$$

Στις μέρες μας υπάρχουν γεννήτριες που μπορούν να δώσουν τάσεις ίσα με 25MW με ρεύματα λιγότερα από 1mA και χρησιμοποιούν ως διηλεκτρικό ή SF₆ ή πεπιεσμένο αέρα για να επιτυγχάνονται υψηλότερες τάσεις. Μια γεννήτρια Van de Graaff όπως είναι στην πραγματικότητα δείχνεται στο σχήμα 1.Κ.



Σχήμα 1.Κ: α) Η γεννήτρια Van de Graaff εσωτερικά και β) Η γεννήτρια Van de Graaff όπως είναι στην πραγματικότητα.

Για το σχήμα 1.Κ.α οι αριθμοί σε κύκλο δείχνουν τα εξής:

1 → Το ηλεκτρόδιο της υψηλής τάσης.

2 → Η ακίδα εκφόρτισης.

3 → Η πάνω τροχαλία.

4 → Το μέρος του ιμάντα με το θετικό φορτίο.

5 → Το μέρος του ιμάντα με το αρνητικό φορτίο.

6 → Η κάτω τροχαλία.

7 → Το ηλεκτρόδιο γείωσης.

8 → Η μεταλλική σφαίρα με το αρνητικό φορτίο για την εκφόρτιση του ηλεκτρόδιου της υψηλής τάσης.

9 → Το ηλεκτρικό τόξο.

1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

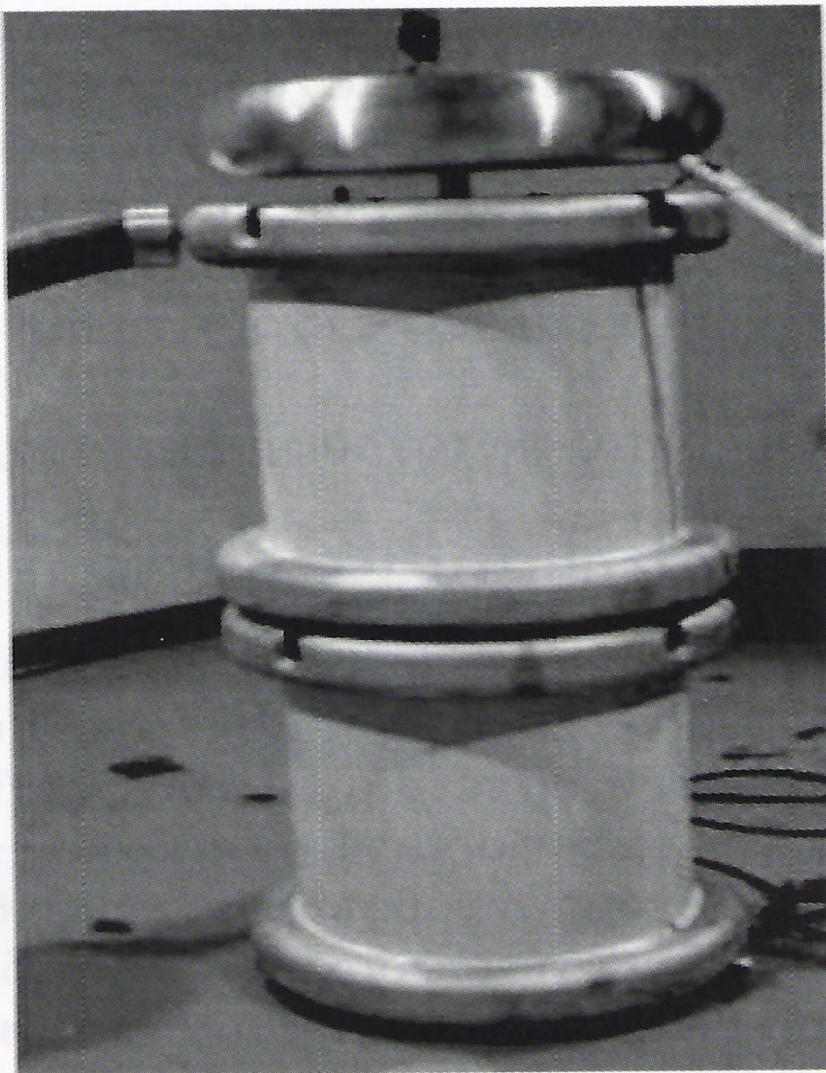
Οι υψηλές εναλλασσόμενες τάσεις είναι σημαντικές στην επιστήμη των υψηλών τάσεων, επειδή είναι απαραίτητες για την παραγωγή υψηλών εναλλασσόμενων τάσεων αλλά και για την παραγωγή υψηλών κρουστικών τάσεων και υψηλών συνεχών τάσεων. Αυτές, παράγονται από τους μετασχηματιστές δοκιμής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για δοκιμές σε εργαστήρια και είναι διαφορετικοί από τους μετασχηματιστές ισχύος.

1.3-α ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.

Οι μετασχηματιστές δοκιμής έχουν τα εξής:

- 1) Πολύ μεγάλους λόγους μετασχηματισμού.
- 2) Περιορισμένη ισχύ, επειδή η ένταση του ρεύματος στην μεριά της υψηλής τάσης είναι από 1 έως λίγα Α.
- 3) Αντοχή σε βραχυκύκλωμα, ενώ η διάσπαση των δοκιμίων στις υψηλές εναλλασσόμενες τάσεις ενδέχεται ευχερώς να προκύψει.

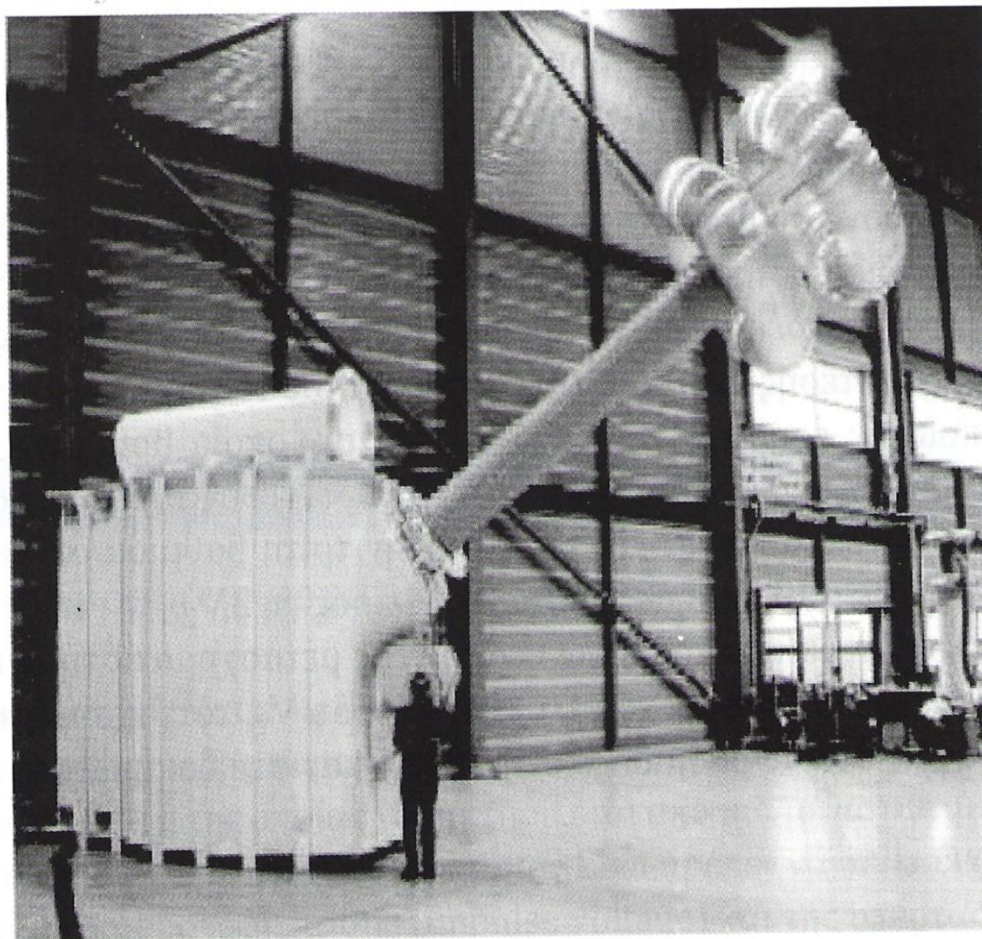
Οι μετασχηματιστές δοκιμής δείχνονται στα σχήματα 1.Α και 1.Μ.



Σχήμα 1.Α: Ο διβάθμιος μετασχηματιστής δοκιμών 200kV.

Ένα βραχυκύκλωμα προκαλεί την φανέρωση μηχανικών καταπονήσεων στα τυλίγματα του μετασχηματιστή, όμως αυτά είναι ανεκτά, ενώ τα ρεύματα βραχυκύκλωσης είναι εξαιρετικά μικρά. Παρόλα αυτά η παρουσίαση και μονάχα αυτών των βραχυκυκλωμάτων απαιτεί ένα καλό καταμερισμό της τάσης στα τυλίγματα για να αποτραπούν οι καταπονήσεις, που ενδέχεται να δεχτούν κατά την διάρκεια των μεταβατικών φαινομένων. Για το λόγο αυτό ο μετασχηματιστής δοκιμής παρουσιάζει ενισχυμένη μόνωση λόγω της οποίας παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά. Ακόμα, έχει μια αλληλουχία με τους μετασχηματιστές ισχύος. Οι διαφορές τους σε σχέση με τους μετασχηματιστές ισχύος είναι ότι:

- I. Είναι κατά κανόνα μονοφασικοί
- II. Έχουν μικρή ονομαστική ισχύ
- III. Ο πυρήνας τους έχει σχετικώς μεγαλύτερη διατομή για να περιορίζεται η μαγνητική επαγωγή που περνά από αυτόν, συνεπώς να μην αλλάζει η τάση εξαιτίας αρμόνικων
- IV. Οι μετασχηματιστές δοκιμής χρησιμοποιούνται για δοκιμές, ενώ οι μετασχηματιστές ισχύος χρησιμοποιούνται συνέχεια.
- V. Η μόνωση τους είναι φτιαγμένη να αντέχει τη μέγιστη τάση λειτουργίας και αυτό επειδή δεν υπάρχουν οι καταπονήσεις των μετασχηματιστών ισχύος
- VI. Η τάση στην έξοδο του μετασχηματιστή δοκιμής είναι δυνατόν να μεταβάλλεται από το μηδέν έως την μεγαλύτερη τιμή της, ενώ στους μετασχηματιστές ισχύος είναι σταθερή.

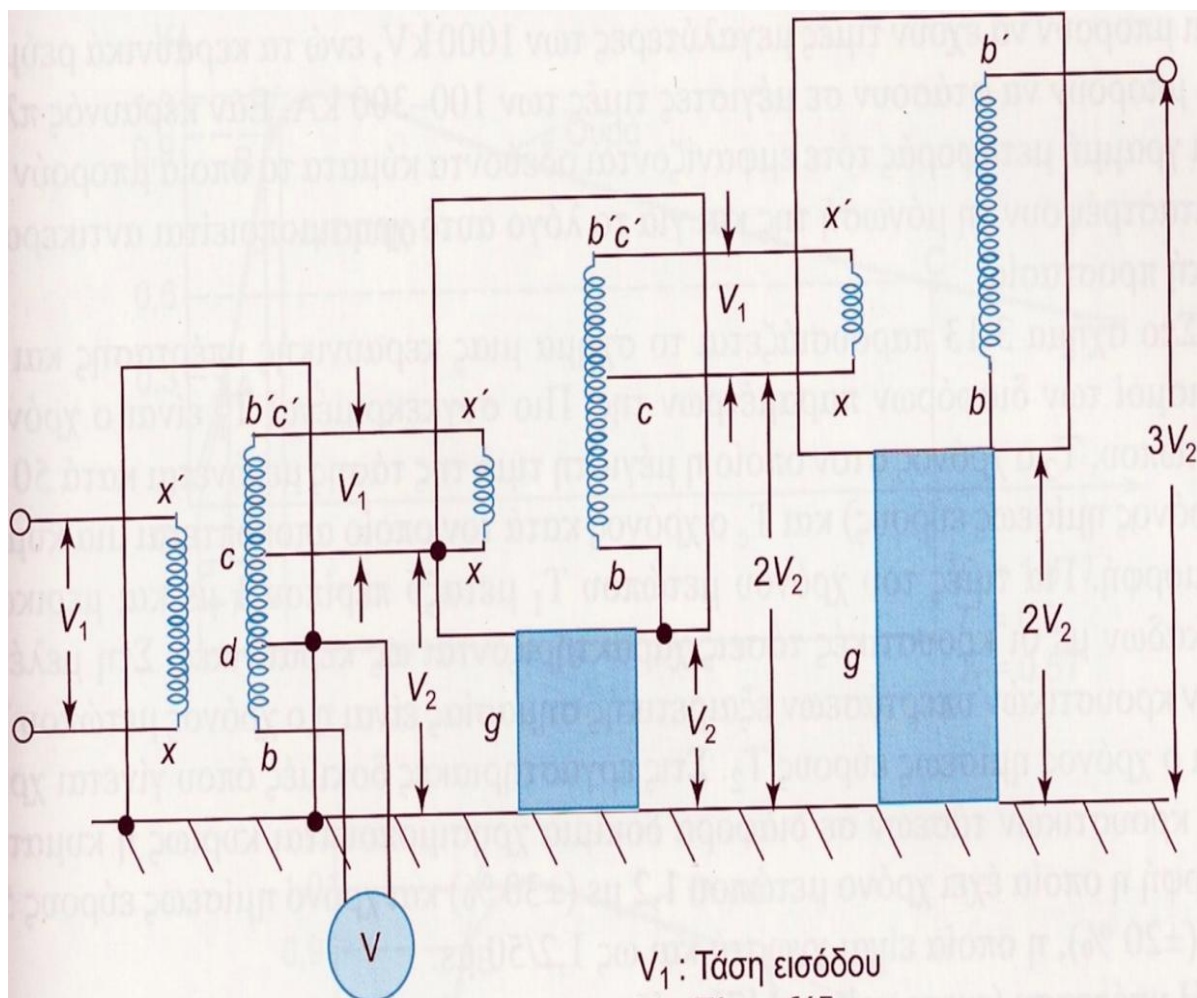


Σχήμα 1.Μ: Ο μετασχηματιστής δοκιμών ελαίου 2100 kV, 750 kV.

Επιπλέον, ανάλογα πως μονώνονται τα τυλίγματα τους, ταξινομούνται σε ελαίου και σε αέρος. Οι μετασχηματιστές ελαίου έχουν τα τυλίγματα τους μέσα σε μεταλλικό κουτί, έχουν μονωτήρες διέλευσης και έχουν τη δυνατότητα απαγωγής της θερμότητας. Οι μετασχηματιστές αέρος έχουν μικρό βάρος, δεν υπάρχουν μονωτήρες διέλευσης, έχουν ροή σκέδασης εξαιτίας μεγάλων διαστάσεων και μεγάλη ευαισθησία στη υγρασία και τη σκόνη.

1.3-β ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.

Χρησιμοποιούνται όταν οι τάσεις δοκιμής είναι πιο μεγάλες από 300kV, εκεί που δεν φτάνει ένας μόνο μετασχηματιστής δοκιμής, το φτιάξιμο του είναι δαπανηρό και δύσκολο και η μεταφορά του είναι αρκετά δύσκολη λόγω του εξαιρετικά μεγάλου του βάρους. Οι πολυβάθμιοι μετασχηματιστές δοκιμής είναι συνδεδεμένοι σε βαθμίδες. Στο σχήματα 1.N1, 1.N2 και 1.N3 απεικονίζονται κάποιοι πολυβάθμιοι μετασχηματιστές δοκιμών. Από το σχήμα 1.N φαίνεται ότι ο 1^{ος} μετασχηματιστής είναι γειωμένος και ότι σε κάθε μετασχηματιστή και στις τρεις βαθμίδες υπάρχουν τρία τυλίγματα, που είναι το δευτερεύον, το πρωτεύον και το τύλιγμα διέγερσης. Το τύλιγμα διέγερσης έχει τις ίδιες σπείρες με το πρωτεύον. Η 2^η βαθμίδα είναι μονωμένη και συνίσταται σε τάση V2, που είναι η τάση της εξόδου ως προς τη γη της 1^{ης} βαθμίδας. Το πρωτεύον του μετασχηματιστή της 2^{ης} βαθμίδας παίρνει ρεύμα από το τύλιγμα διέγερσης της 1^{ης} βαθμίδας με τάση V1. Το τύλιγμα διέγερσης της 1^{ης} βαθμίδας συνδέεται με το πρωτεύον της 2^{ης} βαθμίδας, όποτε το δευτερεύον 2^{ης} βαθμίδας έχει στα άκρα του τάση V2 ως προς τη μόνωση του, που αν σε αυτή προστεθεί η V2, που είναι εκεί η 2^η βαθμίδα ως προς τη γη απορρέει τελικώς ότι το δευτερεύον έχει τάση ως προς τη γη 2V2. Τα ίδια γίνονται και στην 3^η βαθμίδα.

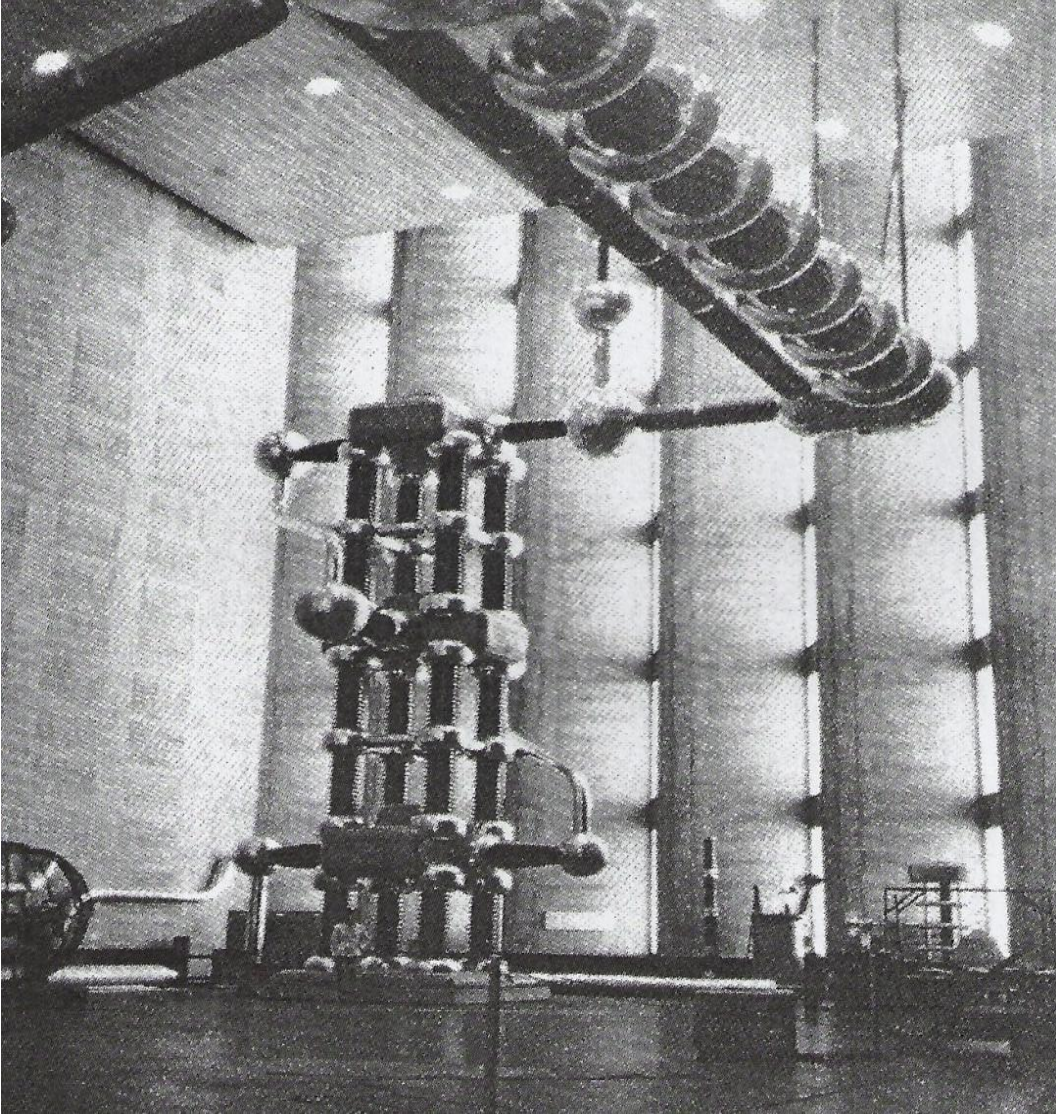


Σχήμα 1.N: Ο μετασχηματιστής δοκιμών τριών βαθμίδων.

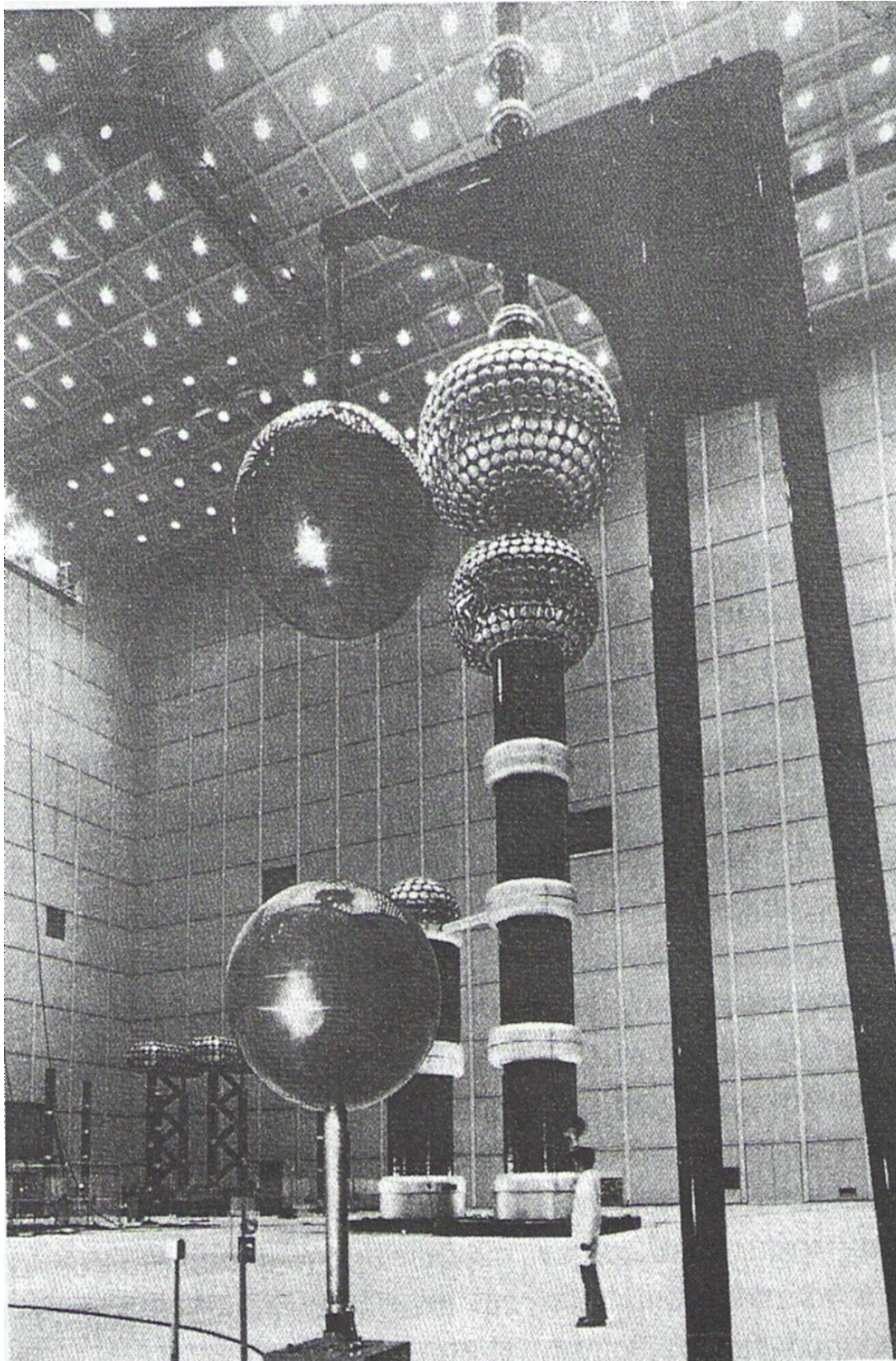
Τελικά συνεπώς με τα ανωτέρω θεωρώντας μετασχηματιστές δοκιμής με n βαθμίδες με την κάθε βαθμίδα να έχει τάση V_2 , άρα η τελική τάση V στα άκρα της τελευταίας βαθμίδας ως προς τη γη είναι:

$$V = n \cdot V_2 \quad (1-\pi).$$

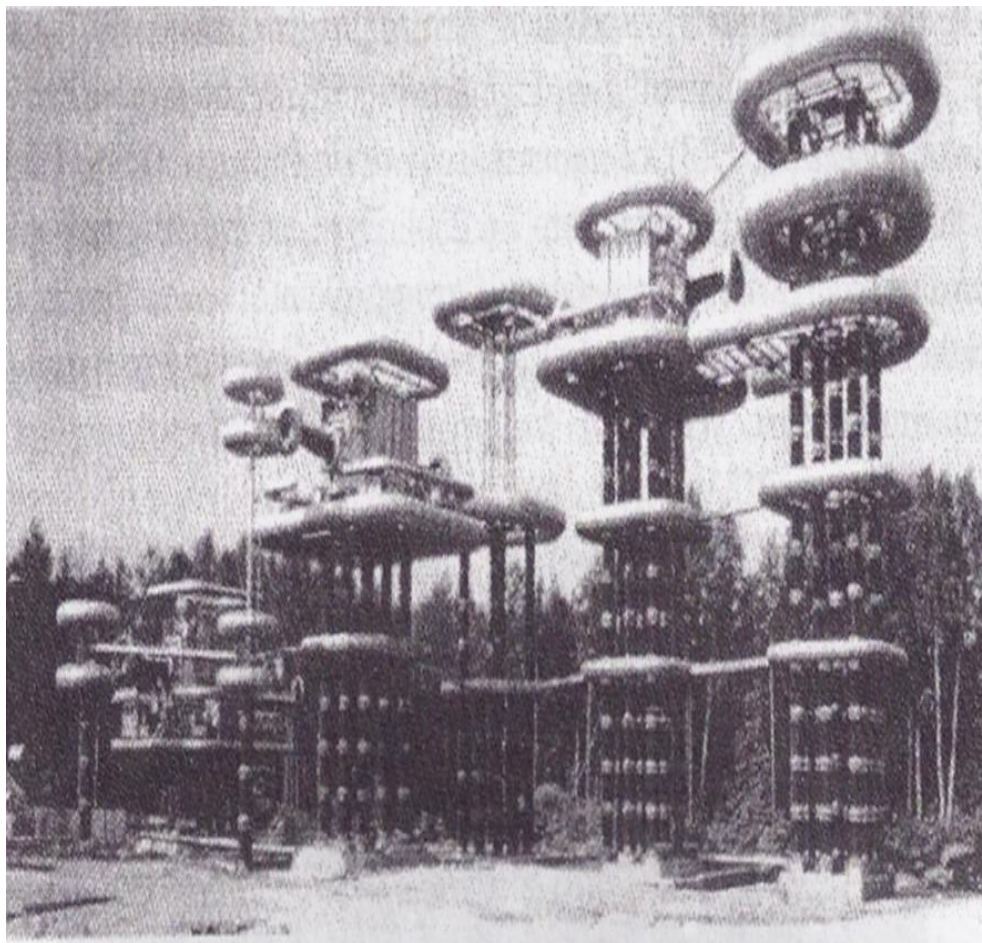
Η τροφοδοσία του γίνεται με αυτομετασχηματιστή, ο οποίος δίνει ρεύμα στο πρωτεύον της 1^{ης} βαθμίδας. Το πρωτεύον παίρνει τάση 230V ή 400V για ισχύς έως 100KVA. Ενώ για μεγαλύτερη ισχύς το πρωτεύον είναι δυνατόν να έχει τάσεις 3,3KV, 6,6KV ή 11 KV.



Σχήμα 1.N1: Ο μετασχηματιστής δοκιμών που είναι για 1200 kV rms περιλαμβάνοντας τρεις μετασχηματιστές μονής βαθμίδας, με μεταλλικούς ταμιευτήρες και μονωτήρες διέλευσης ο οποίος βρίσκεται στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο Μονάχου, Γερμανία (Σημείωση: Αναρτημένος στην οροφή και συνδεδεμένος με τον μετασχηματιστή είναι ένας ανορθωτής τύπου σεληνίου με μια τάση ανάστροφης πόλωσης των 3,4 MV).



Σχήμα 1.N2 : Οι πολυβάθμιοι μετασηματιστές δοκιμών με δομή μονωτικού κελύφους (αυτό είναι ευγενική προσφορά του IREQ, Καναδάς).



Σχήμα 1.N3: Πολυβάθμιοι μετασχηματιστές δοκιμών με μεταλλικούς ταμιευτήρες και ψύκτες. Με συνολική τάση 3000 kV, 4A (Αυτός είναι ευγενική προσφορά του HIGH - VOLT, Δρέσδη, Γερμανία).

1.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΨΗΛΩΝ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

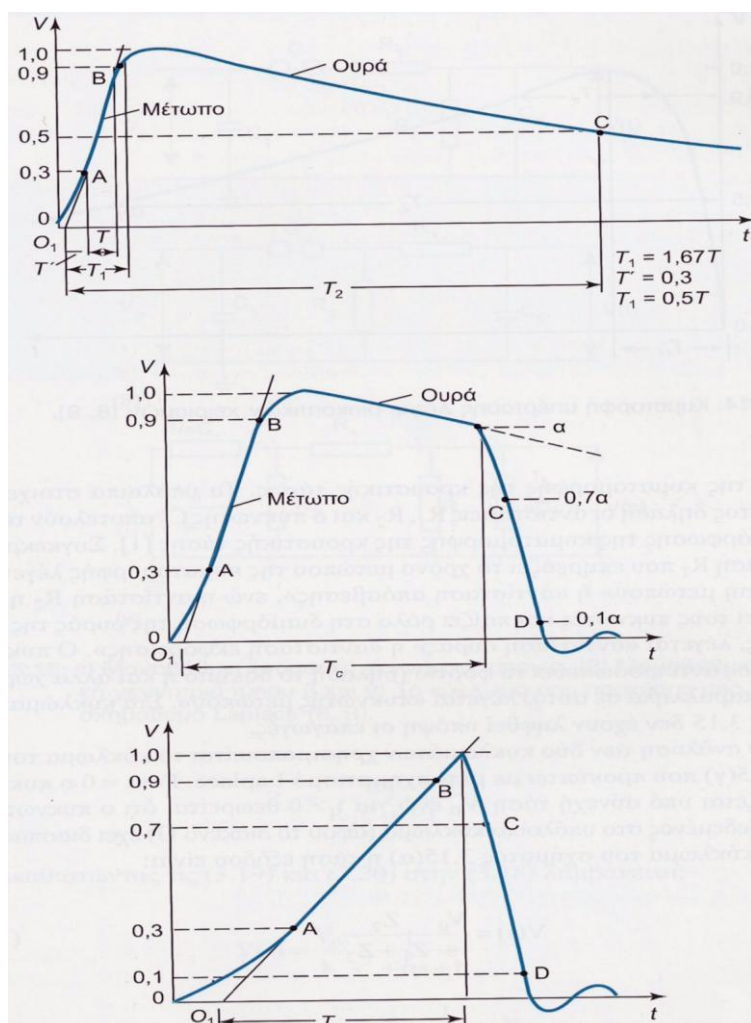
Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά όλα για την παραγωγή υψηλών κρουστικών τάσεων όπως:

- A) μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια
- B) πολυβάθμια κρουστική γεννήτρια ή γεννήτρια Marx
- Γ) κυματομορφές κρουστικών τάσεων και υπερτάσεων.

1.4-α ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ.

Εκτός από τις εναλλασσόμενες και συνεχείς υψηλές τάσεις, υπάρχουν και ένα άλλο είδος υψηλής τάσης στην οποία η κυματομορφή της χαρακτηρίζεται από μια μέγιστη τιμή που σε αυτή πηγαίνει σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια θα διαχωρίσουμε τη είναι κρουστική τάση και τη υπέρταση. Η κρουστική τάση είναι: μια αperiodική τάση η οποία φτάνει στη μέγιστη της τιμή σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα και μετέπειτα μηδενίζεται με βραδύτερο ρυθμό. Ακόμα, οι κρουστικές τάσεις εμφανίζονται στη φύση σαν κερανοί και μπορούν να παίρνουν τιμές μεγαλύτερες από 1000KV, καθώς και ρεύματα από

τους κεραυνούς φτάνουν σε μέγιστες τιμές στα 100-300kA. Αν ένας κεραυνός πέσει σε γραμμή μεταφοράς τότε εμφανίζονται οδεύοντα κύματα, που μπορούν να χαλάσουν την μόνωση της και για αυτό το λόγο βάζουμε αντικεραυνική προστασία.

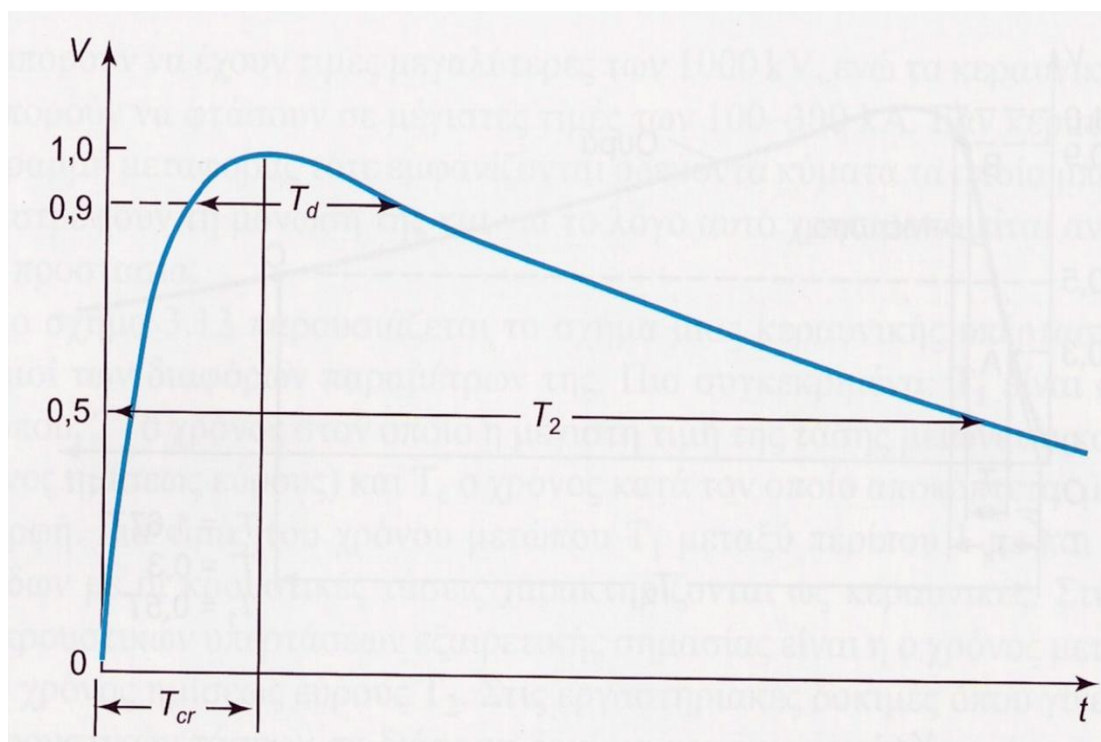


Σχήμα 1.Ξ: Η γενική κυματομορφή και ορισμοί κεραυνικών υπερτάσεων: πάνω κυματομορφή) πλήρης κυματομορφή, μεσαία κυματομορφή) κυματομορφή που είναι αποκομμένη στην ουρά και κάτω κυματομορφή) κυματομορφή που είναι αποκομμένη στο μέτωπο.

Στο σχήμα 1.Ξ φαίνεται μια κεραυνική υπέρταση, όπου T_2 είναι ο χρόνος που στην διάρκεια του η μέγιστη τιμή της τάσης μειώνεται κατά 50%, T_1 ο χρόνος μετώπου και T_c ο χρόνος στον οποίο αποκόπτεται μια κυματομορφή. Για τιμές του χρόνου μετώπου (T_1) ανάμεσα σχεδόν 1μs και λίγων δεκάδων μs οι κρουστικές τάσεις λέγονται κεραυνικές. Στην έρευνα των κρουστικών τάσεων εξαιρετικής σημασίας υπάρχουν ο χρόνος ημίσεως εύρους T_2 και ο χρόνος μετώπου T_1 . Για εργαστηριακές δοκιμές που χρησιμοποιούνται κρουστικές τάσεις σε διάφορες συσκευές χρησιμοποιείται ιδιαίτερος η κυματομορφή που έχει χρόνο ημίσεως εύρους T_2 50 μs ($\pm 20\%$) και χρόνο μετώπου T_1 1,2 μs ($\pm 30\%$), τα οποία είναι γνωστά και ως 1,2/50 μs.

Η υπέρταση είναι: η τάση που ξεπερνά ένα συγκεκριμένο επίπεδο τάσης εξαιτίας φυσικών ή άλλων λόγων. Τέτοιες μορφές τάσεων εμφανίζονται σε συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, εξαιτίας χειρισμών σε διακόπτες. Ο ρυθμός αύξησης της τάσης είναι πιο μικρός από εκείνον σε κρουστικές τάσεις, όμως παρόλα αυτά μπορούν να προκαλέσουν

και εκείνες καταστροφή της μόνωσης σε κάποιο σύστημα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Βέβαια είναι συνηθισμένο το φαινόμενο αυτές οι υπερτάσεις να υπάρχουν στο σύστημα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής τάσης της ΔΕΗ.

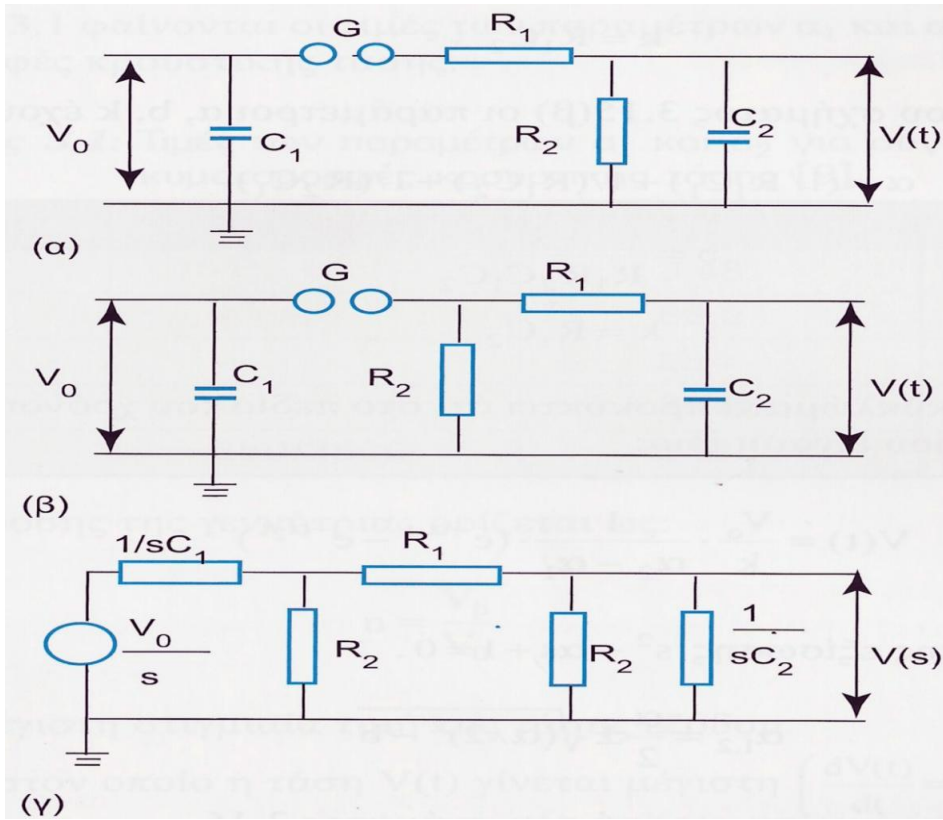


Σχήμα 1.0: Κυματομορφή της υπέρτασης εξαιτίας διακοπτικών χειρισμών.

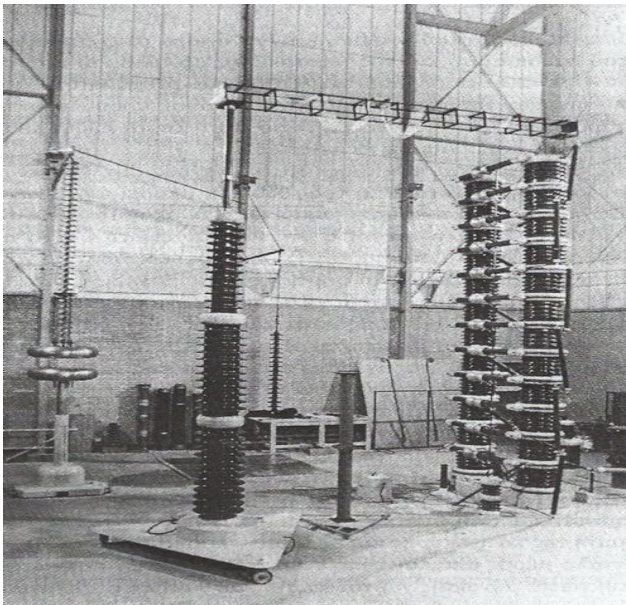
Στο σχήμα 1.0 φαίνεται η κυματομορφή μιας διακοπτικής υπέρτασης, όπου T_2 είναι ο χρόνος που στην διάρκεια του η μέγιστη τιμή της τάσης μειώνεται κατά 50%, T_{cr} ο χρόνος που χρειάζεται για τη μέγιστη τιμή της τάσης και T_d ο χρόνος στον οποίο η τάση είναι πάνω από το 90% της μέγιστη τιμή της. Εντάθθα οι κυματομορφές χαρακτηρίζονται από τις παραμέτρους T_{cr}/T_2 . Η πιο συνηθισμένη κυματομορφή που χρησιμοποιούμε είναι η 250/2500 μs .

1.4-β Η ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΜΙΑΣ ΒΑΘΜΙΑΔΑΣ.

Η μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια έχει δύο τυπικά κυκλώματα, τα κυκλώματα τύπου α και του τύπου β. Αυτά τα κυκλώματα φαίνονται στο σχήμα 1.Π. Και στα δύο κυκλώματα ο πυκνωτής κρούσης $C1$ φορτίζεται κάτω από συνεχή τάση $V0$ έως το διάκενο να διασπαστεί, το οποίο είναι ένας διακόπτης που μέχρι να διασπαστεί είναι ανοιχτός και κλείνει ενώ διασπαστεί. Ο χρόνος διάσπασης στο διάκενο είναι εξαιρετικά μικρός σε αναλογία με τον χρόνο μετώπου της κυματομορφής της κρουστικής τάσης. Τα άλλα στοιχεία με άλλα λόγια ο πυκνωτής $C2$ και οι αντιστάσεις $R1, R2$ είναι τα στοιχεία διαμόρφωσης κυματομορφής της κρουστικής τάσης. Αναλυτικά, η αντίσταση $R1$ που επηρεάζει τον χρόνο μετώπου ονομάζεται και αντίσταση σβέσης ή αντίσταση μετώπου, καθώς η αντίσταση $R2$ που εκφορτίζει τους πυκνωτές και παίζει ρόλο στη διαμόρφωση της ουράς στην κυματομορφή που ονομάζεται και αντίσταση εκφόρτισης ή αντίσταση ουράς. Στο σχήμα 1.Π1 απεικονίζεται μια κρουστική γεννήτρια.



Σχήμα 1.Π: α) Η μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια τύπου α, β) Η μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια τύπου β και γ) Το κύκλωμα που προκύπτει όταν γίνεται ο μετασχηματισμός Laplace.



Σχήμα 1.Π1: Κρουστική γεννήτρια 2,4 MV.

Παίρνοντας το κύκλωμα του σχήματος 1.Π που απορρέει από μετασχηματισμό Laplace, έχουμε, για χρόνο $t=0$ ο πυκνωτής C_1 φορτίζεται με συνεχή τάση V_0 καθώς για $t>0$ λέγεται ότι ο πυκνωτής C_1 είναι ενωμένος με το υπόλοιπο κύκλωμα διότι έχει διασπαστεί το διάκενο. Οι σχέσεις για την τάση εξόδου είναι:

$$V(s) = \frac{V_0}{s} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1-\rho).$$

$$\text{Το } Z \text{ είναι: } Z_1 = \frac{1}{C_1 s} + R_1 \quad (1-\sigma), \quad \text{και } Z_2 = \frac{R_2}{R_2 C_2 s + 1} \quad (1-\tau).$$

Βάζοντας τις (1-σ), (1-τ) στην (1-ρ) παίρνουμε:

$$V(s) = \frac{V_0}{k} \frac{1}{s^2 + \alpha s + b} \quad (1-\upsilon).$$

$$\text{Τα } \alpha, b, k \text{ είναι: } \alpha = \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) \quad (1-\phi), \quad b = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad (1-\chi),$$

$$k = R_1 C_2 \quad (1-\psi).$$

Για το κύκλωμα στο σχήμα 1.Π.β τα α, b, k είναι:

$$\alpha = \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} \right) \quad (1-\omega), \quad b = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad (1-\alpha\alpha),$$

$$k = R_1 C_2 \quad (1-\alpha\beta).$$

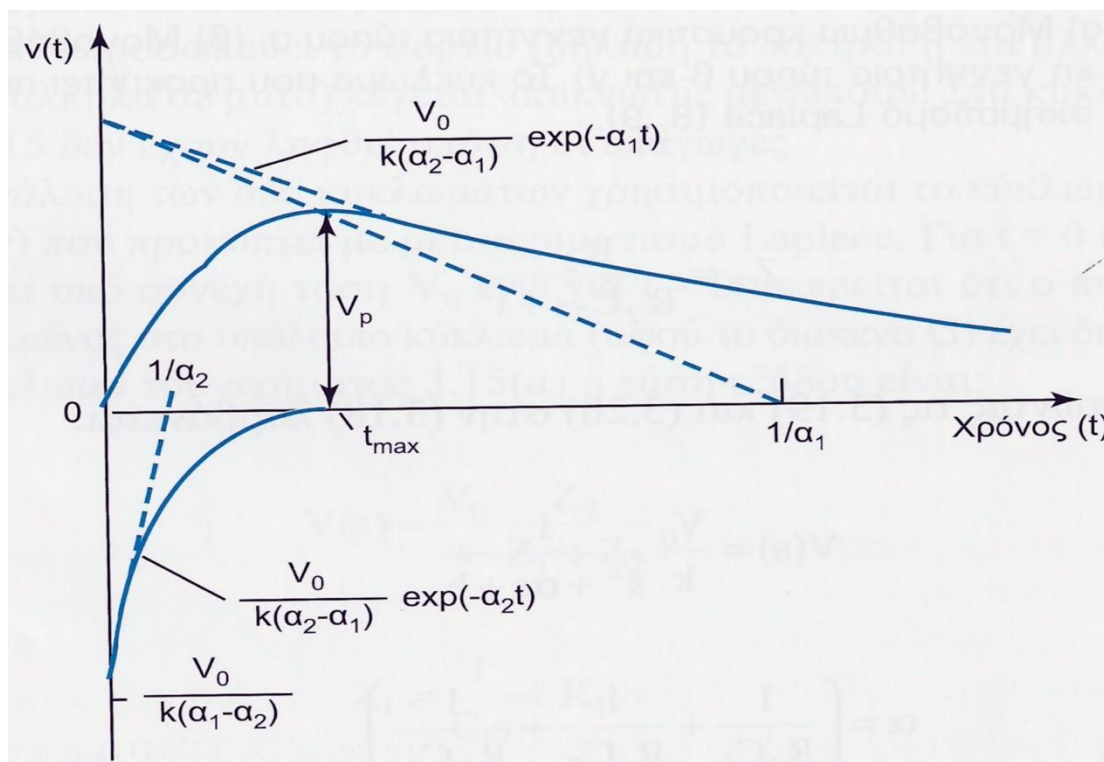
Ενώ και στα δύο κυκλώματα απορρέει ότι στο πεδίο του χρόνου η κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι η ίδια:

$$V(t) = \frac{V_0}{k} \times \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2} \times (e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}) \quad (1-\alpha\gamma).$$

Όπου α_1, α_2 είναι οι ρίζες της σχέσης $S^2 + \alpha S + 1 = 0$.

$$\alpha_{1,2} = \frac{\alpha}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 - b} \quad (1-\alpha\delta).$$

Τότε στην τάση εξόδου η μορφή της είναι όπως στο σχήμα 1.Ρ.



Σχήμα 1.P: Η διπλοεκθετική μορφή της τάσης της εξόδου των δύο τύπων κυκλωμάτων της κρουστικής γεννήτριας.

Ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας είναι:

$$n = \frac{V_p}{V_0} \quad (1-αε).$$

Όπου V_p : η μέγιστη στιγμιαία τιμή της τάσης εξόδου, και

V_0 : ο χρόνος στον οποίο η τάση $V(t)$ γίνεται μέγιστη ($\frac{dV(t)}{dt}=0$) είναι:

$$t_1 = \frac{\ln\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)}{\alpha_2 - \alpha_1} \quad (1-αζ).$$

Επομένως ο βαθμός απόδοσης της κρουστικής γεννήτριας είναι:

$$n = \frac{V_p}{V_0} = \frac{e^{-\alpha_1 * t_1} * e^{-\alpha_2 * t_2}}{R_1 * C_2 * (\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (1-αη).$$

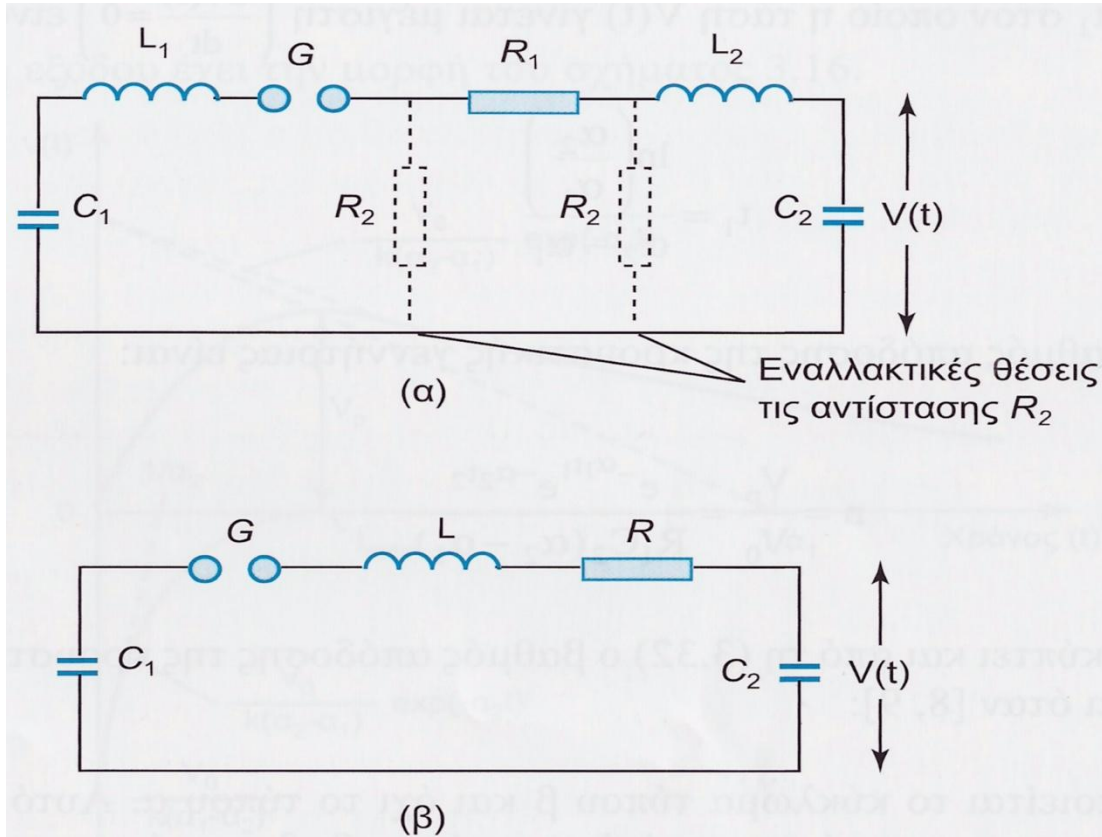
Καθώς προκύπτει και από τη σχέση (1-αη) ο βαθμός απόδοσης της κρουστικής γεννήτριας μεγαλώνει άμα:

Α) χρησιμοποιείται το κύκλωμα τύπου β και όχι το κύκλωμα τύπου α. Αυτό γίνεται όταν χρησιμοποιείται το κύκλωμα τύπου β, δεν υφίσταται πτώση τάσης στην R_1 και ως εξής η τάση εξόδου $V(t)$ με αποτέλεσμα η μέγιστη στιγμιαία τιμή της V_p είναι μεγαλύτερες σε αναλογία με το κύκλωμα τύπου α. Ο πυκνωτής C_1 είναι εξαιρετικά μεγαλύτερος του C_2 , επειδή ο βαθμός απόδοσης εκφράζεται επιπλέον και:

$$n = \frac{C_1}{C_2 + C_1} \quad (1-αθ).$$

Β) Η αντίσταση μετώπου R_1 μειώνεται. Ως φαίνεται και από την (1-αη) ο βαθμός απόδοσης είναι μεγάλος όσο μικρή είναι η αντίσταση μετώπου R_1 .

Γ) Ο πυκνωτής C_2 είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Όπως φαίνεται και από την (1-αη) ο βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος όσο μικρότερος είναι ο πυκνωτής C_2 .



Σχήμα 1.2: Τα απλοποιημένα κυκλώματα κρουστικής γεννήτριας με επαγωγές: α) Το κύκλωμα με τις εναλλακτικές θέσεις της αντίστασης R_2 β) Το κύκλωμα για τον υπολογισμό του χρόνου μετώπου.

Στο ενδεχόμενο που συμπεριληφθούν στα δύο κυκλώματα της κρουστικής γεννήτριας του σχήματος 1.Π. Και οι επαγωγές λοιπόν εμφανίζονται ταλαντώσεις και η τάση εξόδου αποκλίνει της διπλοεκθετικής, που είναι η αναγκαία. Στο σχήμα 1.2 δείχνεται το απλοποιημένο κύκλωμα της κρουστικής γεννήτριας με τις επαγωγές L_1 , L_2 . Η κρίσιμη αντίσταση R για όταν δεν υπάρχουν ταλαντώσεις είναι:

$$R_1=R=\sqrt{\frac{4L}{C}} \quad (1-αι).$$

Όπου το L είναι: $L=L_1+L_2$ (1-ακ),

Και $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$ (1-αλ).

Η τάση $V(t)$ στον πυκνωτή C_2 είναι:

$$V(t)=\frac{C \cdot V_0}{C_2} \left[1 - \left(1 + \frac{2t}{CR} \right) e^{-\frac{2t}{CR}} \right] \quad (1-αμ).$$

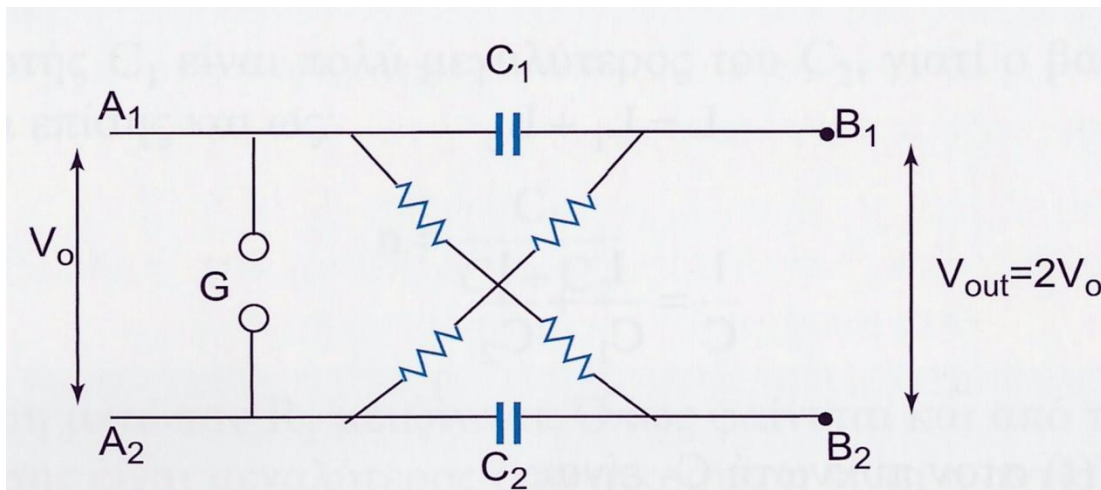
Για ανυπαρξία επαγωγής ισχύει:

$$V(t) = \frac{C \cdot V_0}{C_2} \left[1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right] \quad (1-\alpha).$$

1.4-γ Η ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Η ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ MARX.

Η μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια έχει κάποια μειονεκτήματα όταν παράγει πολύ υψηλές κρουστικές τάσεις της τάξης των εκατομμυρίων Volts. Τα μειονεκτήματα αυτά βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο ότι η μέγιστη τάση εξόδου της μονοβάθμιας κρουστικής γεννήτριας εξαρτάται από τη μέγιστη συνεχή τάση φόρτισης της και ως εκ τούτου τα τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος έχουν πεπερασμένη μέγιστη τιμή στην τάση εξόδου. Επιπλέον ένα άλλο μειονέκτημα που έχει είναι ότι ο πυκνωτής C1 πριν το διάκενο G που θα παράγει εξαιρετικά υψηλές τάσεις έχει πολύ μεγάλο βάρος και είναι υψηλής τιμής. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι πολυβάθμιες κρουστικές γεννήτριες στις οποίες για να παράγουν πολύ υψηλές τάσεις φορτίζονται σε παράλληλη σύνδεση περισσότεροι από έναν πυκνωτές και εκφορτίζονται εν σειρά. Το κύκλωμα εκφόρτισης δίνει συνολική τάση ίσια με το σύνολο των τάσεων του κάθε πυκνωτή.

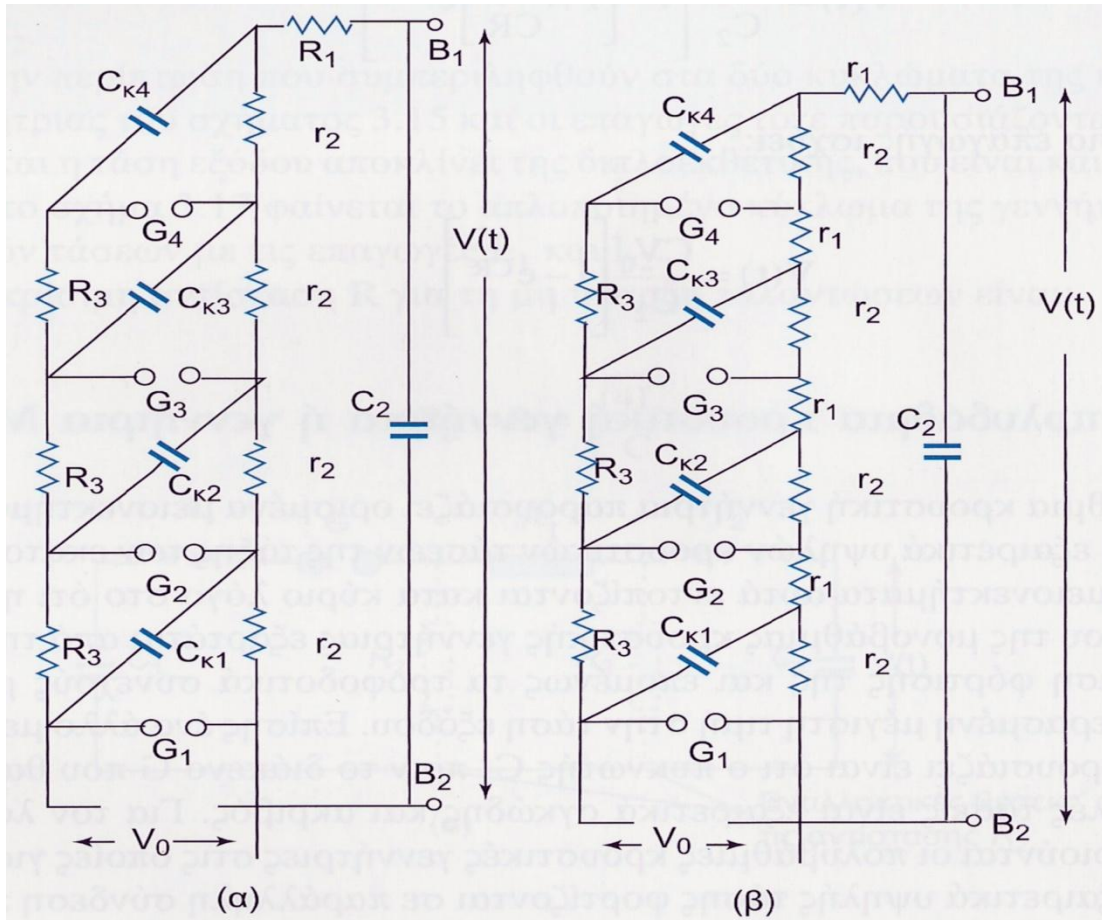
Η πολυβάθμια κρουστική γεννήτρια είναι γνωστή και ως γεννήτρια Marx από την ονομασία αυτού που την έφτιαξε. Το αρχικό κύκλωμα που φαίνεται και στο σχήμα 1.Τ το κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1923. Στο εξής σχήμα, τάση φόρτισης V_0 δίνεται και στους δύο πυκνωτές C1, C2 που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα. Όταν ο σπινθηριστής διασπαστεί εκείνη την στιγμή οι δύο πυκνωτές C1, C2 συνδέονται εν σειρά και οι τάσεις τους προστίθενται, οπότε στην έξοδο της γεννήτριας είναι $V_{out} = 2 \cdot V_0$.



Σχήμα 1.Τ: Το αρχικό κύκλωμα της γεννήτριας Marx που είναι για τον διπλασιασμό της τάσης.

Στο σχήμα 1.Υ.α φαίνεται το κύκλωμα μιας τετραβάθμιας κρουστικής γεννήτριας που λέγεται κύκλωμα τύπου α, ενώ στο σχήμα 1.Υ.β φαίνεται το κύκλωμα τετραβάθμιας κρουστικής γεννήτριας που λέγεται κύκλωμα τύπου β. Η αντίθεση αυτών των δύο κυκλωμάτων είναι ότι στο κύκλωμα τύπου α η αντίσταση μετώπου R1 συνδέεται όλη εκτός της γεννήτριας, ενώ στο κύκλωμα τύπου β η αντίσταση μετώπου R1 κατανέμεται σε όλες τις βαθμίδες κατά r1. Με αντιστοιχία και διατηρώντας τα ονόματα των παραμέτρων της κρουστικής γεννήτριας με τον τρόπο που αυτές έχουν κιάλας περιγράφει τα στοιχεία των κυκλωμάτων τύπου α και β είναι

τα έξης: R1 είναι η αντίσταση μετώπου, R2 είναι η αντίσταση ουράς, R3 είναι η αντίσταση φόρτισης, C1 είναι ο πυκνωτής κρούσης και ο C2 είναι ο πυκνωτής φορτίου.



Σχήμα 1.Υ: α) Η τετραβάθμια κρουστική γεννήτρια Marx που είναι το κύκλωμα τύπου α και β) τετραβάθμια κρουστική γεννήτρια Marx που είναι το κύκλωμα τύπου β.

Για τα κυκλώματα τύπου α και τύπου β ισχύουν τα παρακάτω:

$$R1=n*r1 \quad (1-αξ), \quad R2=n*r2 \quad (1-αο),$$

$$R3 \gg r2 \gg r1 \quad (1-απ), \quad C1 = \frac{C_{ki}}{n} \quad (1-αρ).$$

Στα κυκλώματα τύπου α και β οι πυκνωτές C_{k1} ίσαμε C_{k4} είναι απολύτως φορτισμένοι με τάση V_0 . Η εκφόρτιση της γεννήτριας ξεκινά με τη διάσπαση του πρώτου σπινθηριστή G_1 . Μετέπειτα ξεκινά η εκφόρτιση εν σειρά των πυκνωτών C_{k1} ίσαμε C_{k4} από την διάσπαση των υπόλοιπων σπινθηριστών, όποτε η συνολική τάση εξόδου είναι ίσια με την πρόσθεση των τάσεων των επιμέρους πυκνωτών. Με άλλα λόγια στο ενδεχόμενο κρουστικής γεννήτριας με 8 βαθμίδες, με την κάθε μια να φορτίζεται με τάση 400 kV, η συνολική τάση φόρτισης της γεννήτριας θα είναι $8 \times 400 = 3200 \text{ kV}$. Λοιπόν ισχύει:

$$V_{ολ} = n * V_0 \quad (1-ασ).$$

Η συνολική ενέργεια της γεννήτριας Marx θα είναι το άθροισμα των ενεργειών των επιμέρους βαθμίδων: Λοιπόν ισχύει:

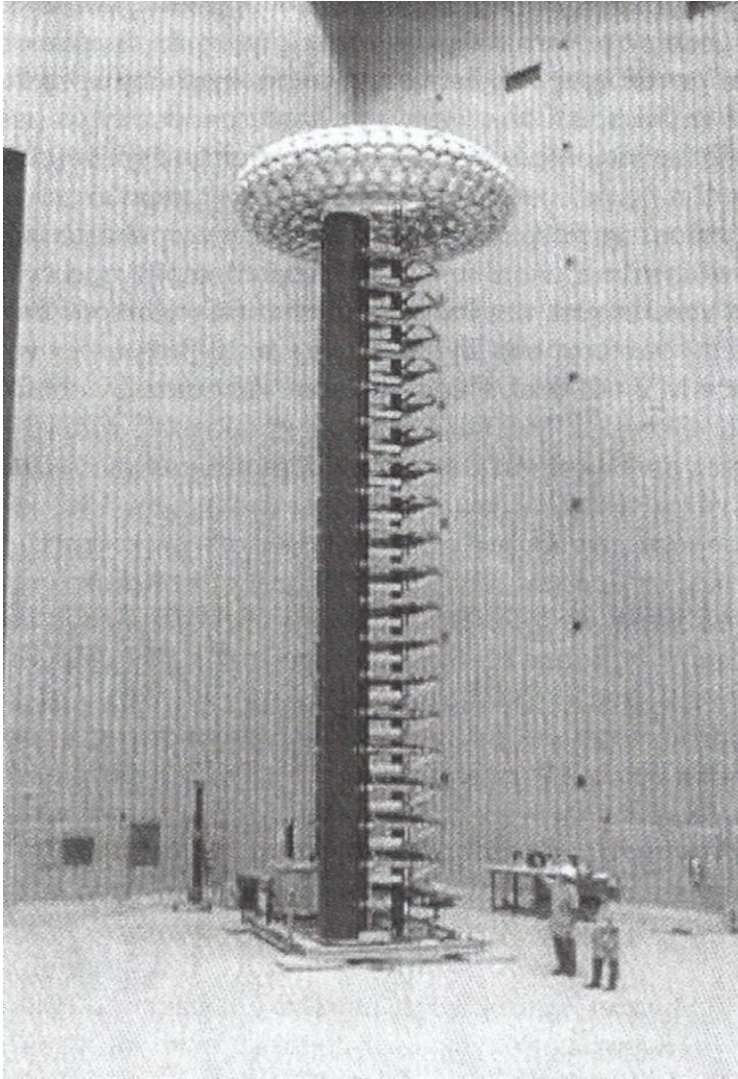
$$W=n*W_i=\frac{n}{2}CC_{ki}*V_0^2=\frac{1}{2}C_1*V_0\lambda^2 \quad (1-\alpha\tau).$$

$$u = \frac{V(t)_{\max}}{n*V_0} \quad (1-\alpha\omega).$$

Στο σχήμα 1.Φ φαίνεται μια γεννήτρια Marx της εταιρίας Haefely και στο σχήμα 1.Φ1 απεικονίζεται μια πολυβάθμια κρουστική γεννήτρια.



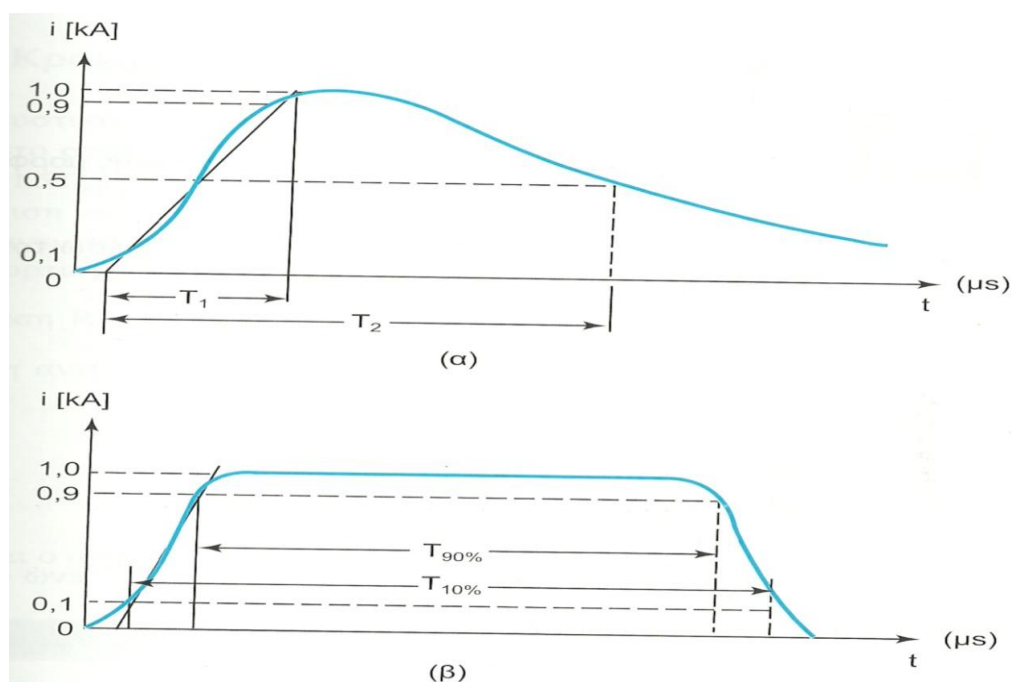
Σχήμα 1.Φ: Η γεννήτρια Marx 30 βαθμίδων 3 MV, 450 KJ (της εταιρίας Haefely).



Σχήμα 1.Φ1: 20-βάθμια κρουστική γεννήτρια εσωτερικού χώρου, 4MV/200kJ, με περιβεβλημένα διάκενα σφαιρών (ευγενική προσφορά CEPEL, Ρίο ντε Τζανέιρο, κατασκευασμένη από τον οίκο Haefely).

1.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΨΗΛΩΝ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.

Τα κεραυνικά πλήγματα προκαλούν, τόσο κρουστικές τάσεις, όσο και κρουστικά ρεύματα στις γραμμές. Για το λόγο αυτό η παραγωγή κρουστικών ρευμάτων της τάξης των λίγων ΚΑ χρησιμοποιείται στις δοκιμές απαγωγέων υπερτάσεων. Ακόμα, χρησιμοποιείται στην έρευνα των ηλεκτρικών τόξων και του πλάσματος. Οι κυματομορφές των κρουστικών ρευμάτων που κατά κανόνα χρησιμοποιούνται είναι ο ορθογωνικός παλμός και ο διπλοεκθετικός παλμός, όπως δείχνεται και στα σχήματα 1.Χ.α και 1.Χ.β.



Σχήμα 1.X: Η μορφές κρουστικών ρευμάτων α) Η διπλοεκθετική κυματομορφή και β) Η ορθογωνική κυματομορφή.

1.5-α ΚΡΟΥΣΤΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΔΙΠΛΟΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ.

Η κυματομορφή του διπλοεκθετικού κρουστικού ρεύματος δίνεται από το πρότυπο IEC 60060-1. Το T_1 λέγεται ο χρόνος μετώπου και το T_2 λέγεται ο χρόνος ημίσεως εύρους. Οι πιο συνηθέστερες κυματομορφές είναι οι 4/10 και οι 8/10. Για να παράγουμε αυτή την κυματομορφή χρησιμοποιούμε κατά κανόνα το κύκλωμα που είναι στο σχήμα 1.Ψ. Η συνήθης διαφορά του κυκλώματος αυτού και του κυκλώματος του σχήματος 1.Σ είναι ότι οι χωρητικότητες των πυκνωτών στο σχήμα 1.Ψ είναι περισσότερο μεγάλες, καθώς οι αντιστάσεις έχουν εξαιρετικά μικρή τιμή.

Αν ο πυκνωτής C φορτιστεί με μια τάση V και εκφορτιστεί μέσα από το διάκενο G , ως δείχνεται στο σχήμα 1.Ψ το ρεύμα i δίνεται από τη σχέση:

$$I(t) = \frac{V}{\omega L} e^{-\gamma t} \sin(\omega t) \quad (1-αφ).$$

$$\text{Όπου: } \gamma = \frac{R}{2L} \quad \text{και} \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (1-αχ).$$

Για να μην υφίστανται ταλαντώσεις επιβάλλεται να ισχύει $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ καθώς ο χρόνος για να φτάσει το ρεύμα τη μεγαλύτερη τιμή του δίνεται από τη σχέση:

$$T_1 = \frac{1}{\omega} \sin^{-1} \frac{\omega}{\sqrt{LC}} \quad (1-αψ).$$

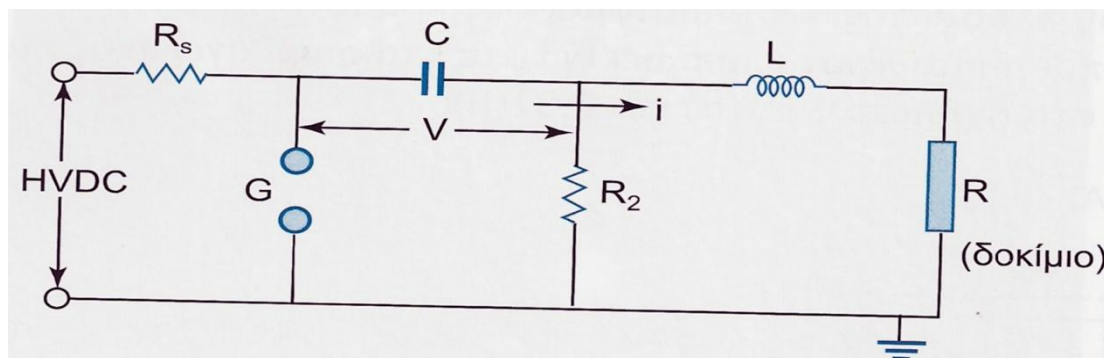
Αν το δοκίμιο είναι ένας ιδανικός απαγωγέας υπέρτασης για να ορίσουμε το κρουστικό ρεύμα το παίρνουμε από τη σχέση:

$$I_{\max} = \frac{V - V_r}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \quad (1-\alpha\omega).$$

Όπου: V_r λέγεται η παραμένουσα τάση του απαγωγέα υπέρτασης.
Ακόμα ισχύει:

$$\text{χρόνος ημίσεως εύρους} \rightarrow T_2 \cong 2,5\sqrt{LC}. \quad (1-\beta\alpha).$$

$$\text{χρόνος μετώπου} \rightarrow 1,25\sqrt{LC} \quad (1-\beta\beta).$$



Σχήμα 1.Ψ: Το κύκλωμα παραγωγής κρουστικού ρεύματος διπλοεκθετικής μορφής.

1.5-β ΚΡΟΥΣΤΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ.

Το κρουστικό ρεύμα ορθογωνικής μορφής όπως λέγεται στο πρότυπο IEC 60060-1 δείχνεται στο σχήμα 1.Χ.β. Για τους χρόνους $T_{90\%}$ και $T_{10\%}$ ενδείκνυται να ισχύει:

$$T_{10\%} < 1,5 T_{90\%}.$$

Το κρουστικό ρεύμα ορθογωνικής μορφής φτιάχνεται από την εκφόρτιση μιας γραμμής μεταφοράς με χωρητικότητα C και επαγωγή L αντιστοίχως, στο δοκίμιο μέσω ενός σφαιρικού διακένου. Αν η γραμμή μεταφοράς είναι φορτισμένη με μια συνεχή τάση V και εκφορτίζεται από το δοκίμιο με τιμή αντίστασης R , επομένως το ρεύμα είναι:

$$I = \frac{V}{R + Z_0} \quad (1-\beta\gamma).$$

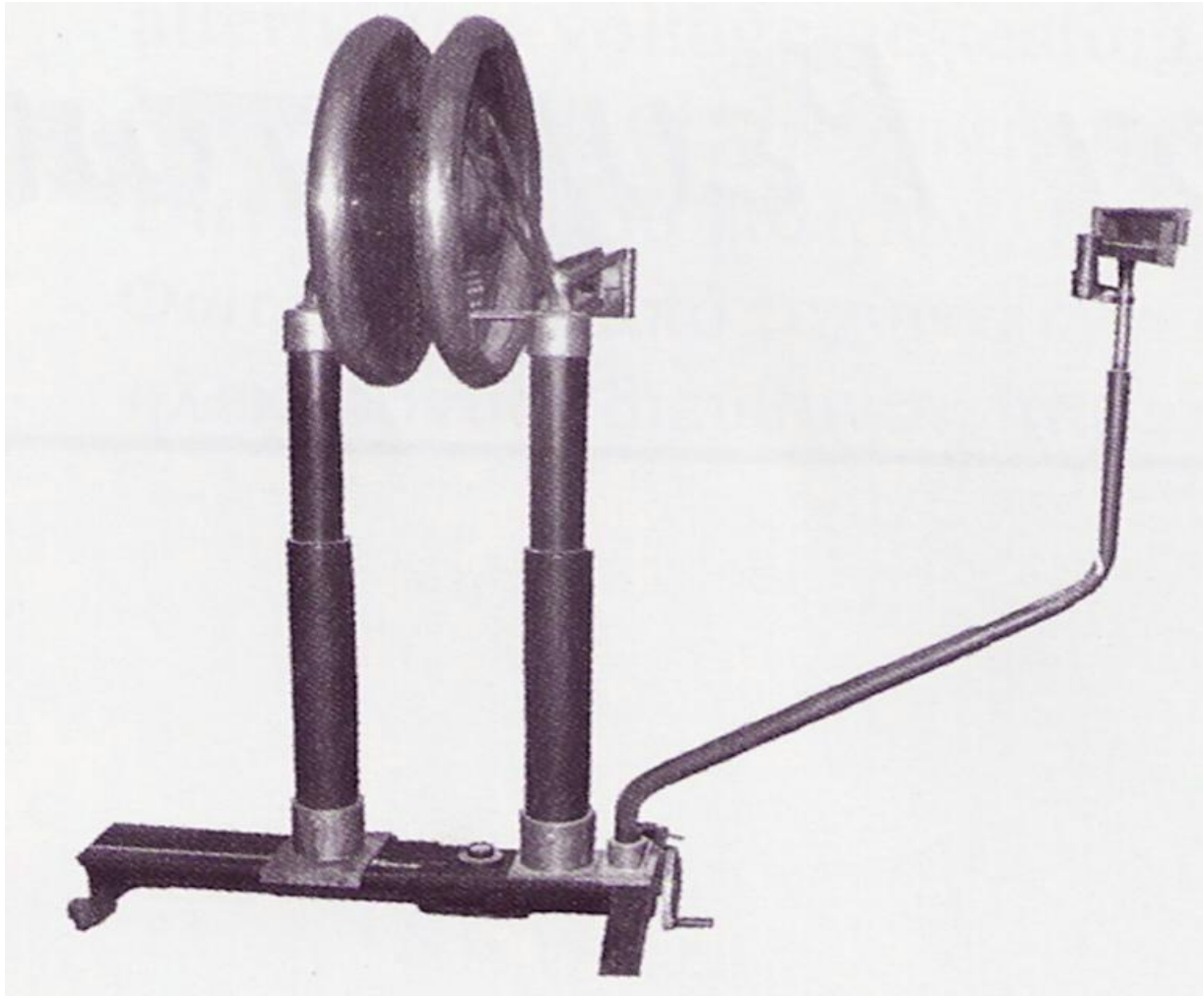
Όπου: Z_0 λέγεται η σύνθετη αντίσταση της γραμμής. Η διάρκεια του χρόνου $T_{90\%}$ προσεγγιστικά δίνεται από τη σχέση:

$$T_{90\%} = 2 \frac{n-1}{n} \sqrt{LC} \quad (1-\beta\delta).$$

Όπου το n λέγεται ο αριθμός των τμημάτων L-C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.



Σχήμα 2: Το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ. ΣΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.

Η μέτρηση υψηλών τάσεων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα και αφορά όχι αποκλειστικά τις μετρήσεις των εξαρτημάτων πάνω στα οποία θα κάνουμε τις δοκιμές στα εργαστήρια υψηλών τάσεων, όμως και μετρήσεις στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μετρήσεις υψηλών τάσεων δεν είναι ένα απλό πρόβλημα και αυτό, επειδή εξαιτίας της υψηλής τιμής που ενδέχεται να φτάσουν προκύπτουν προβλήματα που ιδιαίτερος έχουν να κάνουν με τα όρια μέτρησης των συμβατικών οργάνων, την αποφυγή υπερπηδήσεων κατά

την εκτέλεση των μετρήσεων και κατά ακολουθία την ασφάλεια του προσωπικού και του εξοπλισμού, ενώ ακόμα και με την ανάπτυξη θερμότητας στα κυκλώματα που κάνουμε τις μετρήσεις. Σε αυτό το κεφαλαίο θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις των εναλλασσομένων, συνεχών και κρουστικών τάσεων.

2.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΕΧΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε συνεχείς υψηλές τάσεις είναι οι εξής:

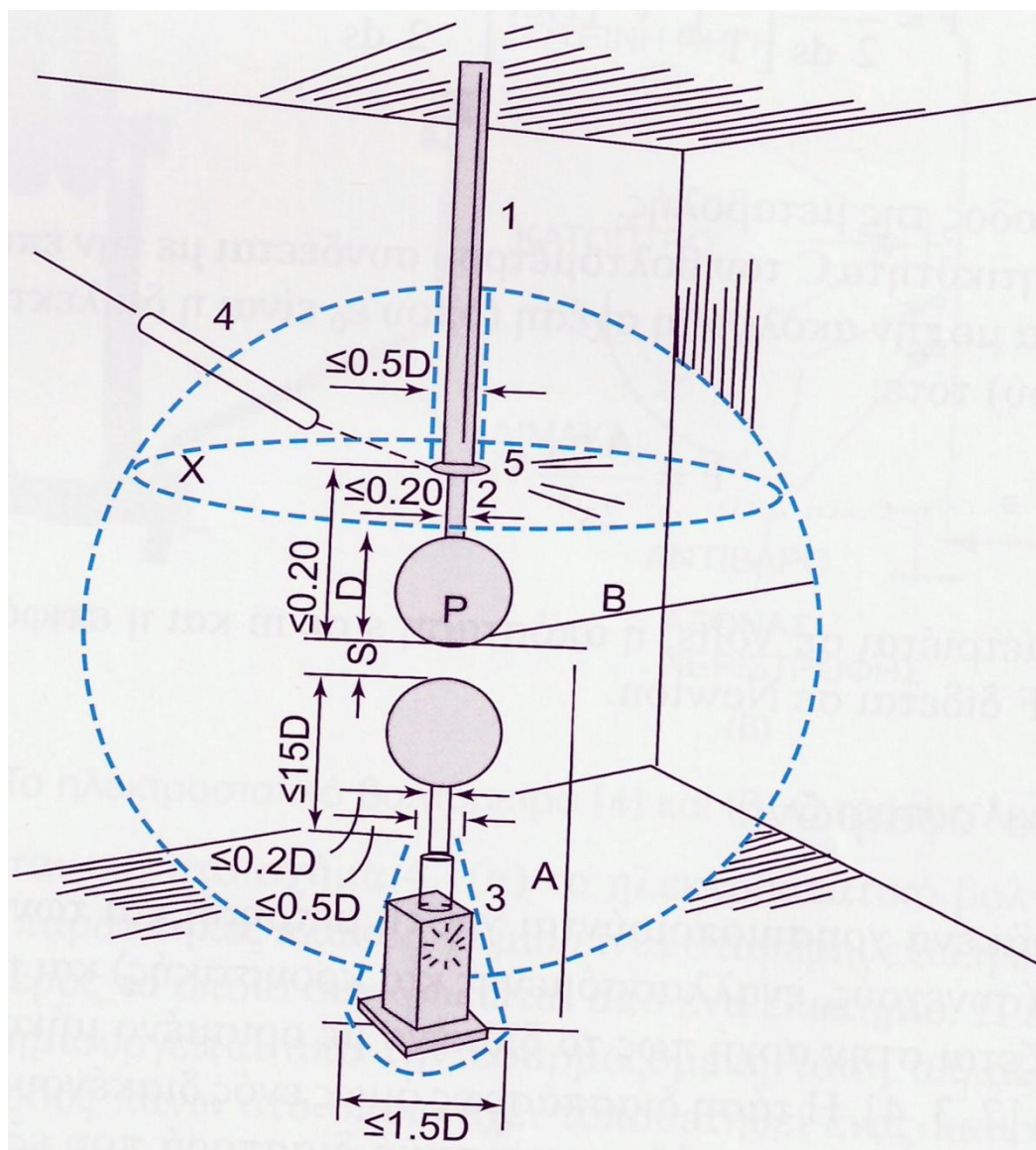
- A) μέτρηση με σφαιρικά διάκενα
- B) μέτρηση με ηλεκτροστατικό βολτόμετρο
- Γ) μέτρηση με ωμικό καταμεριστή τάσης
- Δ) μέτρηση με αμπερόμετρο και ωμική αντίσταση εν σειρά.

Στην συνέχεια θα περιγράψουμε το καθένα ξεχωριστά, θα δούμε τις μεθόδους μέτρησης συνεχών υψηλών τάσεων αναλυτικά και ακόμη θα δούμε το πώς μετράμε με αυτά.

2.2-α ΣΦΑΡΙΚΑ ΔΙΑΚΕΝΑ.

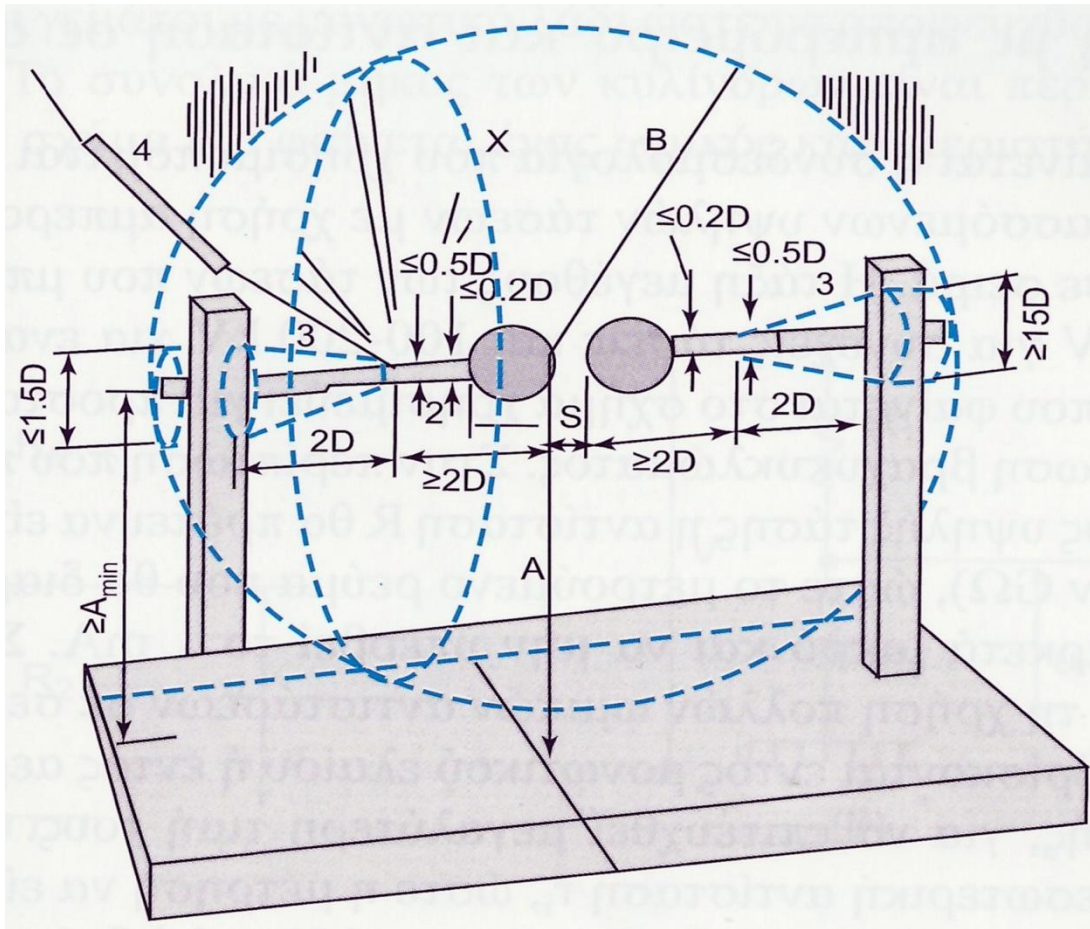
Τα σφαιρικά διάκενα χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να μετρήσουμε και τις τρεις μορφές τάσης, που είναι η κρουστική, εναλλασσόμενη και η συνεχής τάσεις και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο ότι το διάκενο με ορισμένο μήκος μπορεί να διασπαστεί σε ορισμένη τάση. Η τάση διάσπασης ωστόσο ενός διάκενου δεν έχει απόλυτα καθορισμένη τιμή, παρουσιάζει στατιστικό διασκορπισμό που εξαρτάται από τον γεωμετρικό χαρακτήρα του διάκενου, τον χαρακτήρα της τάσης και άλλους επίσης παράγοντες. Για το λόγο αυτό για να μετρήσουμε τάσεις χρησιμοποιούμε διάκενα, που παρουσιάζουν την πιο μικρό δυνατό διασκορπισμό, καθορίζοντας όλες αυτές τις παραμέτρους [όσες είναι δυνατόν να καθοριστούν], που επηρεάζουν την τάση διάσπασης. Έχουμε δει ότι δύο σφαίρες της ίδιας διαμέτρου που έχουν σχετικώς μικρή απόσταση μεταξύ τους σε σύγκριση με την διάμετρο τους, δημιουργούν το διάκενο που έχει τον πλέον μικρό διασκορπισμό στην τάση διάσπασης για κρουστική και εναλλασσόμενη τάση. Για συνεχή τάση έχουμε δει πως μικρότερο

διασκορπισμό από τις σφαίρες έχει το διάκενο ενδιάμεσα σε δύο ράβδους όμως πάντως δεν έχει γίνει ακόμα συστηματική έρευνα του τελευταίου για χρησιμοποίησή του σε μετρήσεις.



Σχήμα 2.Α: Το κατακόρυφο διάκενο σφαιρών. Αποτελείται από τα έξης μέρη: 1 → μονωτική στήριξη, 2 → μεταλλική λαβή, 3 → βάση γειωμένου ηλεκτροδίου, 4 → σύνδεση με τροφοδοσία υψηλής τάσης με αντίσταση σε σειρά, A και B → οι αποστάσεις που προσδιορίζουν τον χώρο στον οποίο δεν θα πρέπει να βρίσκονται άλλα γειωμένα αντικείμενα που είναι πιθανόν να επηρεάσουν την λειτουργία του διακένου.

Η χρησιμοποίηση του διακένου δύο ίσων σφαιρών για μέτρηση υψηλών τάσεων έχει εξετασθεί επαρκώς. Η πιστότητα που παρουσιάζουν μετρήσεις με σφαίρες είναι της τάξεως του $\pm 3\%$ υπό την προϋπόθεση πως η απόστασή τους δεν υπερβαίνει την ακτίνα τους. Σφαιρικά διάκενα μέτρησης μπορούν να φτιαχτούν με τον άξονα τους να είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος με τρόπο που δείχνεται στα σχήματα 2.Α και 2.Β. Η γεινίαση του διακένου με γειωμένα μέρη επηρεάζει το ηλεκτρικό πεδίο ενδιάμεσα στις σφαίρες και κατά ακολουθία την τάση διάσπασης. Για το λόγο αυτόν σε μια ακτίνα τουλάχιστον B γύρω από το διάκενο δεν χρειάζεται να υπάρχουν γειωμένα μέρη. Η τιμή του B εξαρτάται από το διάκενο S των σφαιρών και το παίρνουμε από τους σχετικούς πίνακες.



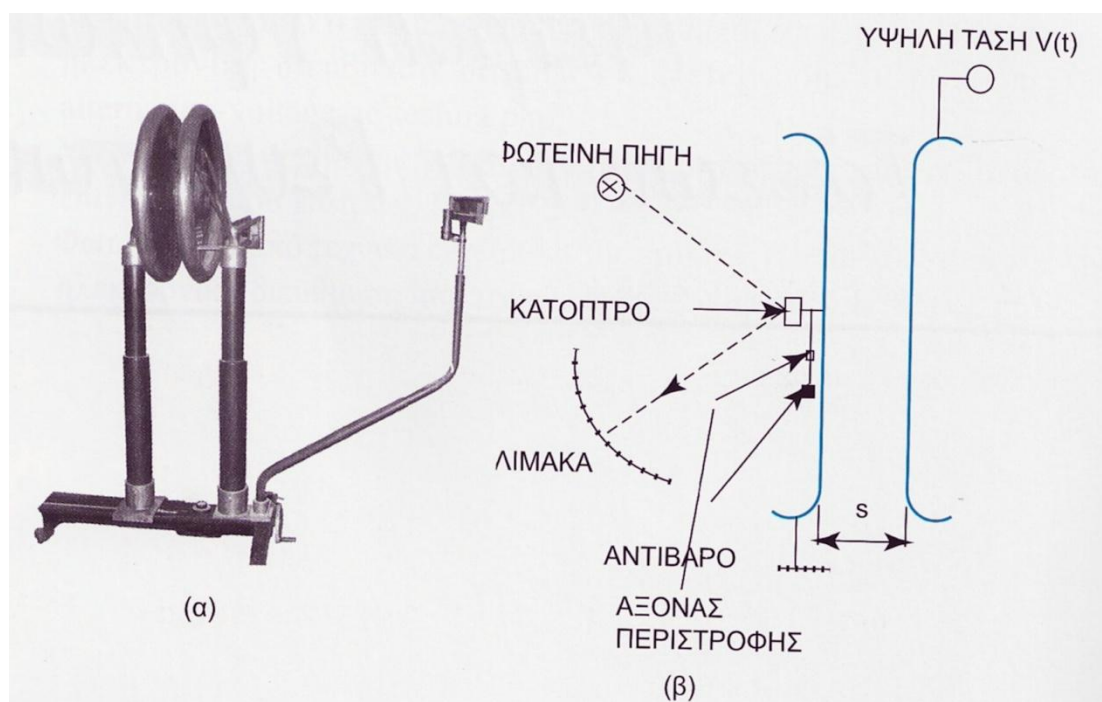
Σχήμα 2.B: Το οριζόντιο διάκενο σφαιρών.

Η κατάσταση της επιφάνειας στις σφαίρες επηρεάζει επιπλέον την τάση διάσπασης. Για τον λόγο αυτόν η επιφάνεια στις σφαίρες, ιδιαιτέρως στον χώρο, που πλησιάζουν συχνά και στην οποία συμβαίνουν οι διασπάσεις χρειάζεται να διατηρείται καθαρή, ενώ επίσης και κόκκοι σκόνης επηρεάζουν την τάση διάσπασης. Η διάσπαση ενδιάμεσα στις σφαίρες επιτυγχάνεται με τις κρούσεις και τον ιονισμό. Για να ξεκινήσει ωστόσο ιονισμός, ξέχωρα από το ηλεκτρικό πεδίο, που απορρέει από την μεταβαλλόμενη τάση, χρειάζονται λίγα αρχικά ηλεκτρόνια. Από φυσικό ιονισμό βρίσκονται στην ατμόσφαιρα διαρκώς ελεύθερα ηλεκτρόνια. Όταν ωστόσο το διάκενο ενδιάμεσα στις σφαίρες είναι σχετικώς μικρό, ο ελεύθερη ποσότητα ηλεκτρονίων είναι μικρός και αυτό είναι δυνατόν να αυξήσει την διασπορά της τάσης διάσπασης. Για να προληφθεί το μειονέκτημα αυτό προτείνεται για τα μικρά διάκενα να γίνεται τεχνητός σχηματισμός ελεύθερων ηλεκτρονίων με ακτινοβολία, που ως πηγή ακτινοβολίας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ή μια παστίλια ραδιενεργούς ουσίας με ένταση 0,2 έως 0,6 millicurie ή ένας λαμπτήρας υπεριωδών ακτινών.

Ακόμα μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει την τάση διάσπασης του διακένου είναι η πυκνότητα του αέρα και το ποσό των υδρατμών που υπάρχει σε αυτόν. Η τάση διάσπασης γίνεται πιο μεγάλη όσο πιο μεγάλη είναι η πυκνότητα του αέρα και όσο πιο πολλούς υδρατμούς περιέχει. Οι τιμές διάσπασης που δίνονται κατά κανόνα σε πίνακες αναφέρονται σε θερμοκρασία αέρος 20 °C, περιεκτικότητας υδρατμών 11 g/m³ και πίεσης 101,3 kPa (760 mmHg).

2.2-β ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ.

Το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο είναι ένα όργανο που μετράμε υψηλές τάσεις. Αυτό χρησιμοποιείται και για τις τρεις μορφές τάσης που είναι η κρουστική, εναλλασσόμενη και η συνεχής τάσεις. Η λειτουργία του βασίζεται στην αρχή ότι όταν σε ένα διάκενο εφαρμόζεται μια τάση $V(t)$ οποιασδήποτε μορφής, εκείνη την στιγμή το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται προκαλεί μια δύναμη $F(t)$ η οποία πάει να μικρύνει το διάκενο. Η δύναμη $F(t)$ δημιουργείται από την συστηματική σειρά ενεργειών κατά την οποία η ηλεκτροστατική ενέργεια W μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Στο σχήμα 2.Γ φαίνεται το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο και το πώς λειτουργεί.



Σχήμα 2.Γ: Το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο α) Η πραγματική του μορφή και β) Ο τρόπος λειτουργίας του.

Όπως είναι πιθανόν από το σχήμα 2.Γ.α το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο αποτελείται από δύο παράλληλες πλάκες. Η μια έχει ένα μικρό κινητό τμήμα το οποίο συγκρατείται από ένα ελατήριο και η άλλη είναι σταθερή. Η ελκτική δύναμη $F(t)$ η οποία δημιουργείται από την τάση που έχουμε εφαρμόσει αλλάζει τη θέση του μέρους που κινείται που πάνω σε αυτό έχει τοποθετηθεί ένας καθρέφτης. Μια δέσμη φωτός ανακλάται με τρόπο που δείχνεται και στο σχήμα 2.Γ.β και δείχνει την τιμή της τάσης πάνω στην βαθμονομημένη κλίμακα.

Αν υποθέσουμε ότι η χωρητικότητα ανάμεσα των δύο πλακών είναι C η ηλεκτροστατική ενέργεια W που είναι αποθηκευμένη δίνεται από την σχέση:

$$W(t) = \frac{1}{2} CV^2(t) \quad (2-α).$$

Η ενέργεια $W(t)$ που είναι αποθηκευμένη ανάμεσα των δύο παράλληλων πλακών, εξαιτίας της κίνησης τους, θα μετασχηματιστεί σε μηχανικό έργο όποτε έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$dW(t) = -F(t)dS \quad (2-\beta).$$

όπου: $dS \rightarrow$ η αλλαγή στην απόσταση των δύο παράλληλων πλακών.

Η δύναμη η οποία ασκείται είναι ο αριθμητικός μέσος της εξίσωσης όποτε δίνεται από την σχέση:

$$F = \frac{1}{2} \frac{dC}{dS} \left[\frac{1}{\int_0^T V^2(t) dt} \right] = \frac{1}{2} \frac{dC}{dS} V^2 \quad (2-\gamma).$$

Αν η τάση V μετράται σε Volts, η επιφάνεια A σε m^2 , η απόσταση S σε m , επομένως η δύναμη F μετράται σε Newton.

2.2-γ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΩΜΙΚΟ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΗ ΤΑΣΗΣ.

Ο ωμικός καταμεριστής τάσης αποτελείται από δύο ωμικές αντιστάσεις R_2 και R_1 οι οποίες λέγονται αντίσταση χαμηλής τάσης και αντίσταση υψηλής τάσης αντίστοιχος και ισχύ $R_2 \ll R_1$. Η αντίσταση υψηλής τάσης αποτελείται από αρκετές αντιστάσεις σε σειρά, όταν τις έχουμε επιλέξει να δουλεύουν σε μικρές θερμοκρασίες. Αυτές οι αντιστάσεις βρίσκονται μέσα σε κυλίνδρους που είναι φτιαγμένοι από μονωτικό υλικό, οι οποίοι είναι γεμάτοι με μονωτικό έλαιο ώστε λοιπόν να μην υπάρχουν ρεύματα corona ή διαρροής. Το τελικό μήκος των κυλίνδρων είναι κατά προσέγγιση 4 m για κάθε MVolt. Στο σχήμα 2.Δ δείχνεται ένας ωμικός καταμεριστής τάσης.

Αν u είναι η τάση μετράται από ένα καταγραφικό όργανο και V είναι η ως προς μέτρηση υψηλή συνεχής τάση, άρα λοιπόν έχουμε την επόμενη σχέση:

$$u = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \quad (2-\delta).$$

Έχοντας υπόψη και την εσωτερική αντίσταση r_i του οργάνου με το οποίο κάνουμε την μέτρηση τότε λοιπόν η τάση που μετράμε u , δίνεται από την νέα σχέση:

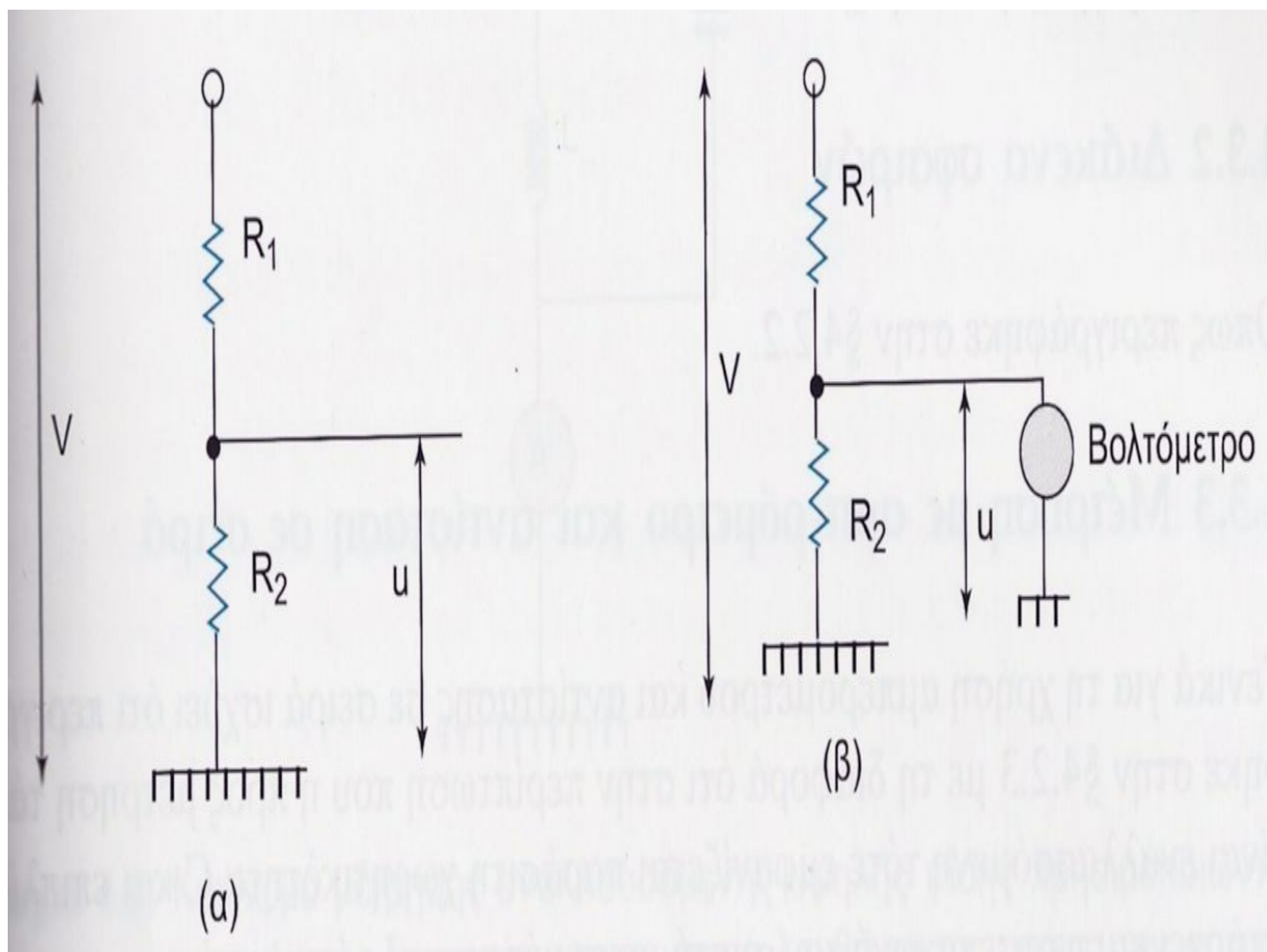
$$u = \frac{R_2^*}{R_1 + R_2} V \quad (2-\epsilon).$$

όπου το R_2^* δίνεται από την σχέση:

$$R_2^* = \frac{R_2 \cdot r_i}{R_2 + r_i} \quad (2-\zeta).$$

διότι οι αντιστάσεις R_2 και r_i είναι παράλληλα συνδεδεμένες.

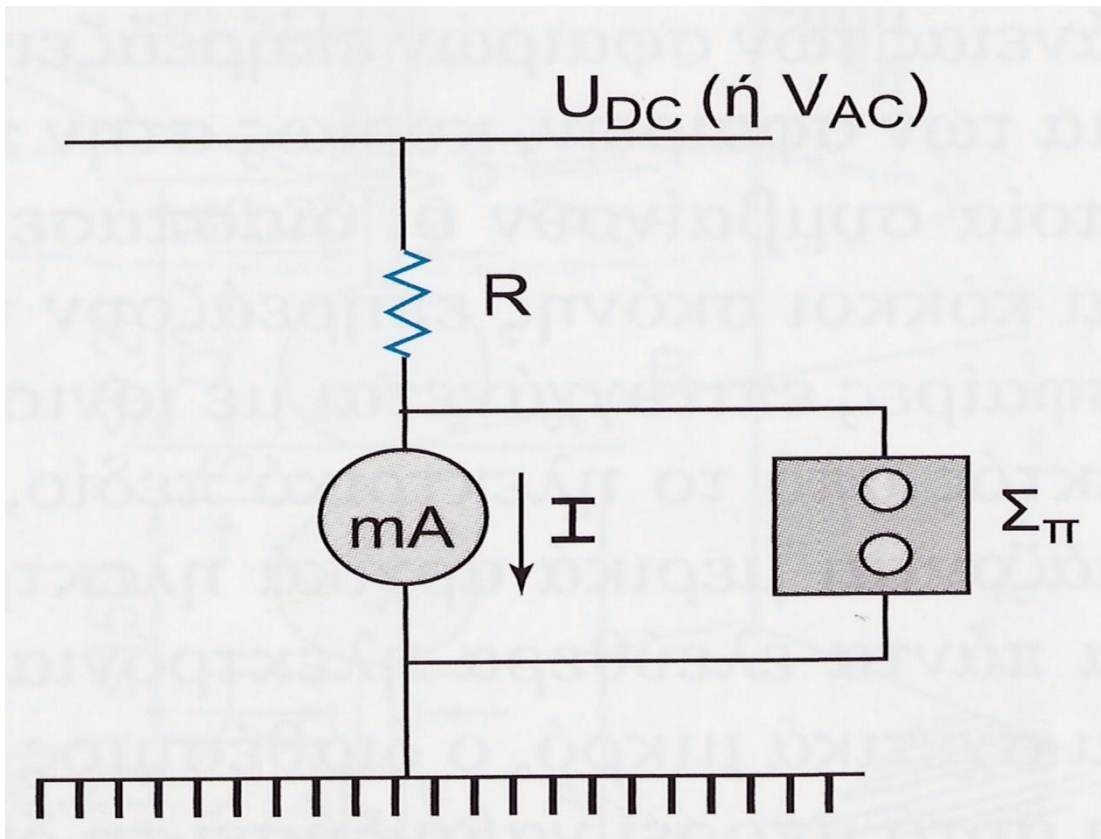
Η σχέση $k = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ λέγεται λόγος καταμερισμού, ενώ η τάση u μετράται από όργανο που μετράει χαμηλή τάση π.χ. αμπερόμετρο.



Σχήμα 2.Δ: Ο ωμικός καταμεριστής τάσης για την μέτρηση της υψηλής συνεχούς τάσης α) Δίχως να πάρουμε υπόψη την εσωτερική αντίσταση του οργάνου. β) Παίρνοντας υπόψη την εσωτερική αντίσταση του οργάνου.

2.2-δ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΝ ΣΕΙΡΑ.

Στο σχήμα 2.Ε δείχνεται η συνδεσμολογία που χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε εναλλασσόμενες ή συνεχείς υψηλές τάσεις με την χρησιμοποίηση αμπερομέτρου και ωμικής αντίστασης εν σειρά. Η τάξη μεγέθους των τάσεων που είναι δυνατόν να μετρηθούν 100 έως 200 kV για εναλλασσόμενες τάσεις και 300 kV για συνεχείς τάσεις.



Σχήμα 2.Ε: Το κύκλωμα μέτρησης εναλλασσόμενης ή συνεχούς υψηλής τάσης χρησιμοποιώντας αντίσταση εν σειρά και αμπερόμετρο.

Ο σπινθηριστής Σ_{Π} που δείχνεται στο σχήμα 2.Ε χρησιμοποιείται για την προφύλαξη του αμπερομέτρου όταν υπάρχει ενδεχόμενο βραχυκυκλώματος. Στο ενδεχόμενο που πραγματοποιηθεί μέτρηση συνεχούς υψηλής τάσης η αντίσταση R επιβάλλεται να είναι πολύ μεγαλύτερη της τάξης των $G\Omega$, ώστε λοιπόν το ρεύμα που μετρήθηκε το οποίο θα διαρρέει το αμπερόμετρο να είναι πολύ μικρότερο και να μην είναι παραπάνω από το 1 mA . Στην πραγματικότητα αυτό επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση πολλών ωμικών αντιστάσεων εν σειρά οι οποίες προπάντων είναι δυνατόν να βρίσκονται αέριο υψηλής διηλεκτρικής αντοχής ή μέσα σε μονωτικό λάδι, για να έχουμε μεγαλύτερη τιμή τους. Το αμπερόμετρο έχει αρκετά μικρή εσωτερική αντίσταση r_i , ώστε λοιπόν η μέτρηση να είναι αληθής. Πραγματικά η μέτρηση η οποία αρμόζει δεν είναι σε kV , αλλά βρίσκοντας τα mA του ρεύματος που διαρρέουν το αμπερόμετρο μετατρέπονται σε τάση. Λεπτομερώς στο ενδεχόμενο που ληφθεί και η εσωτερική αντίσταση r_i του αμπερομέτρου η τάση που μετράται δίνεται από την σχέση:

$$U=(R+r_i) I \quad (2-\eta).$$

2.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Στην παράγραφο αυτή θα περιγράψουμε τις μεθόδους μέτρησης εναλλασσόμενων υψηλών τάσεων αναλυτικά και ακόμη θα δούμε το πώς μετράμε με αυτά.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε εναλλασσόμενες

υψηλές τάσεις είναι οι εξής:

- a) μέτρηση με σφαιρικά διάκενα
- b) μέτρηση με ηλεκτροστατικό βολτόμετρο
- c) μέτρηση με ωμικό καταμεριστή τάσης
- d) μέτρηση με αμπερόμετρο και ωμική αντίσταση εν σειρά
- e) μέθοδος Chubb-Fortescue
- f) χωρητικοί καταμεριστές
- g) μέτρηση μέσω μετασχηματιστών τάσης
- h) Διάταξη κατά Davis, Bowdler και Starding

Στη συνέχεια θα τα αναλύσουμε το καθένα ξεχωριστά.

2.3-α ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΔΙΑΚΕΝΑ.

Όπως είπαμε και στο υποκεφάλαιο 2.2-α τα σφαιρικά διάκενα χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να μετρήσουμε και τις τρεις μορφές τάσης, που είναι η κρουστική, εναλλασσόμενη και η συνεχής τάσεις και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο ότι το διάκενο με ορισμένο μήκος μπορεί να διασπαστεί σε ορισμένη τάση. Η τάση διάσπασης ωστόσο ενός διάκενου δεν έχει απόλυτα καθορισμένη τιμή, παρουσιάζει στατιστικό διασκορπισμό που εξαρτάται από τον γεωμετρικό χαρακτήρα του διάκενου, τον χαρακτήρα της τάσης και άλλους επίσης παράγοντες. Για το λόγο αυτό για να μετρήσουμε τάσεις χρησιμοποιούμε διάκενα, που παρουσιάζουν την πιο μικρό δυνατό διασκορπισμό, καθορίζοντας όλες αυτές τις παραμέτρους [όσες είναι δυνατόν να καθοριστούν], που επηρεάζουν την τάση διάσπασης. Έχουμε δει ότι δύο σφαίρες της ίδιας διαμέτρου που έχουν σχετικώς μικρή απόσταση μεταξύ τους σε σύγκριση με την διάμετρο τους, δημιουργούν το διάκενο που έχει τον πλέον μικρό διασκορπισμό στην τάση διάσπασης για κρουστική και εναλλασσόμενη τάση. Για συνεχή τάση έχουμε δει πως μικρότερο διασκορπισμό από τις σφαίρες έχει το διάκενο ενδιάμεσα σε δύο ράβδους όμως πάντως δεν έχει γίνει ακόμα συστηματική έρευνα του τελευταίου για χρησιμοποίησή του σε μετρήσεις.

Η χρησιμοποίηση του διακένου δύο ίσων σφαιρών για μέτρηση υψηλών τάσεων έχει εξετασθεί επαρκώς. Η πιστότητα που παρουσιάζουν μετρήσεις με σφαίρες είναι της τάξεως του $\pm 3\%$ υπό την προϋπόθεση πως η απόστασή τους δεν υπερβαίνει την ακτίνα τους. Σφαιρικά διάκενα μέτρησης μπορούν να φτιαχτούν με τον άξονα τους να είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος με τρόπο που δείχνεται στα σχήματα.... Η γειννίαση του διακένου με γειωμένα μέρη επηρεάζει το ηλεκτρικό πεδίο ενδιάμεσα στις σφαίρες και κατά ακολουθία την τάση διάσπασης. Για το λόγο αυτόν σε μια ακτίνα τουλάχιστον B γύρω από το διάκενο δεν χρειάζεται να υπάρχουν γειωμένα μέρη. Η τιμή του B εξαρτάται από το διάκενο S των σφαιρών και το παίρνουμε από τους σχετικούς πίνακες.

Η κατάσταση της επιφάνειας στις σφαίρες επηρεάζει επιπλέον την τάση διάσπασης. Για τον λόγο αυτόν η επιφάνεια στις σφαίρες, ιδιαιτέρως στον χώρο, που πλησιάζουν συχνά και στην οποία συμβαίνουν οι διασπάσεις χρειάζεται να διατηρείται καθαρή, ενώ επίσης και κόκκοι σκόνης επηρεάζουν την τάση διάσπασης. Η διάσπαση ενδιάμεσα στις σφαίρες επιτυγχάνεται με τις κρούσεις και τον ιονισμό. Για να ξεκινήσει ωστόσο ιονισμός, ξέχωρα από το ηλεκτρικό

πεδίο, που απορρέει από την μεταβαλλόμενη τάση, χρειάζονται λίγα αρχικά ηλεκτρόνια. Από φυσικό ιονισμό βρίσκονται στην ατμόσφαιρα διαρκώς ελεύθερα ηλεκτρόνια. Όταν ωστόσο το διάκενο ενδιάμεσα στις σφαίρες είναι σχετικώς μικρό, ο ελεύθερη ποσότητα ηλεκτρονίων είναι μικρός και αυτό είναι δυνατόν να αυξήσει την διασπορά της τάσης διάσπασης. Για να προληφθεί το μειονέκτημα αυτό προτείνεται για τα μικρά διάκενα να γίνεται τεχνητός σχηματισμός ελεύθερων ηλεκτρονίων με ακτινοβολία, που ως πηγή ακτινοβολίας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ή μια παστίλια ραδιενεργούς ουσίας με ένταση 0,2 έως 0,6 millicurie ή ένας λαμπτήρας υπεριωδών ακτινών.

Ακόμα μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει την τάση διάσπασης του διακένου είναι η πυκνότητα του αέρα και το ποσό των υδρατμών που υπάρχει σε αυτόν. Η τάση διάσπασης γίνεται πιο μεγάλη όσο πιο μεγάλη είναι η πυκνότητα του αέρα και όσο πιο πολλούς υδρατμούς περιέχει. Οι τιμές διάσπασης που δίνονται κατά κανόνα σε πίνακες αναφέρονται σε θερμοκρασία αέρος 20 °C, περιεκτικότητας υδρατμών 11 g/m³ και πίεσης 101,3 kPa (760 mmHg).

Ακόμα στο υποκεφάλαιο 2.2-α υπάρχουν φωτογραφίες και σχήματα των σφαιρικών διακένων.

2.3-β ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ.

Όπως είπαμε και στο υποκεφάλαιο 2.2-β το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο είναι ένα όργανο που μετράμε υψηλές τάσεις. Αυτό χρησιμοποιείται και για τις τρεις μορφές τάσης που είναι η κρουστική, εναλλασσόμενη και η συνεχής τάσεις. Η λειτουργία του βασίζεται στην αρχή ότι όταν σε ένα διάκενο εφαρμόζεται μια τάση $V(t)$ οποιασδήποτε μορφής, εκείνη την στιγμή το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται προκαλεί μια δύναμη $F(t)$ η οποία πάει να μικρύνει το διάκενο. Η δύναμη $F(t)$ δημιουργείται από την συστηματική σειρά ενεργειών κατά την οποία η ηλεκτροστατική ενέργεια W μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Στο σχήμα 2.Γ φαίνεται το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο και το πώς λειτουργεί.

Όπως είναι πιθανόν από το σχήμα 2.Γ.α το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο αποτελείται από δύο παράλληλες πλάκες. Η μια έχει ένα μικρό κινητό τμήμα το οποίο συγκρατείται από ένα ελατήριο και η άλλη είναι σταθερή. Η ελκτική δύναμη $F(t)$ η οποία δημιουργείται από την τάση που έχουμε εφαρμόσει αλλάζει τη θέση του μέρους που κινείται που πάνω σε αυτό έχει τοποθετηθεί ένας καθρέφτης. Μια δέσμη φωτός ανακλάται με τρόπο που δείχνεται και στο σχήμα... και δείχνει την τιμή της τάσης πάνω στην βαθμονομημένη κλίμακα.

Αν υποθέσουμε ότι η χωρητικότητα ανάμεσα των δύο πλακών είναι C η ηλεκτροστατική ενέργεια W που είναι αποθηκευμένη δίνεται από την σχέση:

$$W(t) = \frac{1}{2} CV^2(t) \quad (2-α).$$

Η ενέργεια $W(t)$ που είναι αποθηκευμένη ανάμεσα των δύο παράλληλων πλακών, εξαιτίας της κίνησης τους, θα μετασχηματιστεί σε μηχανικό έργο όποτε έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$dW(t) = -F(t) dS \quad (2-β).$$

όπου: $dS \rightarrow$ η αλλαγή στην απόσταση των δύο παράλληλων πλακών.

Η δύναμη η οποία ασκείται είναι ο αριθμητικός μέσος της εξίσωσης όποτε δίνεται από την σχέση:

$$F = \frac{1}{2} \frac{dC}{dS} \left[\frac{1}{\int_0^T V^2(t) dt} \right] = \frac{1}{2} \frac{dC}{dS} V^2 \quad (2-\gamma).$$

Αν η τάση V μετράται σε Volts, η επιφάνεια A σε m^2 , η απόσταση S σε m , επομένως η δύναμη F μετράται σε Newton.

Ακόμα στο υποκεφάλαιο 2.2-β υπάρχουν φωτογραφίες και σχήματα των σφαιρικών διακένων.

2.3-γ ΩΜΙΚΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ.

Για την χρησιμοποίηση των ωμικών καταμεριστών για να μετρήσουμε υψηλές τάσεις ισχύει ότι έχουμε περιγράψει και στο υποκεφάλαιο 2.2-γ όμως με την διαφορά ότι όταν είμαστε στην περίπτωση να έχουμε εναλλασσόμενες τάσεις υπάρχει εμφάνιση αυτεπαγωγών στον καταμεριστή $L2$ και $L1$. Συμπερασματικά υφίσταται μια σύνθετη αντίσταση $Z2$ στην χαμηλή τάση και μια σύνθετη αντίσταση $Z1$ στην υψηλή τάση με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 2.Z και έχει τιμές:

$$Z2 = R2 + jX2 \quad \text{και} \quad Z1 = R1 + jX1.$$

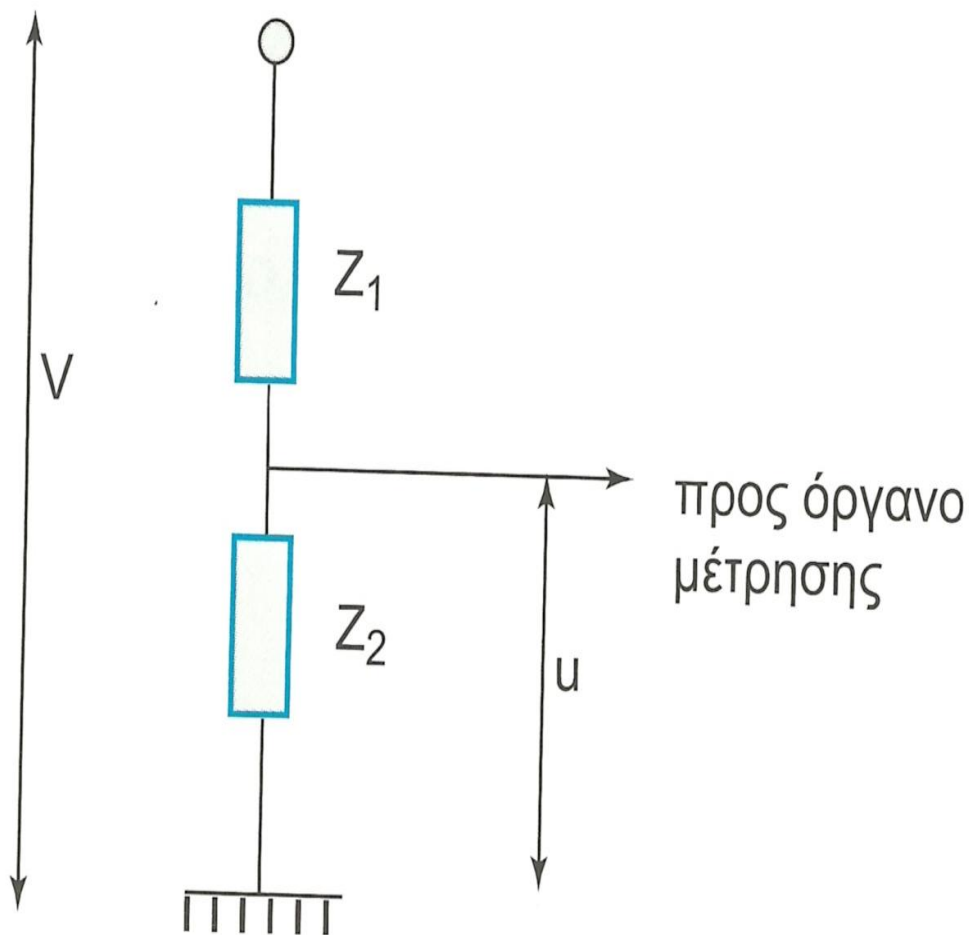
Κατά συνέπεια ο λόγος καταμερισμού κ δίνεται από την σχέση:

$$\kappa = \frac{Z2}{Z1 + Z2} = \frac{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}{\sqrt{(R1 + R_2)^2 + (X1 + X_2)^2}} e^{j\{\tan^{-1}\left(\frac{X_2}{R_2}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{X1 + X_2}{R1 + R_2}\right)\}} \quad (2-\theta).$$

Για να είναι συνεπώς ο καταμεριστής ωμικός επιβάλλεται ο λόγος καταμερισμού κ να είναι πραγματικός αριθμός. Τότε υπάρχει η ακόλουθη σχέση:

$$\tan^{-1}\left(\frac{X_2}{R_2}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{X1 + X_2}{R1 + R_2}\right) = 0 \rightarrow \frac{X_2}{R_2} - \frac{X1 + X_2}{R1 + R_2} = 0 \rightarrow \frac{X_2}{R_2} = \frac{X1 + X_2}{R1 + R_2} \rightarrow \frac{X1}{R1} = \frac{X_2}{R_2} \quad (2-1).$$

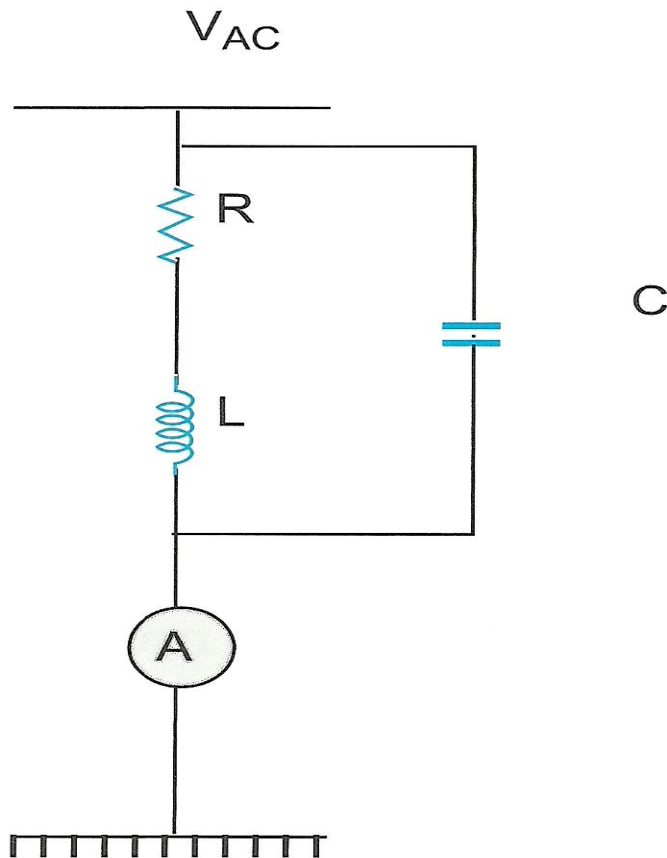
Σημειώνεται ότι στο ενδεχόμενο που οι εναλλασσόμενες τάσεις φτάσουν πάνω από τα 100kV εκείνη την στιγμή δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ωμικοί καταμεριστές εξαιτίας των παράσιτων χωρητικοτήτων C που εμφανίζονται ως προς την γη και των αυξημένων θερμικών απωλειών πάνω στις αντιστάσεις.



Σχήμα 2.Z: Ο ωμικός καταμεριστής για την μέτρηση της υψηλής εναλλασσόμενης τάσης.

2.3-δ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΝ ΣΕΙΡΑ.

Σε γενικές γραμμές για την χρησιμοποίηση αμπερομέτρου και αντίστασης εν σειρά για να μετρήσουμε υψηλά ρεύματα ισχύει έχουμε περιγράψει και στο υποκεφάλαιο 2.2-δ με την διαφορά ότι όταν είμαστε στην περίπτωση που η τάση που θα μετρήσουμε είναι εναλλασσόμενη εκείνη την στιγμή εμφανίζεται παράσιτη χωρητικότητα C και περαιτέρω υφίσταται και η αυτεπαγωγή του συστήματος μέτρησης L , με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 2.Η Το συνολικό μήκος των κυλίνδρων στους οποίους βρίσκονται οι αντιστάσεις είναι κατά προσέγγιση 2 m για κάθε MVolt.



Σχήμα 2.Η: Το κύκλωμα μέτρησης της υψηλής εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιώντας αμπερόμετρο και αντίσταση εν σειρά παίρνοντας υπόψη την παράσιτη χωρητικότητα C και την αυτεπαγωγή L του συστήματος μέτρησης.

Η ολική σύνθετη αντίσταση $Z_{ολ}$ του κυκλώματος μέτρησης του σχήματος 2.Η δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Z_{ολ} = \frac{(R+j\omega L) \frac{1}{j\omega C}}{R+jL+\frac{1}{j\omega C}} = \frac{R+j\omega L}{1-\omega^2 LC+j\omega CR} = \frac{R+j\omega L}{1+j\omega CR}$$

Και διότι $\omega^2 LC \cong 0$ βγαίνει η ακόλουθη σχέση:

$$Z_{ολ} = \frac{(R+j\omega L)(1-j\omega CR)}{(1+j\omega CR)(1-j\omega CR)} = \frac{(R+j\omega L)(1-j\omega CR)}{1-(\omega RC)^2} = R + j\omega(L-R^2C) \quad (2-κ).$$

Για να ισχύει η σχέση (2-η) επιβάλλεται η $Z_{ολ}$ να είναι πραγματικός αριθμός, με άλλα λόγια καθαρά ωμική αντίσταση. Τότε λοιπόν έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$L-R^2C=0 \rightarrow R = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2-λ).$$

Επομένως για να πραγματοποιηθεί αυτή η μέτρηση που είπαμε ενδείκνυται να ισχύει η σχέση (2-λ) ώστε λοιπόν το ρεύμα που μετρείται να είναι ανάλογο της τάσης (βλέπε και σχέση 2-η).

2.3-ε ΜΕΘΟΔΟΣ CHUBB-FORTESCUE.

Η πιο συνηθισμένη μεθοδολογία για να μπορούμε να μετρήσουμε την μέγιστη τιμή μιας εναλλασσόμενης υψηλής τάσης είναι η μέθοδος Chubb-Fortescue. Το κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την μέθοδο Chubb-Fortescue υποστηρίζεται στο σχήμα 2.Θ.α Αυτό το κύκλωμα αποτελείται από έναν πυκνωτή C ο οποίος έχει την ιδιότητα να αντέχει στην υψηλή τάση που θέλουμε να μετρήσουμε. Ακόμη, αποτελείται από δύο ανορθωτές D2 και D1, που είναι συνδεδεμένοι αντιπαράλληλα μεταξύ τους. Επίσης, αποτελείται από ένα αμπερόμετρο που μετράει το ρεύμα σε mA, που έχει αμελητέα αντίσταση και τέλος το κύκλωμα αποτελείται και από έναν σπινθηριστή για προστασία του οργάνου από υπέρταση.

Όπως δείχνεται και στο σχήμα 2.Θ.α το μέγεθος που θέλουμε να μετρήσουμε είναι η τάση $u(t)$ και ως εκ τούτου ισχύει:

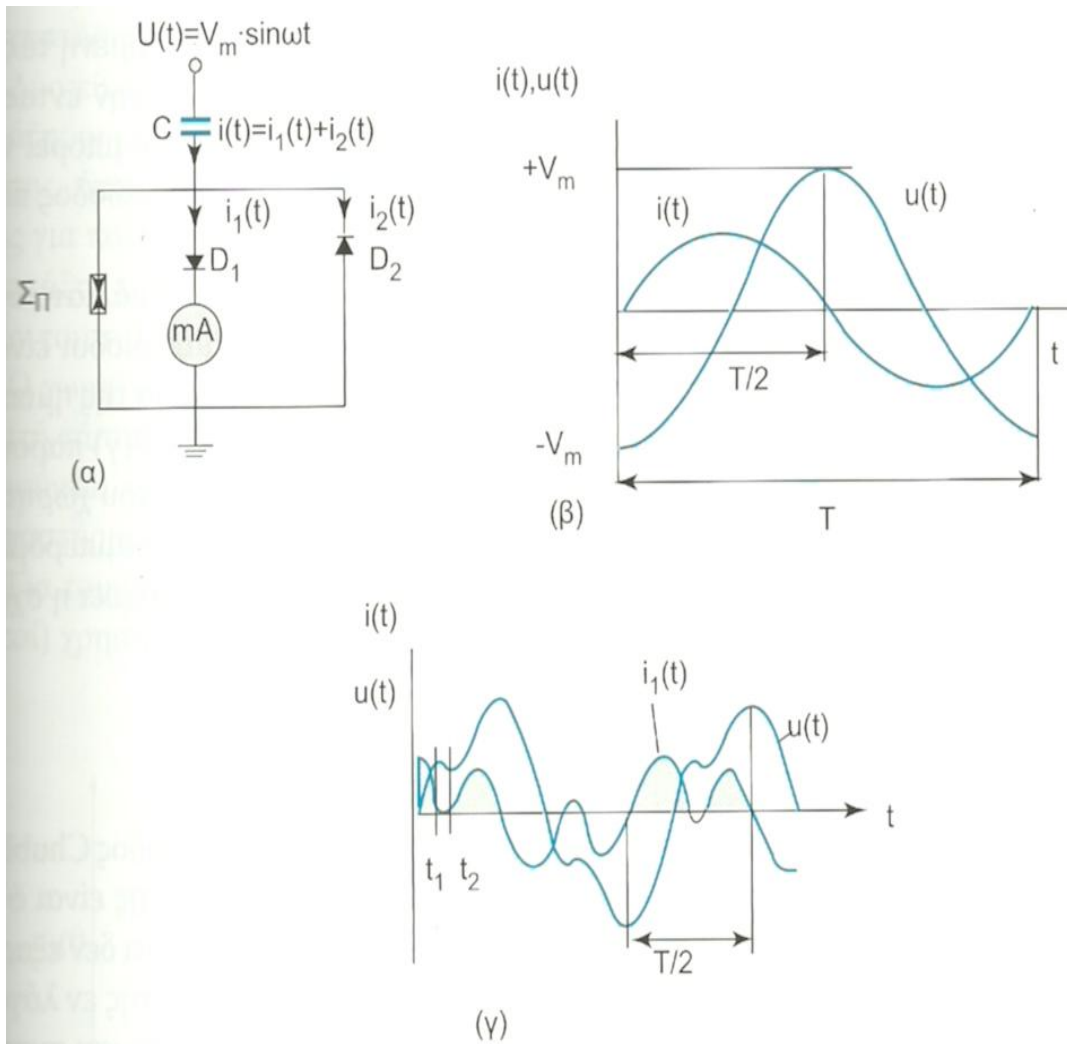
$$i_1(t)=i(t)=C\frac{du(t)}{dt} \quad \text{για } 0 < t < \frac{T}{2} \rightarrow \text{άγει ο ανορθωτής D1.}$$

Κατά συνέπεια έχουμε:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{T} \int_0^T i_1(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i_1(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} C \frac{du(t)}{dt} dt = \frac{1}{T} \left[u \left[\frac{T}{2} \right] - u(0) \right] = \\ &= \frac{C}{T} (U_{\max} - (-U_{\max})) = 2fC * U_{\max} \rightarrow U_{\max} = \frac{I_2}{2fC} \quad (2-\mu). \end{aligned}$$

Τότε λοιπόν από την σχέση (2-μ) απορρέει ότι η μέγιστη εναλλασσόμενη τάση υπολογίζεται όταν ξέρουμε την συχνότητα f , την ένταση του ρεύματος Π και την χωρητικότητα C . Με την σωστή βαθμονόμηση του αμπερομέτρου που μετράει mA είναι δυνατόν να μετρήσουμε άμεσα την μέγιστη υψηλή τάση U_{\max} . Η παρούσα μεθοδολογία παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη ορθότητα των μετρήσεων.

Η σχέση (2-μ) ισχύει για οποιαδήποτε εναλλασσόμενη τάση και προπάντων όχι απαραίτητα ημιτονοειδής τάση με τον μόνο όρο ότι οι δύο ημιπερίοδοι είναι ίδιες και ότι η τάση παρουσιάζει ένα αποκλειστικά μέγιστο κατά την διάρκεια της ημιπεριόδου. Στο ενδεχόμενο που η τάση έχει την απεικόνιση που έχει το σχήμα... ενώ παρουσιάζει πολλά περισσότερα από ένα μέγιστα σε μια ημιπερίοδο η κατεύθυνση του χωρητικού ρεύματος αναστρέφεται και το ανάστροφο ρεύμα δεν περνά από το αμπερόμετρο που μετράει mA, όμως εξαφανίζεται εντός της παράλληλης διόδου, όποτε σταματάει να ισχύει η σχέση (2-μ).



Σχήμα 2.Θ: α) Το κύκλωμα της διάταξης Chubb-Fortescue, β) Οι κυματομορφές της ανορθωμένου ρεύματος $i_1(t)$ και της υψηλής εναλλασσόμενης τάσης $u(t)$ και γ) Η μορφή της εναλλασσόμενης μη ημιτονοειδούς τάσης που περιλαμβάνει και το αντίστοιχο χωρητικό ρεύμα.

2.3-ζ ΧΩΡΗΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ.

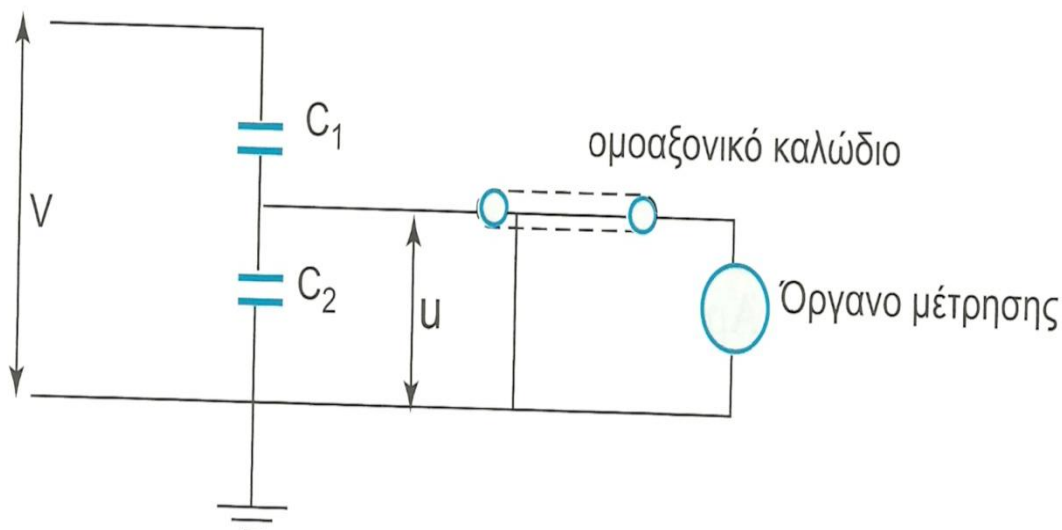
Στο ενδεχόμενο που οι εναλλασσόμενες υψηλές τάσεις που θέλουμε να μετρήσουμε είναι πάνω από τα 100kV χρησιμοποιούμε χωρητικούς καταμεριστές, αφού οι ωμικοί καταμεριστές (που τους οποίους τους περιγράψαμε σε άλλη παράγραφο) παρουσιάζουν μειονεκτήματα σε αυτές τις τάσεις εξαιτίας των πολύ μεγάλων απωλειών που έχουν και εξαιτίας των παράσιτων χωρητικοτήτων ως προς την γη. Στο σχήμα 2.1 δείχνεται ένας τυπικός χωρητικός καταμεριστής με την χρησιμοποίηση πυκνωτών C2 και C1 (να ισχύει ότι $C2 \gg C1$). Η χαμηλή τάση u η οποία και την μετράμε θεωρώντας ότι $Z2 = \frac{1}{j\omega C2}$ και $Z1 = \frac{1}{j\omega C1}$ δίνεται από την σχέση:

$$u = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V \quad (2-v).$$

Επομένως ο λόγος καταμερισμού στο ενδεχόμενο να έχουμε χωρητικό καταμεριστή δίνεται από την σχέση:

$$k = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

(2-ξ).



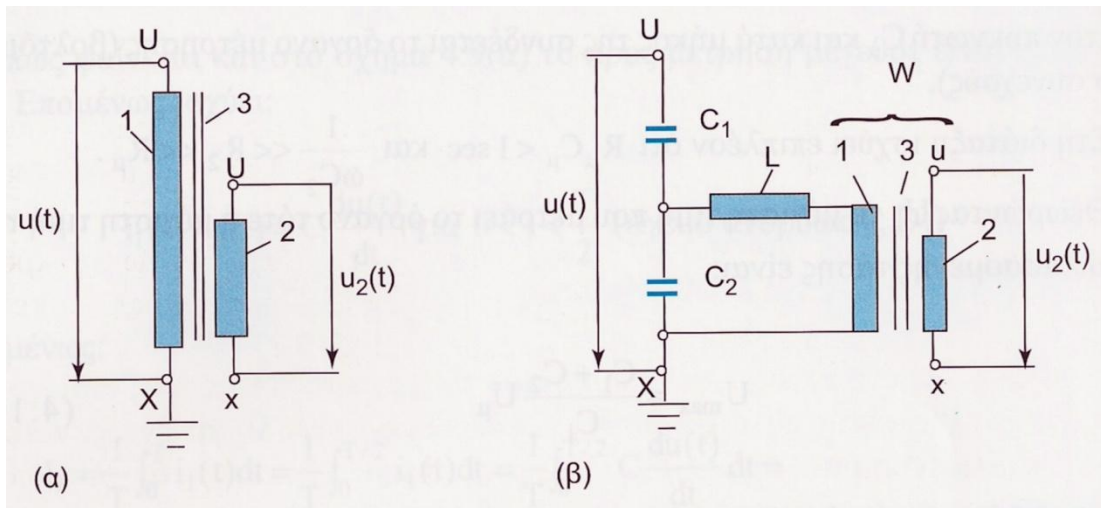
Σχήμα 2.Ι: Ο χωρητικός καταμεριστής.

2.3-η ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΤΑΣΗΣ.

Οι υψηλές εναλλασσόμενες τάσεις έχουν την δυνατότητα να τις μετρήσουμε με πολύ μεγάλη ορθότητα μέσω μετασχηματιστών τάσης. Παρ' όλο που οι συσκευές χρησιμοποιούνται σε όλο το μήκος των δικτύων μεταφοράς, πάντως δεν χρησιμοποιούνται συχνά σε εργαστήρια για να μετρήσουμε υψηλές εναλλασσόμενες τάσεις πάνω από τα 100 kV.

Οι τύποι των μετασχηματιστών τάσης που χρησιμοποιούμε στην πραγματικότητα είναι δύο, οι οποίοι είναι οι χωρητικοί μετασχηματιστές τάσης και οι επαγωγικοί μετασχηματιστές τάσης, που δείχνονται και στο σχήμα 2.Κ.

Οι χωρητικοί μετασχηματιστές τάσης αποτελούνται από έναν επαγωγικό μετασχηματιστή τάσης και από έναν χωρητικό καταμεριστή τάσης. Αυτοί αν και τους χρησιμοποιούμε πολύ τακτικά σε υποσταθμούς (ΔΕΗ ή οικιακούς), πάντως δεν είναι κατάλληλοι για να τους χρησιμοποιήσουμε σε εργαστήρια εξαιτίας του ότι φορτίζουν εξαιρετικά την παροχή της τάσης. Οι επαγωγικοί μετασχηματιστές τάσης για εξαιρετικά υψηλές τάσεις είναι εξαιρετικά ακριβοί, διότι για συχνότητες της τάξης των 50 Hz το γινόμενο της μαγνητικής ροής επί τον αριθμό των στροφών του τυλίγματος υψηλής τάσης είναι εξαιρετικά μεγάλο.

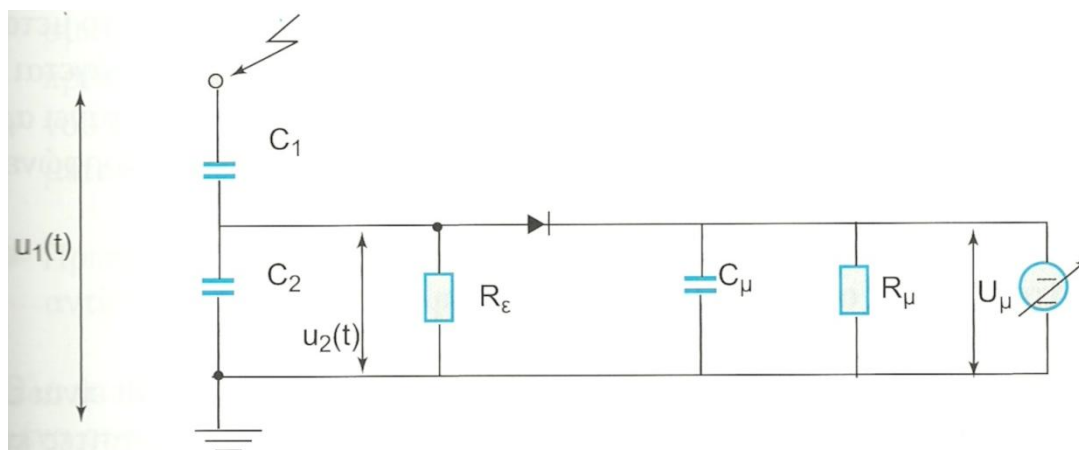


Σχήμα 2.Κ: Οι δύο τύποι μετασχηματιστών τάσης, α) Ο επαγωγικός μετασχηματιστής τάσης και β) Ο χωρητικός μετασχηματιστής τάσης. Οι αριθμοί και τα γράμματα δείχνουν τα εξής: 1 → πρωτεύον τύλιγμα, 2 → δευτερεύον τύλιγμα, 3 → πυρήνας, C_1 και C_2 → χωρητικός καταμεριστής και L → πηνίο συντονισμού.

Για τους ανωτέρω λόγους οι χωρητικοί μετασχηματιστές τάσης και οι επαγωγικοί μετασχηματιστές τάσης τους χρησιμοποιούμε στα εργαστήρια για διακριβώσεις του εξοπλισμού. Το δευτερεύον ενός τέτοιου μετασχηματιστή, που είναι της χαμηλής τάσης, αναπαράγει με πολύ μεγάλη ορθότητα την τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, που είναι της υψηλής τάσης. Κατά ακολουθία ανάλογα με το μηχάνημα μέτρησης το οποίο θα συνδέσουμε στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, μετράμε την ενεργό τιμή, την μέγιστη τιμή, την peak to peak και άλλα, της εναλλασσόμενης υψηλής τάσης.

2.3-0 ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ DAVIS, BOWDLER ΚΑΙ STARDRING.

Η διάταξη κατά Davis, Bowdler και Stardring κάνει τις μετρήσεις για την μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσης όπως και η μέθοδος Chubb-Fortescue. Η διαφορά της είναι ότι δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλη ορθότητα στις μετρήσεις και επιπροσθέτως έχει πλεονέκτημα στο ότι δεν εξαρτώνται από την συχνότητα f οι μετρήσεις. Το κύκλωμα αυτής της διάταξης φαίνεται στο σχήμα 2.Λ. Με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 2.Λ βλέπουμε ότι το κύκλωμα αποτελείται από μια ανορθωτική διάταξη και έναν χωρητικό καταμεριστή, καθώς τις μετρήσεις τις κάνουμε από ένα βολτόμετρο συνεχούς. Αναλυτικά αυτή η διάταξη αποτελείται από δύο πυκνωτές C_2 και C_1 , που αποτελούν τον χωρητικό καταμεριστή και από μια δίοδο, η οποία φορτίζει τον πυκνωτή C_m με την μέγιστη τιμή της χαμηλής τάσης $u(t)$ του καταμεριστή. Η αντίσταση R_m εκφορτίζει τον πυκνωτή C_m και κατά την έκταση της συνδέεται το όργανο μέτρησης, που είναι το βολτόμετρο συνεχούς.



Σχήμα 2.Α: Το κύκλωμα της διάταξης κατά Davis, Bowdler και Starring.

Ακόμα, στην διάταξη ισχύει επιπροσθέτως ότι $C_{\mu} R_{\mu} < 1 \text{ sec}$ και $\frac{1}{\omega C_2} \ll R_2 \ll R_{\mu}$.

Θεωρώντας ότι το U_{μ} είναι η μέγιστη τιμή που μετράμε με το όργανο μέτρησης, που είναι το βολτόμετρο συνεχούς, εκείνη την στιγμή η μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσης δίνεται από την σχέση:

$$U_{\max} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} U_{\mu} \quad (2-0).$$

2.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Σε αυτήν την παράγραφο θα αναλύσουμε το πώς μετράμε υψηλές κρουστικές τάσεις.

2.4-α ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΨΗΛΕΣ ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ.

Τις υψηλές κρουστικές τάσεις τις μετράμε είτε μέσω καταμεριστών, είτε μέσω σφαιρικών διακένων, όπως τα περιγράψαμε στο υποκεφάλαιο 2-2-α.

Για να μετρήσουμε τις υψηλές κρουστικές τάσεις επιβάλλεται να λάβουμε υπόψη ότι αποτελεί ένα ταχύτατο μεταβατικό φαινόμενο. Κατά αποτέλεσμα επομένως κατά την παραγωγή του παράγεται ένα ισχυρό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του οποίου το φάσμα συχνοτήτων πηγαίνει πολύ ψηλά. Αυτό έχει ως επακόλουθο το σήμα που θέλουμε να μετρήσουμε να παραμορφώνεται, εξαιτίας αυτού το πεδίου αν πιθανόν δεν λάβουμε τα σχετικά μέτρα.

2.4-β ΑΤΡΩΣΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.

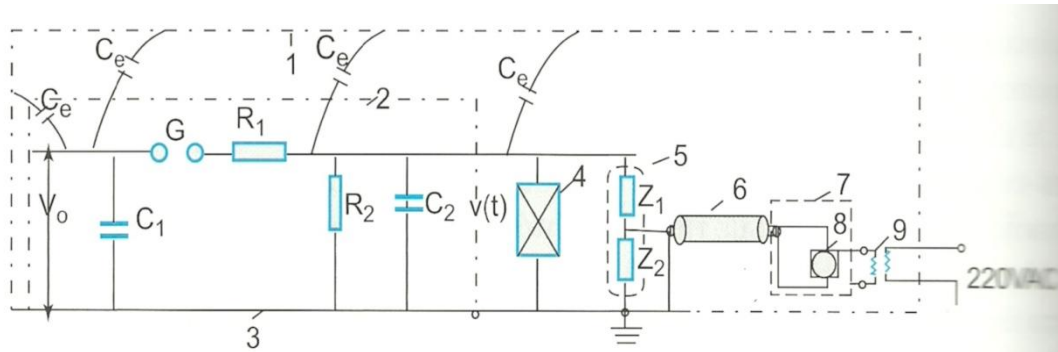
Κατά την ώρα που δημιουργούνται οι υψηλές κρουστικές τάσεις η μεταβολή της τάσης $\frac{dU}{dt}$ είναι εξαιρετικά μεγάλη και φτάνει τις εκατοντάδες kV/μs, με επακόλουθο οι παράσιτες

εντάσεις $i=C\frac{dU}{dt}$ να είναι και αυτές αρκετά μεγάλες. Οι παράσιτες εντάσεις $i=C\frac{dU}{dt}$ προκαλούν τάσεις –που είναι επαγόμενες τάσεις-, εξαιτίας των ισχυρών μεταβατικών πεδίων, οι οποίες προστίθενται στην υψηλή κρουστική τάση που θέλουμε να μετρήσουμε, αλλοιώνοντάς την τιμή της.

Η ατρωσία του καταγραφικού του καταγραφικού συστήματος κρουστικής τάσης σχετίζεται με την δεξιότητα του να δουλεύει δίχως διαστρέβλωση της ικανότητας του με την εμφάνιση ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών εξαιτίας των κρουστικών τάσεων. Προκειμένου να επιτευχθεί η ατρωσία του καταγραφικού εξοπλισμού χρειάζεται να έχουν εξασφαλιστεί τα ακόλουθα:

- I. Όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούμε χρειάζεται να συνίσταται μέσα στον κλωβό Faraday. Οι συσκευές υψηλής τάσης εξαιτίας του μεγάλου τους όγκου παρουσιάζουν παράσιτες χωρητικότητες ως προς τον περιβάλλοντα χώρο που κάνουμε τις δοκιμές. Με τον τρόπο αυτόν φτιάχνεται το ρεύμα το οποίο περνά έξω από τον περιβάλλοντα χώρο που κάνουμε τις δοκιμές που προκαλεί υπερτάσεις που είναι καταστροφικές. Ο κλωβός Faraday είναι ένας κλωβός που είναι γειωμένος και είναι φτιαγμένος από μέταλλο που με την χρησιμοποίηση του οπίου το ρεύμα που δημιουργείται εξαιτίας των παράσιτων χωρητικοτήτων περνάει μέσα από τον κλωβό και μέσω της γείωσης προς την γη δίχως ως ακολούθως να επηρεάζονται οι μετρήσεις. Χρειάζεται να σημειωθεί ότι το εσωτερικό των εργαστηρίων υψηλών τάσεων αποτελεί κλωβό Faraday, διότι οι τοίχοι, το πάτωμα και το ταβάνι έχουν στο εσωτερικό τους πλέγμα το οποίο το γειώνουμε.
- II. Τα όργανα με τα οποία κάνουμε τις μετρήσεις - που μπορεί να είναι βολτόμετρο, παλμογράφος ή οποιοσδήποτε άλλο ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης – χρειάζεται να συνίσταται μέσα σε μεταλλικό θάλαμο που είναι θωρακισμένος, ώστε λοιπόν να αποφύγουμε τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Επιπλέον η τροφοδοσία τους χρειάζεται να γίνεται μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης και φίλτρων αποκοπής υψηλών συχνοτήτων.
- III. Το ομοαξονικό καλώδιο, το οποίο το χρησιμοποιούμε για την μεταφορά των σημάτων από την πλευρά της χαμηλής τάσης του καταμεριστή – έξω στον θάλαμο που είναι θωρακισμένος – προς τον παλμογράφο – μέσα στον θάλαμο που είναι θωρακισμένος – επιβάλλεται να είναι διπλής θωράκισης και να το έχουμε τοποθετήσει μέσα σε μεταλλικό σωλήνα που είναι γειωμένος. Με αυτόν τον τρόπο δεν προκαλείται θόρυβος στο σήμα που μεταφέρουμε στο ομοαξονικό καλώδιο.
- IV. Στον χώρο του εργαστηρίου επιβάλλεται να υφίσταται σύστημα γείωσης με χαμηλή αυτεπαγωγή και αντίσταση.

Όλα τα ανωτέρω δείχνονται στο σχήμα 2.Μ το οποίο δείχνει από τι αποτελείται ένα σύστημα με το οποίο μετράμε τις κρουστικές τάσεις (όταν υπάρχει ενδεχόμενο να έχουμε μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια τύπου α που είναι μέσα σε εργαστήριο υψηλών τάσεων.



Σχήμα 2.Μ: Το σύστημα μέτρησης των κρουστικών τάσεων μέσα σε εργαστήριο υψηλών τάσεων. Οι αριθμοί δείχνουν τα εξής: 1 → κλωβός Faraday, 2 → μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια τύπου α, 3 → γειωμένο μεταλλικό έλασμα, 4 → δοκίμιο, 5 → καταμεριστής τάσης, 6 → ομοαξονικό καλώδιο, 7 → θωρακισμένος θάλαμος, 8 → παλμογράφος, 9 → μετασχηματιστής απομόνωσης, C_e → παράσιτες χωρητικότητες.

2.4-γ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΩΝ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Η κρουστική τάση είναι εσπευσμένα μεταβατικό φαινόμενο με το φάσμα των συχνοτήτων να εκτείνεται σε τιμές που φτάνουν το άπειρο και την τάση να περιέχει σε γενικές γραμμές όλες αυτές τις συχνότητες. Για να μετρήσουμε με ορθότητα την τάση αυτή χρειάζεται ο καταμεριστής που θα χρησιμοποιήσουμε να έχει την δυνατότητα να μεταφέρει όσο περισσότερο κομμάτι αυτού του φάσματος γίνεται.

Αντί να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά της συχνότητας ενός καταμεριστή είναι περισσότερο συνηθισμένο να μελετηθεί η συμπεριφορά του καταμεριστή στο ενδεχόμενο που στην είσοδο του – δηλαδή, στην μεριά της υψηλής τάσης – εφαρμόσουμε την βηματική τάση $S(t)$ η οποία την ορίζουμε ως ακολούθως:

$$S(t) = \begin{cases} 0 & \text{για } t < 0 \\ 1 & \text{για } t > 0 \end{cases} \quad (2-\pi).$$

Εάν εφαρμόσουμε την βηματική τάση $S(t)$ που έχουμε στην σχέση (2-π) εκείνη την στιγμή η απόκριση της βηματικής τάσης $u(t)$ του καταμεριστή – που είναι η έξοδος – είναι η $u(t)$. Για κάθε άλλη συνάρτηση της εισόδου $u_1(t)$ η τάση της εξόδου είναι δυνατόν να την βρούμε με τον ίδιο τρόπο. Εάν ο μετασχηματισμός Laplace της απόκρισης της βηματικής τάσης $u(t)$ και της τάσης της εισόδου $u_1(t)$ είναι $U(S)$ και $V_1(S)$ αντιστοίχως άρα επομένως έχουμε την παρακάτω σχέση:

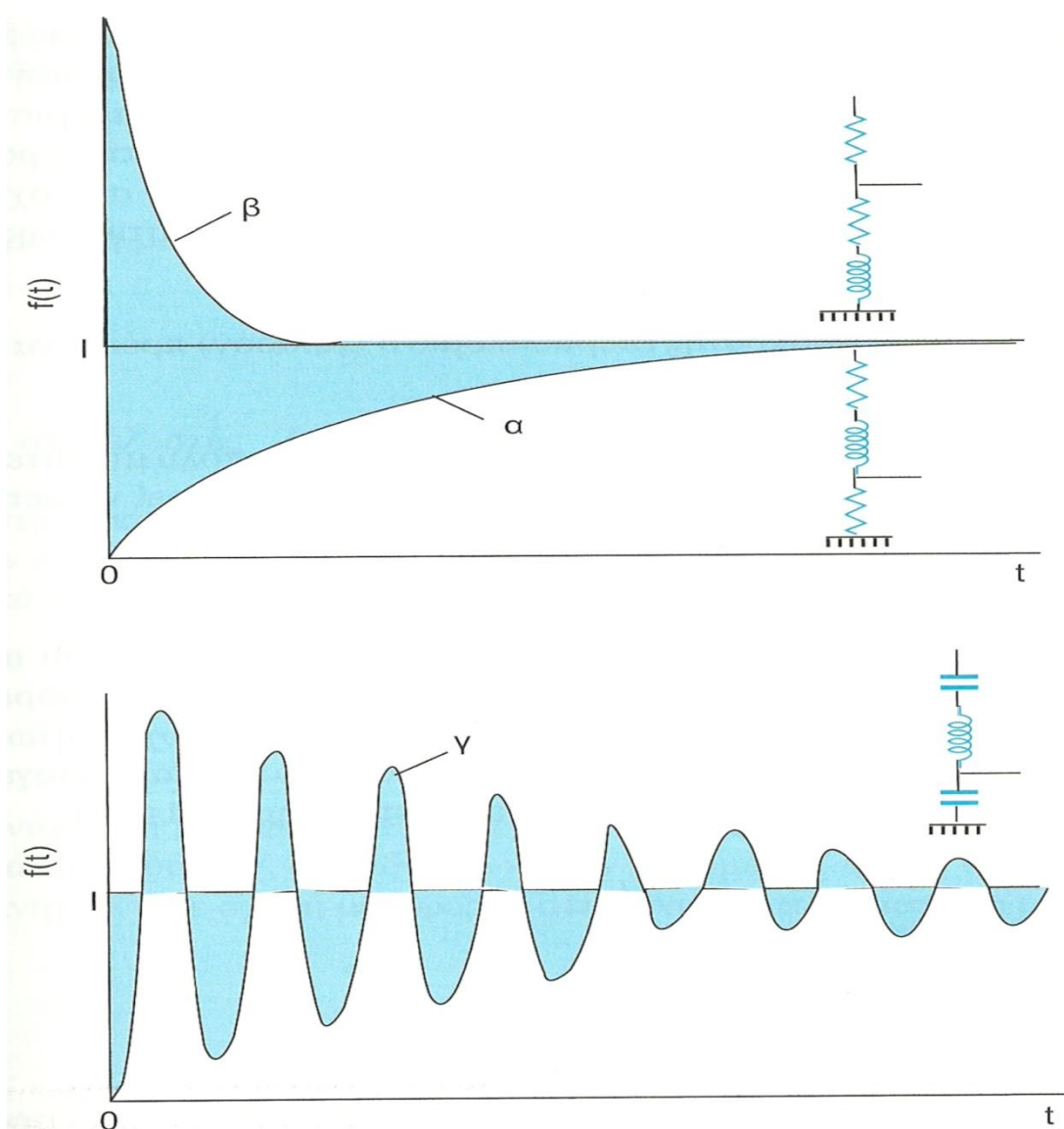
$$V_2(S) = V_1(S) * U(S) \quad (2-\rho).$$

Και για το πεδίο του χρόνου έχουμε την παρακάτω σχέση:

$$V_2(t) = L^{-1}[V_2(S)] \quad (2-\sigma).$$

Για την σωστή περιγραφή $u_1(t)$ η κυματομορφή της απόκρισης της βηματικής τάσης $u(t)$ χρειάζεται να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο κοντά στην βηματική τάση $S(t)$. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορούμε να μετρήσουμε με αξιοπιστία την απόκριση του καταμεριστή είναι η μέτρηση του εμβαδού της επιφάνειας που περικλείεται ανάμεσα της ιδανικής και της πραγματικής απόκρισης του καταμεριστή, με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 2.N. Αυτή η επιφάνεια έχει διαστάσεις χρόνου. Τα κριτήρια με τα οποία βρίσκουμε την αξιοπιστία αυτής της μεθοδολογίας είναι τα εξής:

- Ο συνολικός χρόνος απόκρισης – που είναι το περικλειόμενο εμβαδόν – ενδείκνυται να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρός.
- Η απόκριση επιβάλλεται να πηγαίνει στην σωστή τιμή σε εξαιρετικά πιο μικρό χρόνο από τον χρόνο ανόδου της κυματομορφής της τάσης, ώστε λοιπόν να είναι δυνατόν να το μετρήσουμε.



Σχήμα 2.N: Οι πιθανές αποκρίσεις στην περίπτωση καταμεριστών για την μέτρηση κρουστικών τάσεων, α) Για ωμικό καταμεριστή με επαγωγική συμπεριφορά στην πλευρά της υψηλής τάσης, β) Για ωμικό καταμεριστή με επαγωγική συμπεριφορά στην πλευρά της χαμηλής τάσης και γ) Για χωρητικό καταμεριστή με επαγωγική συμπεριφορά στην στην πλευρά της υψηλής τάσης.

2.4-δ ΧΩΡΗΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ.

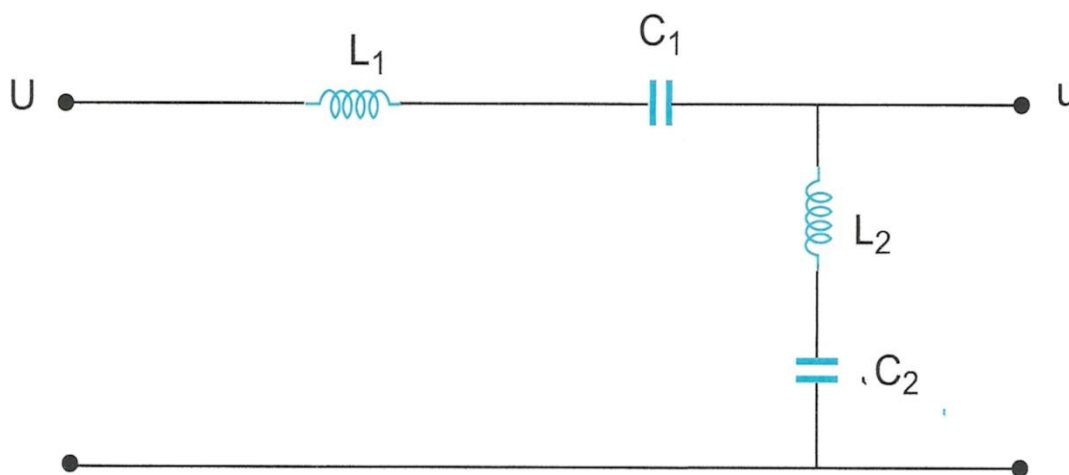
Για τον χωρητικό καταμεριστή σύμφωνα με όσα με όσα αναφέραμε και στο ενδεχόμενο που μετράμε υψηλές εναλλασσόμενες τάσεις στην 2.3-ζ ισχύει ότι ο λόγος καταμερισμού είναι ανεξάρτητος της συχνότητας και ίσος με τον $\frac{C_1}{C_1+C_2}$. Αυτό ωστόσο στην πραγματικότητα δεν ισχύει επειδή οι αγωγοί σύνδεσης τόσο του κλάδου της χαμηλής τάσης όσο και του κλάδου της υψηλής τάσης του καταμεριστή συμπεριλαμβάνουν αυτεπαγωγές που από κοινού με την χωρητικότητα του καταμεριστή απαρτίζουν για τις υψηλότερες συχνότητες ταλαντούμενα κυκλώματα. Αν λάβουμε υπόψη τις αυτεπαγωγές των περιοχών υψηλής και χαμηλής τάσης του καταμεριστή απορρέει το ισοδύναμο κύκλωμα του κυκλώματος που είναι στο σχήμα 2.Ξ για το οποίο ισχύει ότι ο λόγος καταμερισμού δίνεται από την σχέση:

$$K = \frac{u}{V} = \frac{C_2(1-L_1*C_1*\omega^2)}{C_1(1-L_2*C_2*\omega^2)} \quad (2-\tau).$$

Αρα λοιπόν η συνάρτηση ανοιγμένη σε σχέση μεταφοράς 1 προς 1 δίνεται από την σχέση:

$$F(j\omega) = \frac{C_2(1-L_1*C_1*\omega^2)}{C_1(1-L_2*C_2*\omega^2)} \quad (2-\upsilon).$$

Η εμφάνιση των γινόμενων LC στην συνάρτηση μεταφοράς θα έχει ως επακόλουθο μια ταλαντούμενη απόκριση στην μοναδιαία βαθμίδα. Δίχως ως εκ τούτου την εισαγωγή κάποιας απόσβεσης ο χωρητικός καταμεριστής δεν είναι δυνατόν να τον χρησιμοποιήσουμε όταν θέλουμε να κάνουμε μέτρηση τάσεων που συμπεριλαμβάνουν υψηλές συχνότητες. Στο σχήμα 2.Ξ1 απεικονίζεται ένας χωρητικός καταμεριστής.



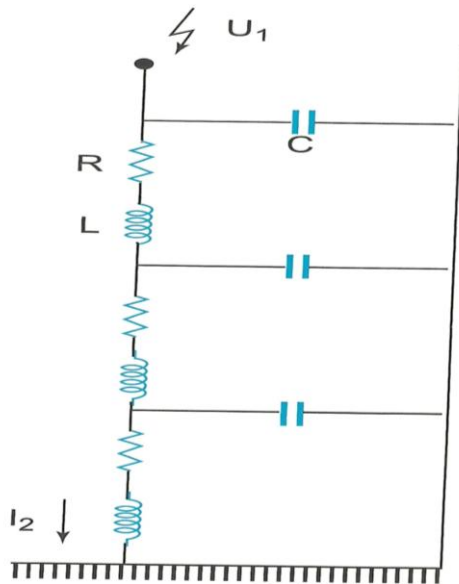
Σχήμα 2.Ξ: Το ισοδύναμο κύκλωμα του χωρητικού καταμεριστή.



Σχήμα 1.Ξ1: Χωρητικός καταμεριστής τάσης με εν σειρά απόσβεση για κρουστική τάση 6 MV (ευγενική προσφορά EdF, Les Renardieres, Γαλλία).

2.4-ε ΩΜΙΚΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ.

Ένας ωμικός καταμεριστής ξέχωρα από την ωμική του αντίσταση εμφανίζει και αυτεπαγωγές και παράσιτες χωρητικότητες. Μια προσέγγιση που είναι δυνατόν να γίνει σε θεωρητικό βάθος για την επιδεξιότητα για να μεταφέρουμε υψηλές συχνότητες που συμπεριλαμβάνονται σε μια κρουστική τάση είναι η εξομοίωση του σε μια ομοιόμορφη γραμμή που το ένα της άκρο είναι γειωμένο με τρόπο που δείχνεται και στο σχήμα 2.Ο.



Σχήμα 2.0: Η παράσταση του ωμικού καταμεριστή ως συνεχούς γραμμής.

Η τάση U_1 που είναι στην αρχή μιας ομοιόμορφης γραμμής συνδυάζεται με την τάση U_2 και το ρεύμα I_2 στο τέλος της γραμμής από την σχέση:

$$U_1 = U_2 * \cosh(\gamma l) + I_2 * Z_0 * \sinh(\gamma l) \quad (2-\phi).$$

Για γραμμή που έχει γειωμένο το τέλος της ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$U_1 = I_2 * Z_0 * \sinh(\gamma l) \quad (2-\chi).$$

Οι παράγοντες $Z_0 = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{j\omega C}}$ και $\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) * j\omega C}$ είναι η κυματική αντίσταση και το μέτρο μετάδοσης της γραμμής, όπου τα μεγέθη R' , C' , L' παριστούν ποσότητες ανά μονάδα μήκους. Ενταύθα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν τα συνολικά R , C , L όποτε οι καινούργιες σχέσεις θα είναι:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{j\omega C}} \quad \text{και} \quad \gamma = \sqrt{(R + j\omega L) * j\omega C} \quad (2-\psi).$$

Η συνάρτηση μεταφοράς $F(j\omega)$ έχει επιλεγεί ως ο λόγος της τάσης εξόδου u προς την τάση εισόδου V , που με άλλα λόγια $F(j\omega) = \frac{u}{V}$. Ως εκ τούτου η τιμή συναρτήσεως μεταφοράς ανηγμένη σε σχέση μεταφοράς στην μόνιμη κατάσταση ίσια με το ένα είναι η παρακάτω σχέση:

$$F_0(j\omega) = F(j) = \frac{R+r}{r} \cong \frac{u}{V} * \frac{R}{r} \quad (2-\omega).$$

Όπου:

Το R και το r είναι οι ωμικές αντιστάσεις των βραχιόνων χαμηλής και υψηλής τάσης αντιστοίχως.

Εξαιτίας του ότι $V=U_1$ και $u=I_2*Z$ όπου η Z είναι η σύνθετη αντίσταση του βραχίονα χαμηλής τάσης, απορρέει η παρακάτω σχέση:

$$F_0(j\omega) = \frac{R}{Z_0 * \sinh(\gamma l)} * \frac{Z}{r} \quad (2-αα).$$

Ο χρόνος απόκρισης T_0 δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$T_0 = \frac{1 - F_0(j\omega)}{j\omega} \quad \text{όταν } \omega \rightarrow 0 \quad (2-αβ).$$

Αντικαθιστώντας την σχέση $\sin(\gamma l) = \gamma l + \frac{(\gamma l)^3}{6}$ στην σχέση (2-αβ) και τις τιμές των Z_0 και γl από την (2-ψ) απορρέει η παρακάτω σχέση:

$$T_0 = \frac{L}{R} + \frac{RC}{6} \quad (2-αγ).$$

Από την σχέση (2-αγ) προκύπτει ότι ο χρόνος απόκρισης ενός ωμικού καταμεριστή εξαρτάται από την ολική παράσιτη χωρητικότητα C και από την ολική αυτεπαγωγή L . Με την ελάττωση των μεγεθών αυτών καλυτερεύει η απόκριση του καταμεριστή. Οποσδήποτε στο ενδεχόμενο που αγνοηθούν η ολική αυτεπαγωγή L και η ολική παράσιτη χωρητικότητα C – στην ιδανική περίπτωση – ισχύουν οι σχέσεις (2-δ) και η (2-ε).

2.4-ζ ΜΙΚΤΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ Η ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ ΤΥΠΟΥ ZAENGL.

Σύμφωνα με όσα παρουσιάσαμε στο υποκεφάλαιο 2.4-δ η περιοχή της υψηλής τάσης ενός χωρητικού καταμεριστή η συμπεριφορά του είναι σαν είναι περιοχή μιας γραμμής μεταφοράς με βραχυκυκλωμένο το τέλος της και με εξαιρετικά μικρή απόσβεση. Εάν στο πάνω άκρο του καταμεριστή βάλουμε μια τάση, τότε η πρόσωση της τάσης αυτής με ανεστραμμένη πολικότητα θα επιστρέψει κατόπιν από ανάκλαση 2τ – όπου με τ συμβολίζουμε τον χρόνο απλής διαδρομής του καταμεριστή – στο βραχυκυκλωμένο άκρο. Η βασική συχνότητα ταλαντώσεων που θα απορρέει λόγω της ανάκλασης αυτής δίνεται από την σχέση:

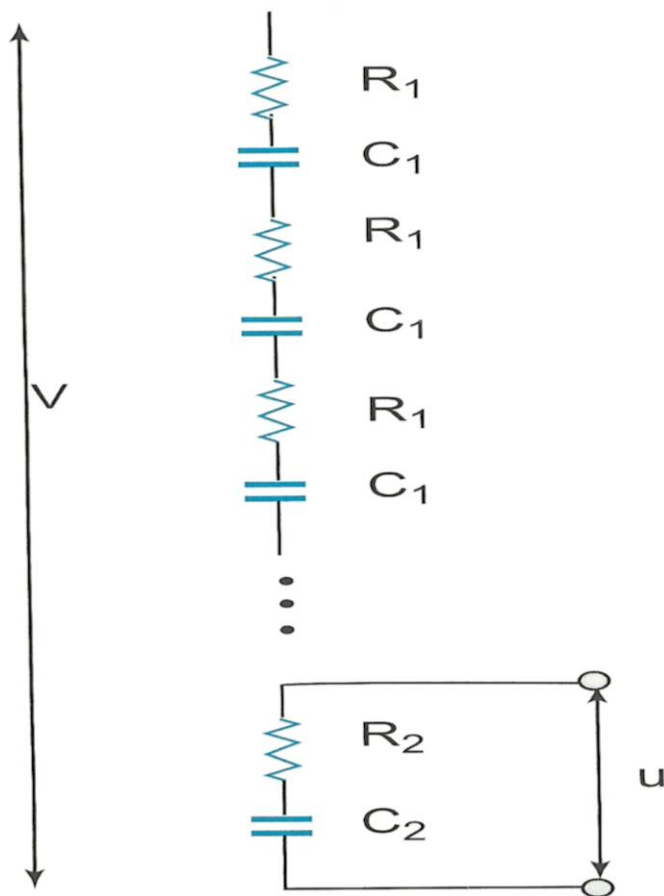
$$f = \frac{1}{2\tau} \quad (2-αδ).$$

Η ταχύτητα μετάδοσης ενός κύματος πάνω σε μια γραμμή μεταφοράς δίχως απόσβεση με διαμήκη αυτεπαγωγή L' ανά μονάδα μήκους και εγκάρσια χωρητικότητα C' ανά μονάδα μήκους δίνεται από την σχέση $u = \frac{1}{\sqrt{L'C}}$. Εάν με L συμβολίσουμε την συνολική αυτεπαγωγή L , l συμβολίσουμε μήκος του και C_e συμβολίσουμε την παράσιτη χωρητικότητα C ως προς την

γη, επομένως βγάζουμε τις εξής σχέσεις: $C' = \frac{Ce}{l}$ και $L' = \frac{L}{l}$ όποτε έχουμε $u = \frac{1}{\sqrt{L' * C'e}}$ και λοιπόν η θεμελιώδης συχνότητα ταλαντώσεων από ανακλάσεις θα δίνεται από την σχέση:

$$f = \frac{1}{2\sqrt{L * Ce}} \quad (2-αε).$$

Για την απόσβεση των ταλαντώσεων αυτών βάζουμε εν σειρά με τις χωρητικότητες του βραχίονα υψηλής τάσης του καταμεριστή αντιστάσεις με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 2.Π. Οι αντιστάσεις αυτές χρειάζεται να έχουν υψηλή τιμή ώστε λοιπόν κάθε φορά που βάλουμε ένα κύμα τάσης στο πάνω μέρος του καταμεριστή αυτό να αποσβεστεί κάθε φορά που πηγαίνει στο κατώτερο άκρο του ως προς την γη. Ένας όμοιος χωρητικός καταμεριστής ο οποίος είναι αποσβεσμένος τον ξέρουμε και ως καταμεριστής τύπου Zaengl ή ως μικτός καταμεριστής.



Σχήμα 2.Π: Ο αποσβεσμένος χωρητικός καταμεριστής ή καταμεριστής τύπου Zaengl ή μικτός καταμεριστής.

Για την συνολική αντίσταση R ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$R = 3 \div 4 \sqrt{\frac{L}{Ce}} \quad (2-αζ).$$

Όπου:

$Ce \rightarrow$ η συνολική παράσιτη (εγκάρσια) χωρητικότητα και

L → η συνολική διαμήκη αυτεπαγωγή.

Για το σχήμα 2.Π ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$R1 = \frac{R}{N} \quad (2-αη).$$

Όπου: N → το πλήθος των ίσων αντιστάσεων R_1 , το οποίο είναι ίδιο με το πλήθος των όμοιων πυκνωτών C_1 .

Επιπροσθέτως ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$C_1 = NC \left(1 - \frac{ce}{6c}\right) \quad (2-αθ).$$

Ο μικτός καταμεριστής θεωρείται παραδειγματικός για να μετρήσουμε τάσεις που αλλάζουν απότομα, κατά τρόπο που αλλάζουν και οι κρουστικές τάσεις.

2.4-η ΤΑ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Ο βραχίονας χαμηλής τάσης ενός καταμεριστή τάσης όταν θέλουμε να μετρήσουμε κρουστικές τάσεις ενώνεται με τον παλμογράφο μέσω ομοαξονικού καλωδίου. Για ένα ομοαξονικό καλώδιο δίχως απώλειες η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος v δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$v = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2-αι).$$

Όπου:

C → η χωρητικότητα του καλωδίου ανά μονάδα μήκους.

L → η αυτεπαγωγή του καλωδίου ανά μονάδα μήκους.

Η ταχύτητα διάδοσης ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος v ισούται επιπροσθέτως με:

$$v = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}} \quad (2-ακ).$$

Όπου:

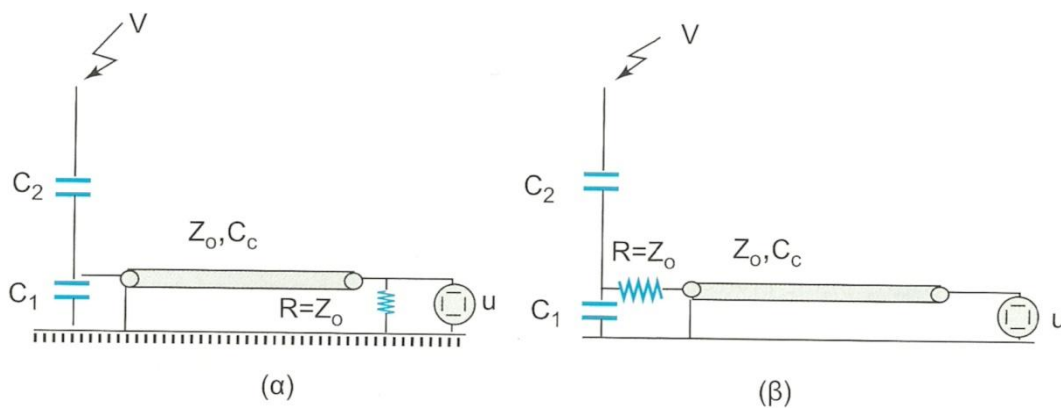
ϵ_r → η σχετική ηλεκτρική επιτρεπτότητα της περιβάλλουσας μόνωσης του ομοαξονικού καλωδίου και

μ_r → η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του αγωγίμου υλικού που είναι φτιαγμένο το καλώδιο – κατά κανόνα $\mu_r = 1$ για τους περισσότερους αγωγούς που χρησιμοποιούμε.

Για τον λόγο ότι η αντίδραση εισόδου που έχει ο παλμογράφος είναι εξαιρετικά μεγάλη σε υψηλής συχνότητας σήματα εμφανίζεται ως ένα κύκλωμα που είναι ανοικτό. Για να αποφύγουμε διπλασιασμό της τάσης του που θέλουμε να μετρήσουμε και ανάκλαση χρειάζεται να γίνει προσαρμογή του άκρου του ομοαξονικού καλωδίου με μια αντίσταση R , ίση με την κυματική του αντίσταση, κατά τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 2.P.α. Με την

τακτική αυτή δημιουργείται από τον πυκνωτή C_1 και την αντίσταση προσαρμογής ένα κύκλωμα που έχει σταθερά χρόνου $\tau=C_1 \cdot R$ που αυτή είναι εξαιρετικά μικρή. Άρα ως εκ τούτου, όταν υπάρχουν μεγάλης συχνότητας σήματα τα σήματα αυτά μεταδίδονται ακριβώς όπως είναι στον παλμογράφο.

Στο ενδεχόμενο ωστόσο που υπάρχουν μικρής συχνότητας σήματα χρησιμοποιείται η συνδεσμολογία που είναι στο σχήμα 2.P.β. Σε αυτό το κύκλωμα η αντίσταση προσαρμογής τοποθετείται εν σειρά με τον κεντρικό αγωγό του ομοαξονικού καλωδίου προς το άκρο του καταμεριστή. Με αυτή την τακτική καταφέρεται αυτό που λέμε στη συνέχεια: το σήμα τάσης που εκπέμπεται στην έξοδο του βραχίονα χαμηλής τάσης του καταμεριστή διαχωρίζεται σε δύο ίσα μέρη λόγω των αντιστάσεων $R = Z_0$ – που είναι η αντίσταση προσαρμογής – και της χαρακτηριστικής αντίστασης του ομοαξονικού καλωδίου Z_0 οι οποίες είναι ίσες. Με αυτή την τακτική στην είσοδο του ομοαξονικού καλωδίου φανερώνεται αποκλειστικά η μισή τάση.



Σχήμα 2.P: Η προσαρμογή του ομοαξονικού καλωδίου σύνδεσης του βραχίονα χαμηλής τάσης του καταμεριστή με τον παλμογράφο.

Το ελαττωμένο κατά το ήμισυ σήμα πορεύεται μέσα στο ομοαξονικό καλώδιο και ενώ φτάσει στην άκρη του διπλασιάζεται (εξαιτίας του ότι ο παλμογράφος αναδεικνύει εξαιρετικά μεγάλη αντίδραση) και ως ακολούθως το σήμα επιτυγχάνει το αρχικό του μέγεθος, όποτε και το μετράμε ορθά από τον παλμογράφο. Το διπλασιασμένο σήμα επανέρχεται στην αρχή του καλωδίου και απορροφάται από την αντίσταση προσαρμογής R , επειδή ο πυκνωτής C_1 για εξαιρετικά μεγάλες συχνότητες παρουσιάζεται σαν βραχυκύκλωμα.

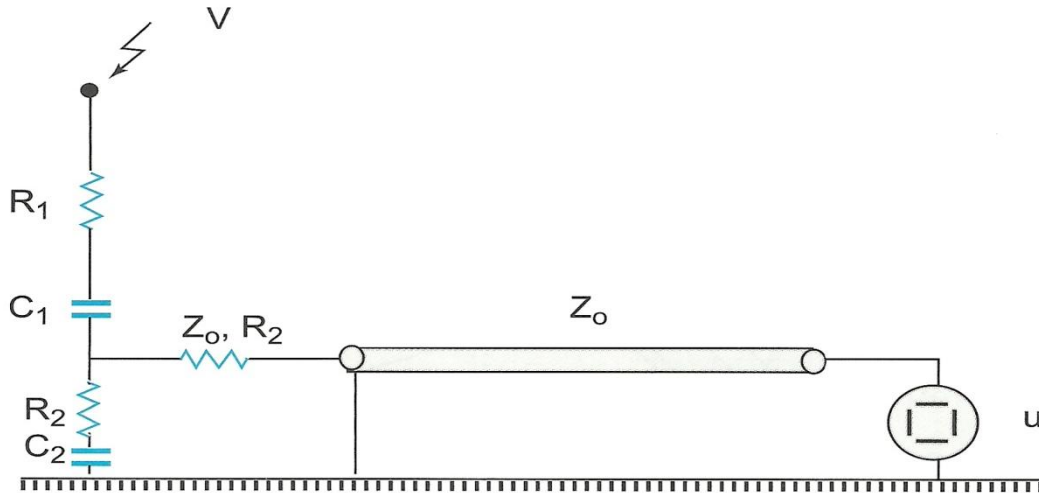
Ως εκ τούτου για τις υψηλές συχνότητες ο λόγος καταμερισμού δίνεται από την σχέση:

$$\kappa = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cong \frac{C_1}{C_2} \quad (2-αλ).$$

Για σχετικά μικρές συχνότητες – που έχουν περίοδο ίση με 2-3 φορές τον χρόνο διαδρομής του καλωδίου – η χωρητικότητα C_c ενδιάμεσα στη μόνωση του ομοαξονικού καλωδίου και του αγωγού έχει τον χρόνο να φορτιστεί και ως εξής παρουσιάζεται παράλληλα συνδεδεμένη με την χωρητικότητα C_2 . Ο λόγος καταμερισμού σε αυτή το ενδεχόμενο δίνεται από την σχέση:

$$\kappa = \frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_c} \quad (2-αμ).$$

Σε ενδεχόμενο επιτεύγματος προσαρμογής ομοαξονικού καλωδίου σύνδεσης του βραχίονα χαμηλής τάσης μικτού καταμεριστή με τον παλμογράφο ακολουθείται η συνδεσμολογία των χωρητικών καταμεριστών που δείχνεται στο σχήμα 2.Σ με την διαφορά ότι η αντίσταση προσαρμογής περιορίζεται κατά την αντίσταση R_2 του βραχίονα χαμηλής τάσης.



Σχήμα 2.Σ: Η προσαρμογή του ομοαξονικού καλωδίου σύνδεσης του βραχίονα χαμηλής τάσης του μικτού καταμεριστή με τον παλμογράφο.

2.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ.

Σε αυτήν την υποενότητα θα ασχοληθούμε με το πώς μετράμε υψηλά ρεύματα. Ακόμη θα ασχοληθούμε με την κάθε μέθοδο ξεχωριστά και θα τις αναλύσουμε.

Οι μέθοδοι μέτρησης υψηλών ρευμάτων που αναφέρονται παρακάτω είναι οι εξής:

- 1) Με μετασχηματιστές ρεύματος.
- 2) Με χρήση πηνίων Rogowski.
- 3) Με αντιστάσεις διακλάδωσης.

2.5-α ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.

Οι μετασχηματιστές ρεύματος χρησιμοποιούνται όπου υπάρχουν συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και αυτοί αποτελούνται από σπείρες σύρματος οι οποίες εντοπίζονται τριγύρω από τον αγωγό ρεύματος. Θεωρώντας με N_1 , N_2 συμβολίζουμε τον αριθμό των σπειρών σε δευτερεύον και πρωτεύον αντίστοιχα και με I_1 , I_2 συμβολίζουμε την ένταση του ρεύματος σε δευτερεύον και πρωτεύον αντίστοιχα άρα εκείνη την στιγμή ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} \quad (2-av).$$

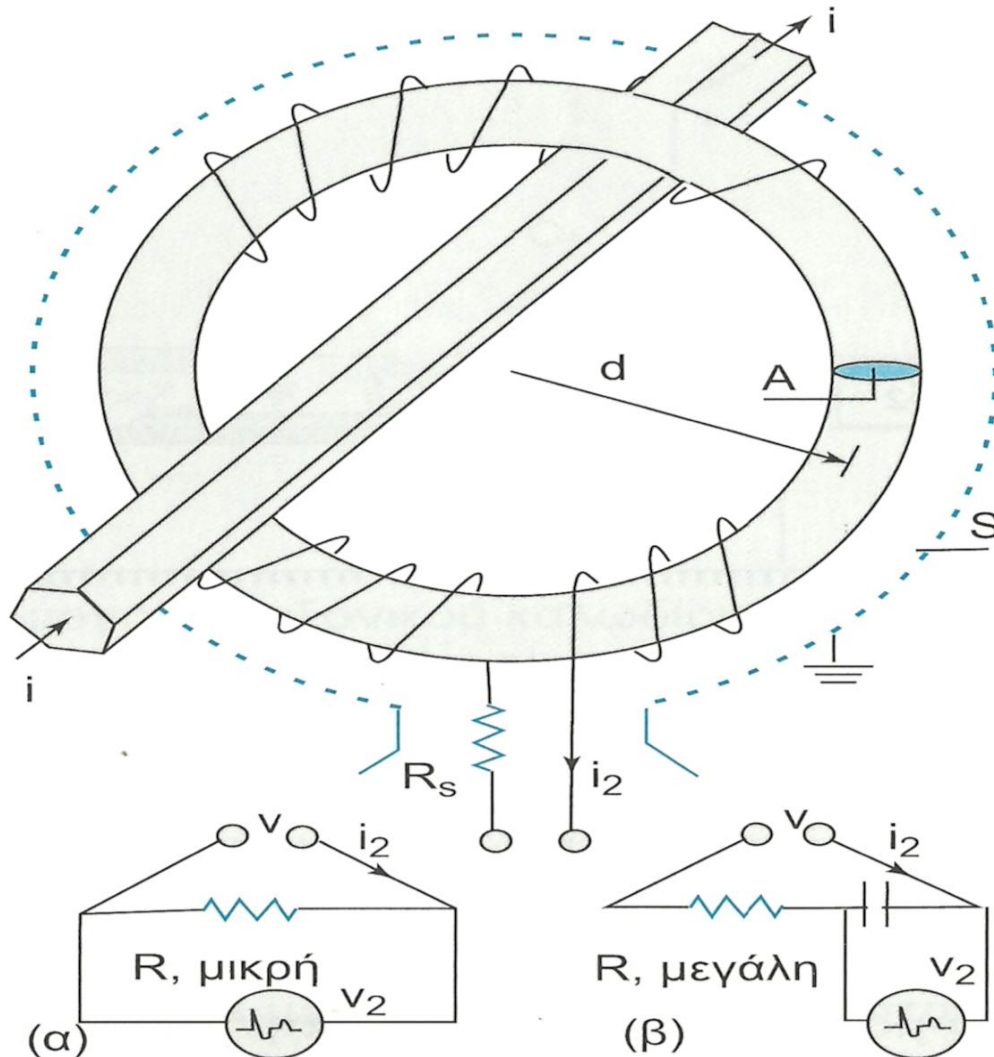
Όπου:

I_1 → το ρεύμα που θέλουμε να μετρήσουμε.

Οι μετασχηματιστές ρεύματος χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να μετρήσουμε εναλλασσόμενα ρεύματα, όμως όχι όταν θέλουμε να μετρήσουμε κρουστικά ρεύματα, παρά το γεγονός ότι εμφανίζουν εξαιρετικά μεγάλη ορθότητα στις μετρήσεις που θέλουμε να κάνουμε.

2.5-β ΧΡΗΣΗ ΠΗΝΙΩΝ ROGOWSKI.

Το πηνίο Rogowski, το οποίο απέκτησε την ονομασία του από τον φυσικό Walter Rogowski που ήταν από την Γερμανία. Αυτό, απαρτίζει ένα ηλεκτρικό μηχάνημα που χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να μετρήσουμε υψηλά κρουστικά ή εναλλασσόμενα ρεύματα. Το πηνίο Rogowski το τοποθετούμε έτσι, ώστε λοιπόν να περιβάλλει τον αγωγό που διαρρέεται από το ηλεκτρικό ρεύμα. Η αρχή λειτουργίας του πηνίου Rogowski βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, με άλλα λόγια στα άκρα του πηνίου αναπτύσσεται μια τάση από επαγωγή η οποία είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του ηλεκτρικού ρεύματος του αγωγού που περιβάλλει. Ένα όμοιο πηνίο δείχνεται στο σχήμα 2.Τ.



Σχήμα 2.Τ: Το πηνίο Rogowski. Το πηνίο περιβάλλει τον αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα i . Το περίβλημα του πηνίου S γειώνεται ώστε λοιπόν η μέτρηση να μην επηρεάζεται από τα παράγοντα ηλεκτρικά πεδία. Η τάση

εξόδου είναι $V=M\frac{di}{dt}$ όπου M είναι η αμοιβαία επαγωγή ανάμεσα στον αγωγό και το πηνίο. Η τάση V είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί είτε μέσω ενός παθητικού κυκλώματος είτε ηλεκτρονικά. α) Ένα παθητικό κύκλωμα σχηματίζεται μέσω των αντιστάσεων R_s και R και του πηνίου. β) Χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα RC . Και με τα δύο κυκλώματα πετυχαίνεται η γραμμική σχέση $V_2 = ci$.

Η τάση εξόδου V του πηνίου Rogowski δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$|V|=\frac{d\Phi}{dt} \quad (2-αξ).$$

Όταν η μαγνητική ροή Φ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Phi=nAB \quad (2-αο).$$

Όπου:

$A \rightarrow$ η επιφάνεια του ενός τυλίγματος,

$B \rightarrow$ η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και

$n \rightarrow$ ο αριθμός των σπειρών.

Την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή την βρίσκουμε από την παρακάτω ολοκλήρωση της σχέσης:

$$\oint Bdl = \mu_0 * \mu_r * i \rightarrow B\pi d = \mu_0 * \mu_r * i \quad (2-απ).$$

Όπου:

$d \rightarrow$ η μέση διάμετρος του πηνίου.

Τότε ως εκ τούτου απορρέει ότι η τάση εξόδου του πηνίου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V=\frac{\mu_0 * \mu_r * A * n}{\pi d} * \frac{di}{dt} \quad \text{ή} \quad V=M\frac{di}{dt} \quad (2-αρ).$$

Από την σχέση (2-αρ) προκύπτει ότι το σήμα εξόδου του πηνίου είναι στα ίσια ανάλογο της μεταβολής του ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε.

Η ολοκλήρωση της παραμέτρου $\frac{di}{dt}$ απαιτείται για να υπολογίσουμε και να βρούμε το ρεύμα i . Αυτό είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με δύο τακτικές: είτε μέσω ενός παθητικού δικτύου, είτε μέσω ηλεκτρονικού ολοκληρωτή. Ακολουθώντας την απάντηση του παθητικού δικτύου απορρέει το κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα 2.Τ.α. Η V_2 που μετράμε δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_2=R * i_2 \quad (2-ασ).$$

Όπου:

Η παράμετρος i_2 απορρέει από την παρακάτω σχέση:

$$V=(R+R_S) \cdot i_2 + L \frac{di_2}{dt} \quad (2-ατ).$$

Η τιμή της αντίστασης R την διαλέγουμε να είναι χαμηλή, ώστε λοιπόν $R+R_S < \omega L$ οπότε ο συντελεστής $R+R_S$ είναι δυνατόν να παραβλεφθεί ισχύοντας οι παρακάτω σχέσεις:

$$V=L \frac{di_2}{dt} \quad \text{ή} \quad i_2 = \frac{1}{L} \int V dt \quad (2-αυ).$$

Και η παρακάτω σχέση:

$$V_2=R \cdot i_2 = R \int \frac{M}{L} \cdot \frac{di}{dt} \quad (2-αφ).$$

ή η παρακάτω σχέση:

$$V_2=c \cdot i \quad (2-αχ).$$

Όπου:

$c \rightarrow$ μια σταθερά.

Από την σχέση (2-αχ) απορρέει η V_2 (η τάση που μετρήσαμε) είναι ανάλογη του ρεύματος i που θέλουμε να μετρήσουμε και οι κυματομορφές του ρεύματος i είναι δυνατόν να τις απογράψουμε, όσο η συχνότητα f είναι μεγαλύτερη από την τιμή $\omega_0 = \frac{R_1+R_2}{L}$.

Το αμέσως μετά από το πρώτο κύκλωμα που είναι εναλλακτικό κύκλωμα για να κάνουμε την ολοκλήρωση του σήματος προκύπτει στο σχήμα 2.Τ.β όπου απορρέει η παρακάτω σχέση:

$$V_2 = \frac{1}{C} \int i_2 dt = \frac{1}{RC} M \cdot i_2 \quad (2-αψ).$$

Που είναι για συχνότητες μεγαλύτερες από $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.

Το πιο εξέχον πλεονέκτημα που έχουν τα πηνία Rogowski είναι ότι το πηνίο είναι εντελώς αποξενωμένο από τον αγωγό υψηλής τάσης και ως εξής υφίσταται η δυνατότητα να μετρήσουμε κεραυνικά ρεύματα, που οι τιμές των οποίων είναι υπερβολικά μεγάλες.

2.5-γ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗΣ.

Η αντίσταση διακλάδωσης είναι μια ωμική αντίσταση που έχει χαμηλή τιμή, η οποία είναι δυνατόν να την σχεδιάσουμε ως ένα τετράθυρο που στο οποίο το ρεύμα I πηγάζει από τις εισόδους X' και X , εκεί που η τάση του είναι ενδιάμεσα από τις εισόδους Y' και Y , με τρόπο που δείχνεται και στο σχήμα 2.Υ. Η συνολική του εμπέδηση (αντίσταση) $\frac{V}{I}$ από εναλλασσόμενη τάση είναι δυνατόν να εκφορτιστεί ως $R+j\omega L$, όπου L και R είναι οι τιμές των επαγωγικών του στοιχείων και ωμικών του στοιχείων αντίστοιχος. Για αυτόν τον λόγο θα επιβάλλεται η αντίσταση διακλάδωσης να την σχεδιάζουμε έτσι, ώστε λοιπόν όταν

χρησιμοποιείται για να κάνουμε μετρήσεις ρεύματος οποιασδήποτε συχνότητας η αντίσταση R να είναι ίση με την αντίσταση d_s και επιπροσθέτως $\frac{\omega L}{R} \ll 1$. Και οι δύο όροι αυτοί προϋποθέτουν το πάχος ή η διάμετρος του ωμικού στοιχείου – που είναι ταινία ή καλώδιο – να είναι μικρότερο από το ονομαστικό του βάθος στο οποίο το εναλλασσόμενο ρεύμα στο ψηλότερο ανώτερο σημείο της συχνότητας του θα διέρχεται μια εντομή του όμοιου υλικού. Το επιδερμικό βάθος το υπολογίζουμε από την παρακάτω σχέση:

$$d_s = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_r \mu_0 f}} \quad (2-\alpha\omega).$$

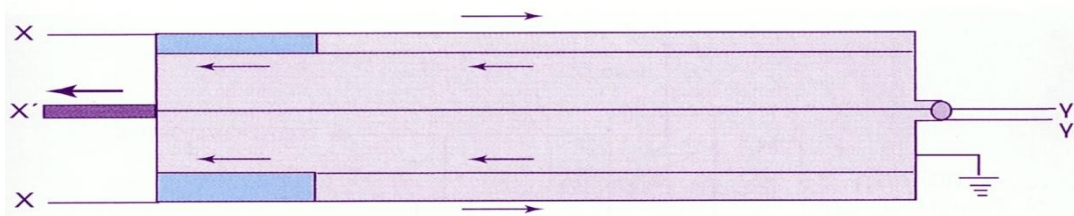
Όπου:

μ_r → σχετική μαγνητική διαπερατότητα,

μ_0 → η μαγνητική διαπερατότητα του κενού,

ρ → η ειδική αγωγιμότητα του υλικού και

f → η συχνότητα.



Σχήμα 2.Υ: Η ωμική αντίσταση διακλάδωσης που έχει το σχήμα ομοαξονικού σωλήνα.

Στην πράξη χρησιμοποιούμε δύο τύπους αντιστάσεων διακλάδωσης που είναι οι εξής: ομοαξονικού σωλήνα και ο σπειροειδής διπλού τυλίγματος.

Ο ομοαξονικού σωλήνα έχει εξαιρετικά μικρή τιμή στην αντίσταση του της τάξης των $\mu\Omega$ και τις χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να μετρήσουμε μεγάλα ρεύματα. Ο σπειροειδής διπλού τυλίγματος τον χρησιμοποιούμε όταν υπάρχει ενδεχόμενο να έχουμε δευτερεύοντα τυλίγματα σε μετασχηματιστές ρεύματος όπου η τιμή του ρεύματος είναι σχετικώς συγκρατημένη και έχουν τιμή στην αντίσταση τους μερικά Ω .

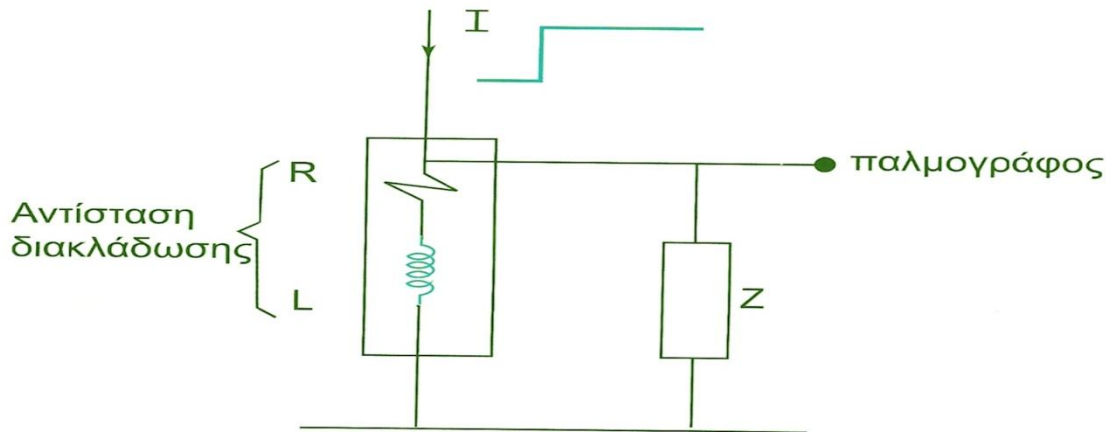
Η χρησιμοποίηση των αντιστάσεων διακλάδωσης για την καταμέτρηση των κρουστικών ρευμάτων είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί με τρόπο που δείχνεται και στο σχήμα 2.Φ.α. Η συνολική αντίσταση Z είναι η αντίσταση στην είσοδο του ομοαξονικού καλωδίου και η αντίσταση προσαρμογής του. Η τάση κατά μήκος της αντίστασης Z είναι αυτή που συγκαταλέγεται από τον παλμογράφο. Η τιμή της τάσης συναρτήσει του χρόνου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$v(t) = IZ \left[\frac{R}{R+Z} + \frac{Z}{R+Z} e^{-\frac{t}{T}} \right] \quad (2-\beta).$$

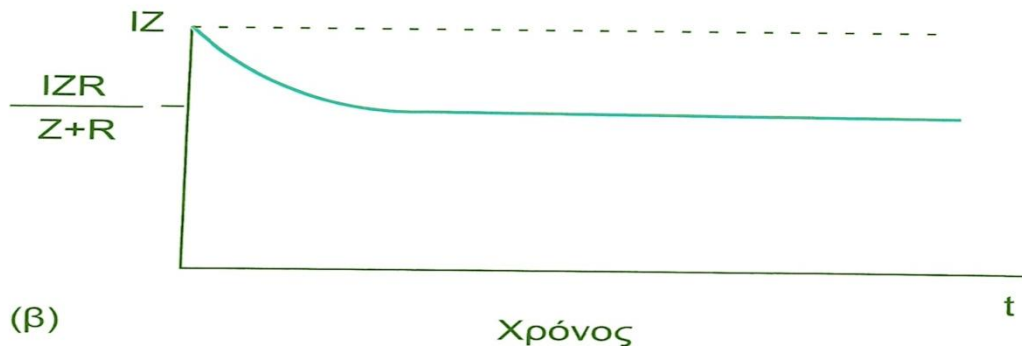
Όπου το T που δίνεται από την σχέση :

$$T = \frac{L}{R+Z} \quad \text{είναι σταθερό.}$$

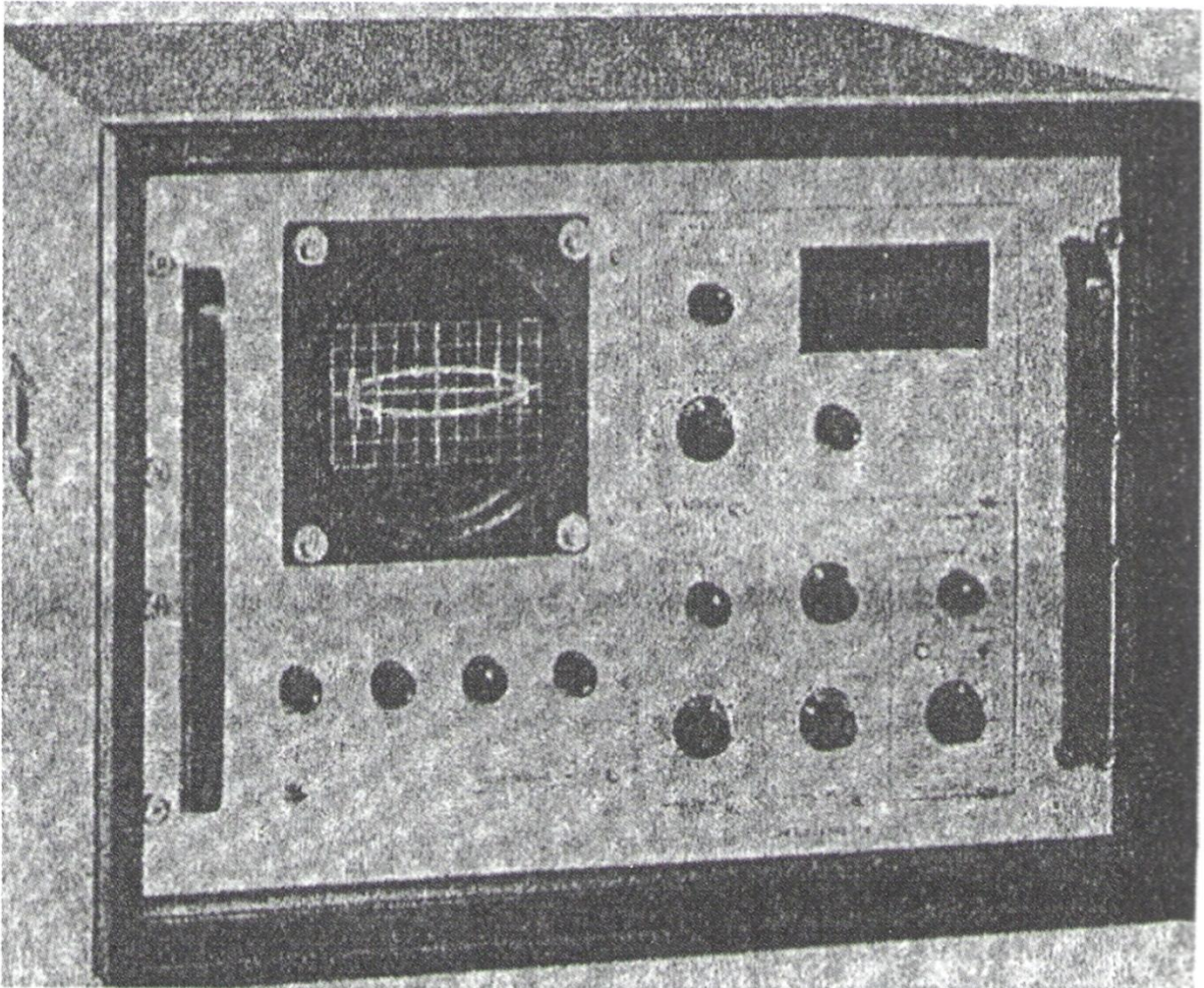
Η απόκριση της αντίστασης διακλάδωσης δείχνεται και στο σχήμα 2.Φ.β.



(α)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.



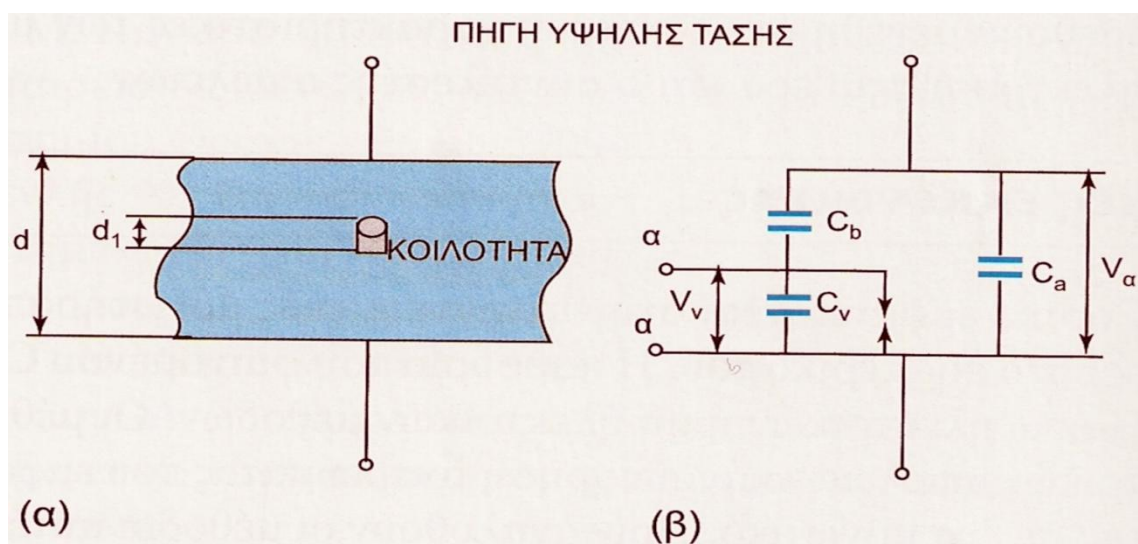
Σχήμα 3: Η εικόνα αυτή περιγράφεται στο σχήμα 3.Δ.

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.

Σε κάθε διηλεκτρικό υλικό το οποίο δουλεύει κάτω από υψηλή τάση ή πιο υψηλότερη τάση που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε αυτό είναι λίγο πιο παρακάτω από την ελάχιστη τιμή της τάσης διάσπασης του. Οι διηλεκτρικές δοκιμές κατά κανόνα πραγματοποιούνται στην μόνωση του εξοπλισμού, ώστε λοιπόν να διερευνήσουμε αν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ταιριάζουν με τις προδιαγραφές του, για να δουλεύει κανονικά. Οι δοκιμές αυτές τις πραγματοποιούμε προκειμένου να εντοπίσουμε μεγέθη όπως είναι οι χαρακτηριστικές των μερικών εκκενώσεων, ο συντελεστής απωλειών και η διηλεκτρική σταθερά, που είναι σημαντικά για την καλή λειτουργία του εξοπλισμού σε εργαστήρια υψηλών τάσεων και σε άλλες εφαρμογές στις οποίες τον χρησιμοποιούμε.

3.2 ΜΕΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ.

Οι απώλειες Corona παρουσιάζονται στην επιφάνεια ενός μονωτήρα ή σε φυσαλίδες – κοιλότητες – μέσα στο εσωτερικό του. Η εμφάνιση του φαινομένου Corona είναι δυνατόν να διερευνηθεί μέσω ηλεκτρικών ή μη ηλεκτρικών διαδικασιών. Οι διαδικασίες διερεύνησης των ηλεκτρικών απωλειών κάνουν διαχείριση του ρεύματος που παρουσιάζεται μέσα σε μια κοιλότητα (φυσαλίδες) σε ένα μονωτικό. Προηγουμένως πριν αναλύσουμε αυτές τις διαδικασίες είναι ωφέλιμο να προβάλλουμε αναλυτικά τις διαδικασίες μέσα σε ένα μονωτικό υλικό το οποίο βρίσκεται σε εναλλασσόμενη τάση.



Σχήμα 3.Α: α) Η αναπαράσταση της κοιλότητας μέσα σε μονωτικό και β) Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Ένα παράδειγμα ενός όμοιου μονωτικού υλικού το οποίο συμπεριλαμβάνει μια κοιλότητα αέρα μέσα σε αυτό αναπαρίσταται στο σχήμα 3.Α.α και το ηλεκτρικό του ισοδύναμο κύκλωμα του δείχνεται στο σχήμα 3.Α.β. Η χωρητικότητα C_v αναπαριστά την χωρητικότητα της κοιλότητας, η χωρητικότητα C_a αναπαριστά την χωρητικότητα του υπόλοιπου διηλεκτρικού και η χωρητικότητα C_b αναπαριστά την χωρητικότητα του διηλεκτρικού κάτω

και πάνω από την κοιλότητα. Κάθε φορά που μια εναλλασσόμενη τάση V_a εφαρμοστεί στα άκρα του διηλεκτρικού εκείνη την στιγμή θα παρουσιαστεί μια μερική εκκένωση μέσα στην κοιλότητα. Η πρόοδος μιας μερικής εκκένωσης μέσα στην κοιλότητα δείχνεται στο σχήμα 3.Β. Η τάση στα άκρα της κοιλότητας V_v δεδομένου ότι δεν υφίσταται εκκένωση δίδεται από την παρακάτω σχέση:

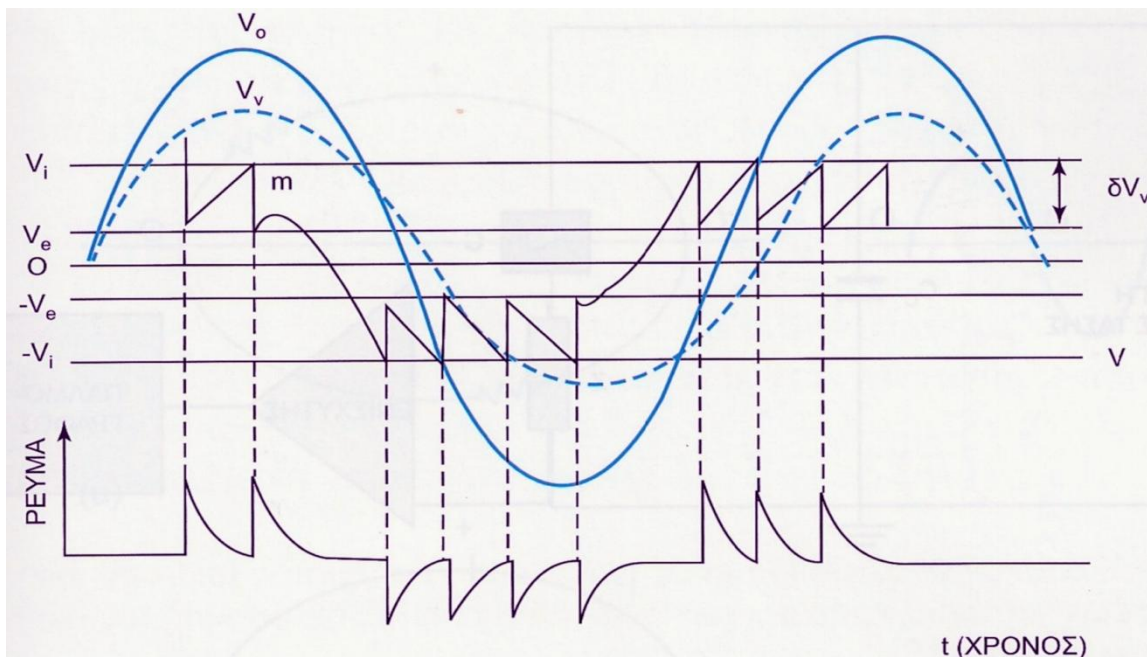
$$V_v = \frac{V_a \cdot \epsilon_r}{\epsilon_r + \frac{d}{d_1} - 1} \quad (3.α).$$

Όπου:

$\epsilon_r \rightarrow$ η σχετική διηλεκτρική επιτρεπτότητα που έχει το διηλεκτρικό και

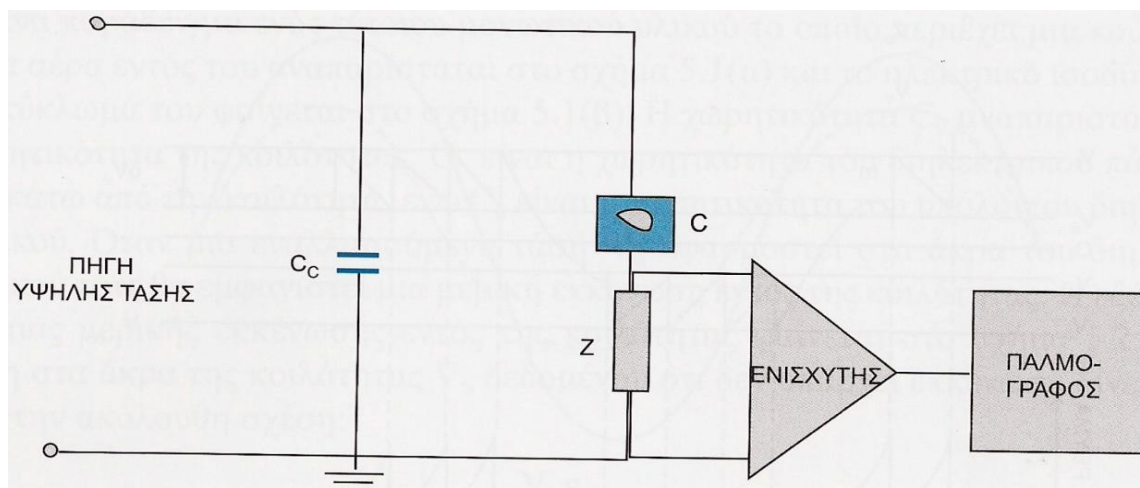
d_1 και $d \rightarrow$ το πάχος του δείγματος της κοιλότητας και του μονωτικού υλικού αντίστοιχα.

Η μερική εκκένωση στην κοιλότητα (φουσαλίδες) θα αρχίσει σε μια κατά προσέγγιση τάση $-V_i$ στην αρνητική ημιπερίοδο και μια τάση V_i στην θετική ημιπερίοδο. $\pm V_e$ είναι η τάση στην οποία η εκκένωση διακόπτεται. Η εκκένωση στην κοιλότητα (φουσαλίδες) θα συμβαδίζει με το ρεύμα του οποίου η απεικόνιση δείχνεται στο σχήμα 3.Β. Αυτό είναι δυνατόν να επαναληφθεί πολλές φορές κατά το ανέβασμα της θετικής ημιπεριόδου. Στο σημείο m η τάση κατά την διάρκεια της κοιλότητας διαφυλάσσει την πολικότητα της επειδή σε εκείνο το μέρος η τάση V_v ελαττώνεται και η εκκένωση θα εξακολουθήσει να γίνεται με κατά προσέγγιση τους όμοιους παλμούς ρεύματος.

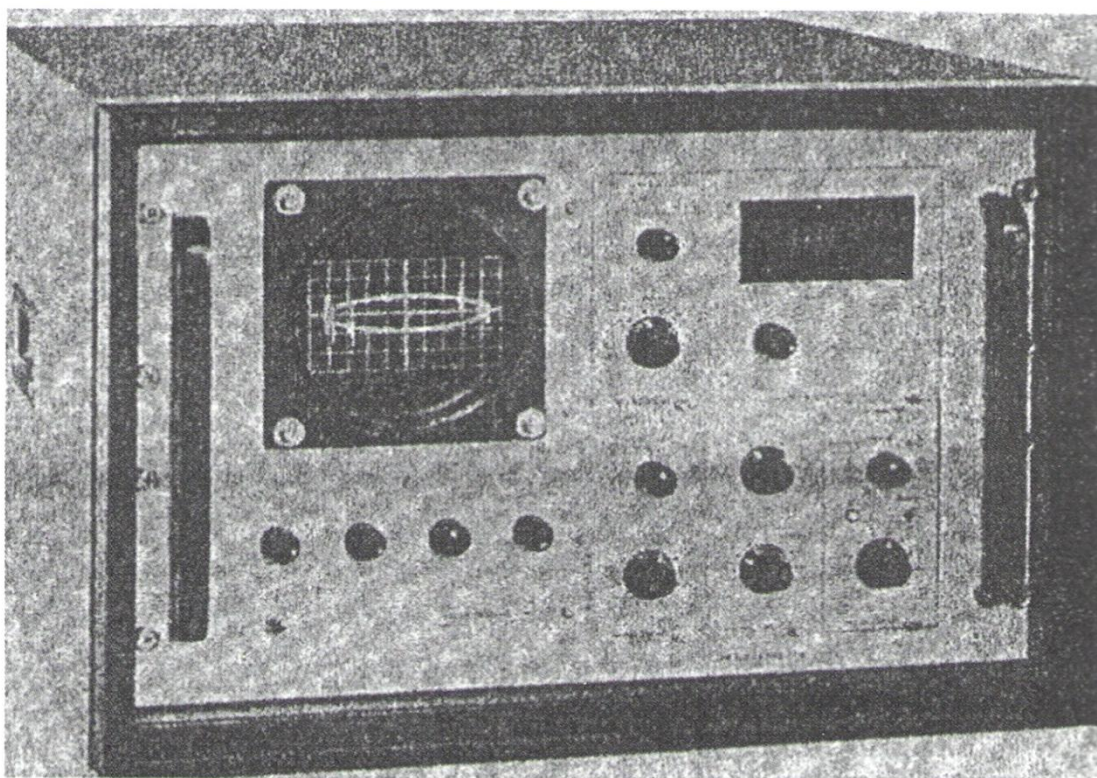


Σχήμα 3.Β: Η τάση και το ρεύμα μιας μερικής εκκένωσης μέσα σε κοιλότητα.

Στις διαδικασίες ανίχνευσης μερικών εκκενώσεων με τα μετρητικά όργανα μετράμε το φορτίο το οποίο αποδεδεσμεύεται από το μονωτικό δείγμα. Το πιο εύχρηστο κύκλωμα το οποίο το χρησιμοποιούμε σε όμοιες μετρήσεις συμπεριλαμβάνει μια σύνθετη αντίσταση η οποία είναι εν σειρά με το μονωτικό υλικό (το οποίο είναι αυτό πάνω στο οποίο κάνουμε τις δοκιμές) και την γη, με τρόπο που δείχνεται και στο σχήμα 3.Γ.



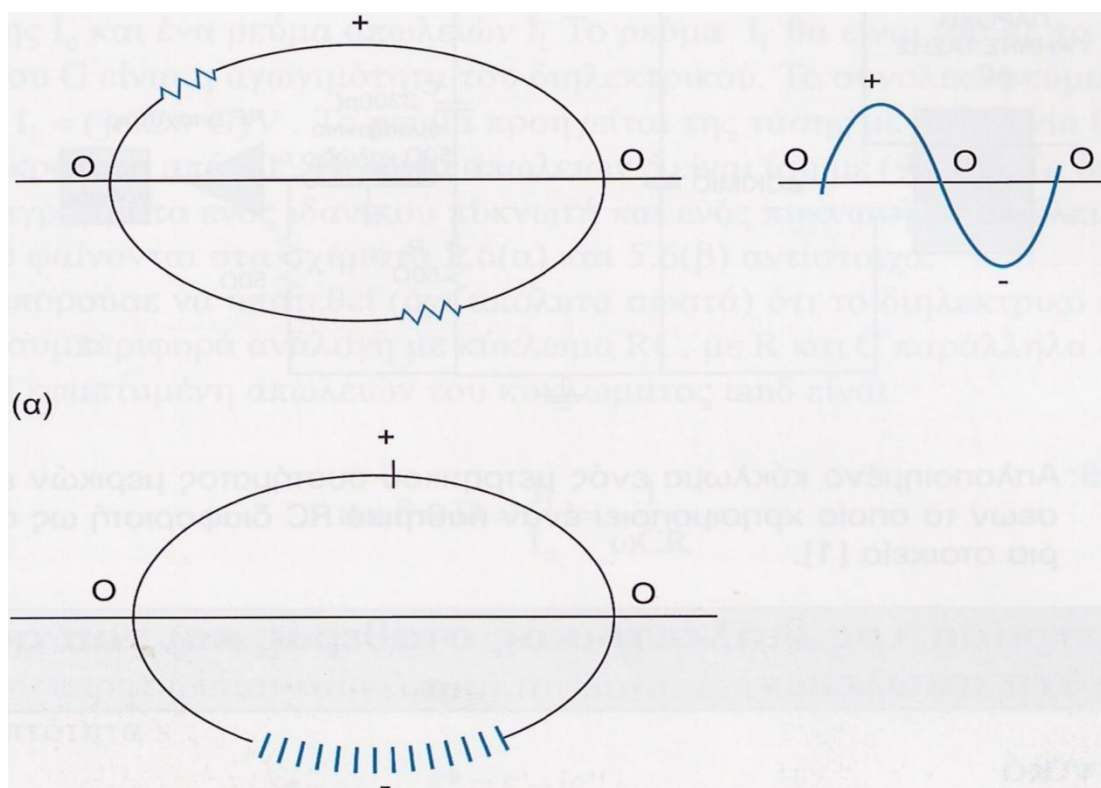
Σχήμα 3.Γ: Το κύκλωμα ανίχνευσης μερικών εκκενώσεων.



Σχήμα 3.Δ: Η συσκευή ανίχνευσης μερικών εκκενώσεων.

Οι μετρήσεις ρεύματος σε μερικές εκκενώσεις είναι εξαιρετικά δυσεπίλυτες να πραγματοποιηθούν, παρά το γεγονός ότι παράλληλα θέλουμε τις αρμόζοντες προστασίες για την καλύτερευση των προβαλλόμενων κυματομορφών του ρεύματος. Τα εύκαιρα όργανα μέτρησης μερικών εκκενώσεων μετράνε την απώλεια φορτίου (την μεταφορά φορτίου που λαμβάνει χώρα στα άκρα του μονωτικού δείγματος). Οι ενισχυμένοι παλμοί των εκκενώσεων προβάλλονται στον παλμογράφο, ο οποίος ενσωματώνεται σε μια αρμόζοντα διάταξη με την οποία ευδοκιμούν οι μερικές εκκενώσεις να προβάλλονται στην οθόνη του παλμογράφου υπερτεθειμένες σε μια έλλειψη με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 3.Ε. Στο σχήμα 3.Ε.α η εκκένωση αφορά μια κοιλότητα αερίου και προσδιορίζεται από την συμμετρία

τριγύρω από τα δύο μέγιστα στην τάση, ενώ στο ενδεχόμενο ακίδας – πλάκας (που δείχνεται στο σχήμα 3.Ε.β), η εκκένωση προσδιορίζεται από ομοιομορφία στον χώρο της μεγίστης αρνητικής τάσης.



Σχήμα 3.Ε: Η απεικόνιση των μερικών εκκενώσεων: α) Σε κοιλότητα και β) Σε διάταξη ακίδας – πλάκας.

Η εξάρτηση του φορτίου σε όλο το δείγμα του μονωτικού Q_a – φαινόμενο φορτίο – από το φορτίο στην κοιλότητα Q_v – αληθινό φορτίο – προκύπτει από το πρότυπο που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.Α. Κάθε φορά που θα γίνεται η διάσπαση στην κοιλότητα η απώλεια φορτίου θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_v = \left(C_v + \frac{C_a * C_b}{C_a + C_b} \right) \delta * V_v \quad (3-\beta).$$

Όπου:

$\delta * V_v \rightarrow$ η πτώση τάσης στην κοιλότητα όταν γίνεται η διάσπαση.

Η χωρητικότητα C_a είναι κατά κανόνα εξαιρετικά μεγαλύτερη από την C_b και η Q_v είναι δυνατόν προσεγγιστικά την υπολογίσουμε από την παρακάτω σχέση:

$$Q_v = (C_v + C_b) \delta * V_v \quad (3-\gamma).$$

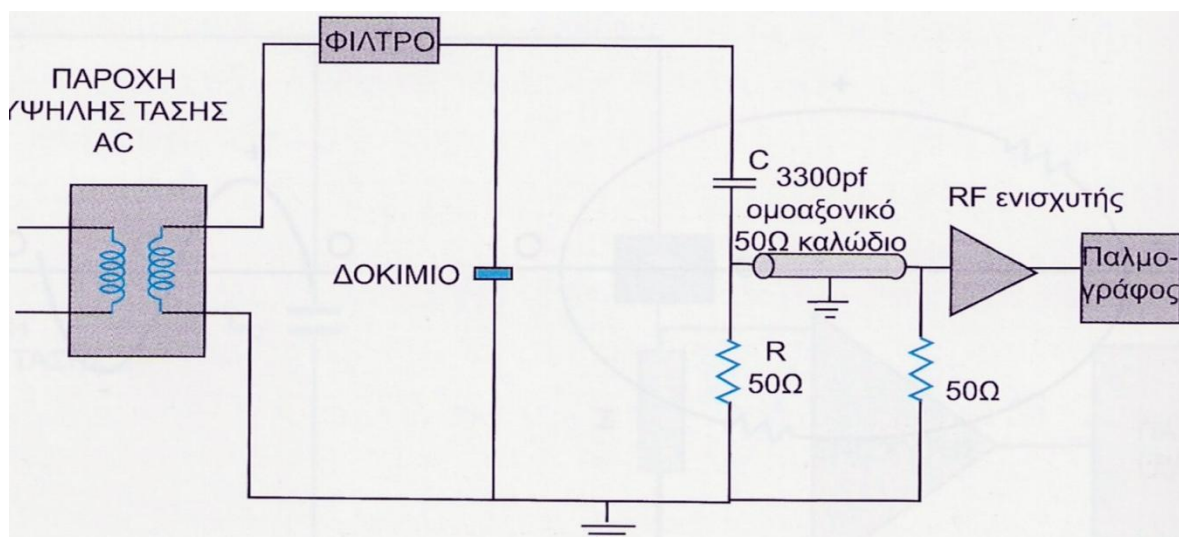
Κατόπιν από την διάσπαση της κοιλότητας στο κύκλωμα ξαναπαίρνει την αρχική της τιμή η τάση κατ' έκταση του πυκνωτή C_b και αυτό προϋποθέτει ένα φορτίο Q_a στον πυκνωτή C_b . Η φόρτιση αυτή είναι το φαινόμενο φορτίο, το οποίο το υπολογίζουμε από την παρακάτω σχέση:

$$Q_a = C_b * \delta * V_p \quad (3-\delta).$$

Παίρνοντας τις σχέσεις (3-γ) και (3-δ) καταλήγουμε ότι η σχέση ανάμεσα πραγματικού και φαινόμενου φορτίου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_a = \frac{C_b}{C_b + C_v} Q_v \quad (3-\epsilon).$$

Τα εύκαιρα στο εμπόρειο συστήματα ανίχνευσης μερικών εκκενώσεων δουλεύουν με δεδομένο το φαινόμενο φορτίο. Στο σχήμα 3.Z δείχνεται ένα απλοποιημένο κύκλωμα που το οποίο είναι για μερικές εκκενώσεις με το οποίο εκμεταλλευόμαστε έναν παθητικό RC διαφοριστή ο οποίος ανιχνεύει τα σήματα υψηλής συχνότητας που κατασκευάζονται από τις μερικές εκκενώσεις. Το RC κύκλωμα δουλεύει σαν υπερπυκνωτικό φίλτρο. Με ανιχνευτές χαμηλού θορύβου η ευαισθησία του οργάνου είναι δυνατόν να φτάσει έως τα $0,01 \text{ pCb}$.



Σχήμα 3.Z: Το απλοποιημένο κύκλωμα ενός μετρητικού συστήματος μερικών εκκενώσεων το οποίο χρησιμοποιεί έναν παθητικό RC διαφοριστή ως αισθητήριο στοιχείο.

3.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.

Σε αυτήν την υποενότητα θα περιγράψουμε το πώς μετράμε καθώς και τις μεθόδους μέτρησης της διηλεκτρικής σταθεράς και του συντελεστή απωλειών. Οι μέθοδοι μέτρησης αυτών των παραπάνω είναι οι εξής:

- A. Μέθοδοι μέτρησης χαμηλής συχνότητας (0-10 Hz).
- B. Μέθοδοι μέτρησης βιομηχανικής συχνότητας – Γέφυρα Schering.
 - a. Γέφυρα Schering για γειωμένους πυκνωτές .
 - b. Γέφυρα Schering για υψηλά ρεύματα φόρτισης.
 - c. Γέφυρα Schering για υψηλούς συντελεστές απωλειών.

C. Μέθοδοι μέτρησης ακουστικών συχνοτήτων.

- a. Γέφυρα Schering για ακουστικές συχνότητες.
- b. Γείωση και θωράκιση.
- c. Γέφυρες με βραχίονα μεταβλητής σχέσης μετασχηματισμό.

Τα παραπάνω θα τα περιγράψουμε αναλυτικά στη συνέχεια.

3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.

Σε κάποια μονωτικά υλικά η διηλεκτρική τους σταθερά είναι πολύ μεγαλύτερη της μονάδας και εμφανίζουν απώλειες διηλεκτρικού όταν δουλεύουν κάτω από εναλλασσόμενη τάση. Ο συντελεστής απωλειών και η διηλεκτρική σταθερά εξαρτώνται από την συχνότητα της και από την τιμή της επιβαλλόμενης τάσης. Άμα ένα διηλεκτρικό χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικό εξοπλισμό όπως σε πυκνωτές ή καλώδια, τότε η αλλαγή αυτών των ποσοτήτων συναρτηθεί της συχνότητας έχουν μεγάλη αξία. Οι μικροσκοπικές ιδιότητες του διηλεκτρικού δύναται να περιγραφούν αν συσχετίζονται οι αλλαγές των δύο ανωτέρω ποσοτήτων σε μια << σύνθετη ποσότητα >> γνώριμη ως << σύνθετη διηλεκτρική επιτρεπτότητα >> για διάφορες συχνότητες.

Ένας πυκνωτής ο οποίος συνδυάζεται με μια πηγή τάσης που έχει ημιτονοειδή μορφή $V=V_0 \cdot E^{j\omega t}$ με κυκλική συχνότητα $\omega=2\pi f$ έχει φορτίο $Q=C_0 \cdot V$ ενώ το ρεύμα το οποίο προέχει της τάσης είναι $I_C=\frac{dQ}{dt}=j\omega C_0$. Άμα το διηλεκτρικό είναι κενό, δηλαδή το C_0 είναι η γεωμετρική χωρητικότητα του πυκνωτή ή χωρητικότητα του κενού, σε αυτήν την περίπτωση το ρεύμα προέχει της τάσης κατά 90° . Αν στον πυκνωτή βάλουμε διηλεκτρικό διηλεκτρικής επιτρεπτότητας ϵ' , η χωρητικότητα του πυκνωτή θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C=\frac{C_0 \cdot \epsilon'}{\epsilon_0}=C_0 \cdot K' \quad (3-\zeta).$$

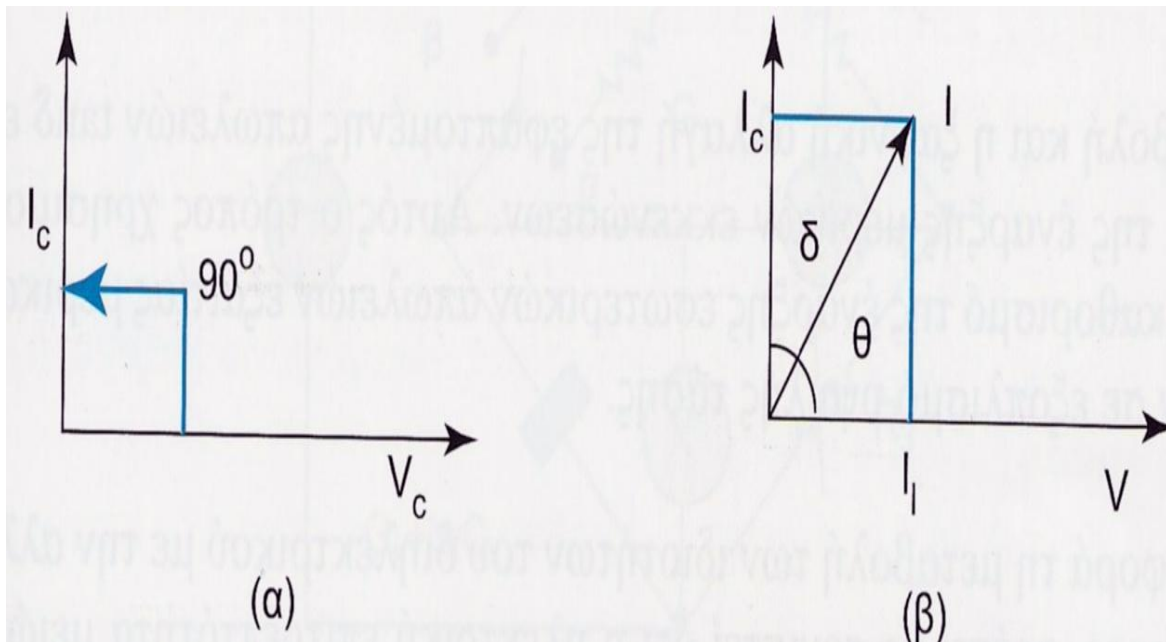
Όπου:

$K' \rightarrow$ η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού ως προς το κενό.

Κάτω από αυτές τις περιστάσεις αν βάλουμε την ίδια τάση θα εμφανιστεί ένα ρεύμα απωλειών I_1 και ένα ρεύμα φόρτισης I_C . Το ρεύμα I_1 θα είναι ίσο με το γινόμενο $G \cdot u$, οπου G είναι η αγωγιμότητα που έχει το διηλεκτρικό. Το συνολικό ρεύμα θα δίνεται από την σχέση:

$$I=I_C \cdot I_1=(j\omega C+G)V \quad (3-\eta).$$

Το ρεύμα προέχει της τάσης με μια γωνία θ η οποία θα είναι πιο μικρότερη από τις 90° . Η γωνία απωλειών δ είναι ίση με τις $(90-\theta)^\circ$. Τα διανυσματικά διαγράμματα ενός ιδανικού πυκνωτή που έχει απώλειες διηλεκτρικού ίδιες με αυτές δείχνονται στο σχήμα 3.Η.α και στο σχήμα 3.Η.β αντίστοιχα.



Σχήμα 3.Η: α) Ο ιδανικός πυκνωτής και β) Ο πυκνωτής με απώλειες διηλεκτρικού.

Θα υπήρχε η δυνατότητα να υποτεθεί (όχι απόλυτα ορθά) ότι το διηλεκτρικό έχει ηλεκτρική συμπεριφορά ανάλογη με ένα κύκλωμα RC, με τα R και C να είναι παράλληλα συνδεδεμένα. Η εφαπτομένη απωλειών στο κύκλωμα $\tan\delta$ θα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\tan\delta = D = \frac{I_1}{I_C} = \frac{1}{\omega CR} \quad (3-\theta).$$

Η συχνότητα απόκρισης σε αυτό κύκλωμα δεν ταιριάζει απεριόριστα με αυτό που προσέχουμε και για τον λόγο αυτό καθιερώνεται η σύνθετη διηλεκτρική επιτρεπτότητα s^* , η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$s^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (3-1).$$

Όποτε την σχέση του ρεύματος I είναι δυνατόν να την ξαναγράψουμε ως ακολούθως:

$$I = (J\omega\varepsilon' + \omega\varepsilon'') \frac{C_0}{\varepsilon_0} V = J\omega C_0 K^* V \quad (3-κ).$$

Όπου:

$K^* \rightarrow$ η σχετική σύνθετη διηλεκτρική επιτρεπτότητα s^* ή σύνθετη διηλεκτρική σταθερά, ε'' και $K'' \rightarrow$ ο συντελεστής απωλειών και ο σχετικός συντελεστής απωλειών αντίστοιχα και ε' και $K' \rightarrow$ η διηλεκτρική επιτρεπτότητα s^* και η σχετική διηλεκτρική επιτρεπτότητα αντίστοιχα.

Η K^* υπολογίζεται από την περαιτέρω σχέση:

$$K^* = \frac{\varepsilon' - j\varepsilon''}{\varepsilon_0} = K^* - jK'' \quad (3-κ).$$

Άρα ως εκ τούτου η εφαπτομένη απωλειών δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{K''}{K'} \quad (3-\lambda).$$

Επιπροσθέτως η διηλεκτρική αγωγιμότητα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma = \omega \cdot \varepsilon'' \quad (3-\mu).$$

Η διηλεκτρική αγωγιμότητα προσθέτει όλους τους συντελεστές απωλειών και είναι δυνατόν να αναπαραστήσει την αληθινή αγωγιμότητα όπως και την απώλεια ενέργειας η οποία συσχετίζεται με την συχνότητα (διασπορά).

Σε διηλεκτρικές μετρήσεις μετράμε την γεωμετρική χωρητικότητα και η χωρητικότητα του συστήματος όταν υπάρχει το διηλεκτρικό. Ο λόγος των δύο αυτών μετρήσεων μας δίνει την σχετική διηλεκτρική επιτρεπτότητα, η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$K' = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0} \quad (3-\nu).$$

3.3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.

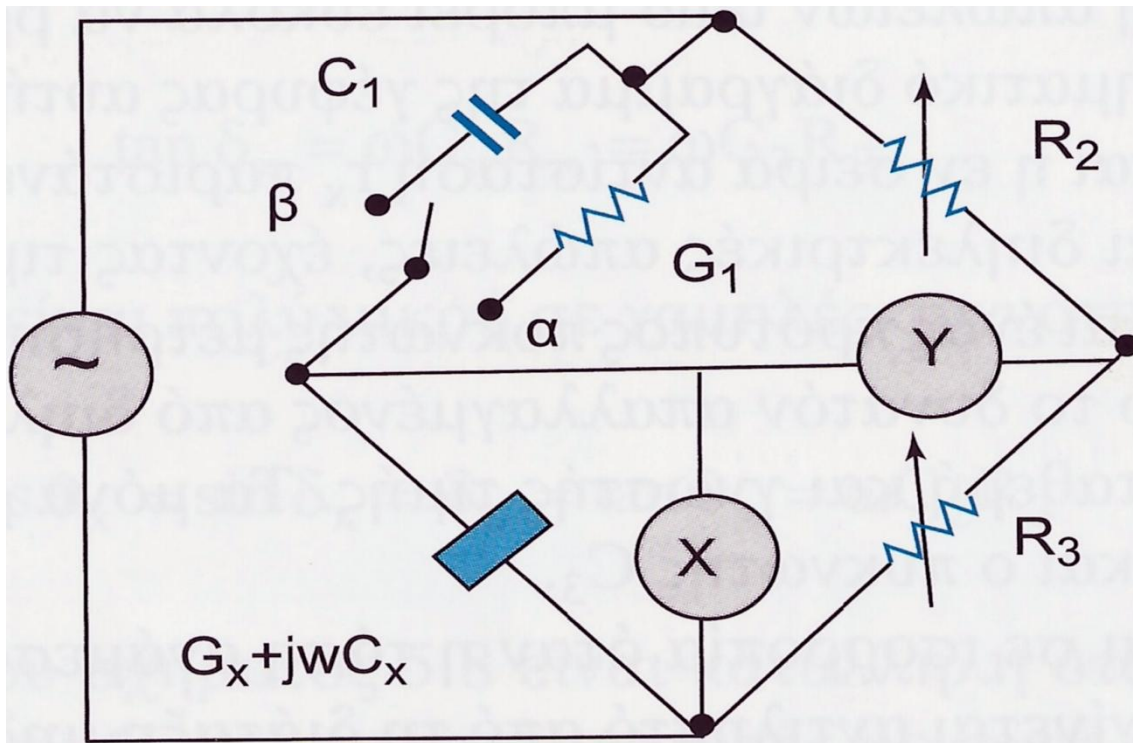
Σε σύνθετα κυκλώματα χρησιμοποιούνται για να μετρήσουμε την εφαπτομένη απωλειών και την διηλεκτρική σταθερά για συχνότητες κάτω από συνεχή τάση – 0 Hz – ίσαμε 100 MHz. Τόσο η εφαπτομένη απωλειών, όσο και η διηλεκτρική σταθερά δεν έχουν τη δυνατότητα να προσδιοριστούν άμεσα. Στις μετέπειτα παραγράφους θα προβάλλουμε τους τρόπους με τους οποίους τα μετράμε ανάλογα με την συχνότητα. Όμως χρειάζεται να επισημαίνουμε τα παρακάτω:

- Η μεταβολή και η απροσδόκητη μετατροπή της εφαπτομένης απωλειών $\tan\delta$ είναι μια βεβαίωση του ξεκινήματος μερικών εκκενώσεων. Τον τρόπο αυτό τον χρησιμοποιούμε για να καθορίσουμε το ξεκίνημα εσωτερικών απωλειών λόγω μερικών εκκενώσεων σε εξοπλισμό υψηλής τάσης.
- Όσον αφορά την μεταβολή των χαρακτηριστικών του διηλεκτρικού με την τροποποίηση της συχνότητας, χρειάζεται να υπογραμμίσουμε ότι η διηλεκτρική επιτρεπτότητα ελαττώνεται όταν θα πολλαπλασιάσουμε την συχνότητα.

3.3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (0-10 Hz).

Για να εκτελέσουμε τις δοκιμές με υψηλές τάσεις σε εξοπλισμό που έχει ισχύ πολλών kVA και προκειμένου να εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά των διηλεκτρικών σε συχνότητες σχεδόν στο μηδέν ή σε μηδενικές συχνότητες (σε συνεχείς τάσεις) είναι αρμόζον οι δοκιμές αυτές να πραγματοποιούνται σε ένα εύρος συχνοτήτων από 0 ίσαμε 10 Hz. Η ορθότητα αυτών των

μετρήσεων εξαρτώνται από την ευστάθεια των οργάνων ανίχνευσης ή οργάνων μηδενισμού και των πηγών τροφοδοσίας.



Σχήμα 3.Θ: Η γέφυρα Mole.

Η συνδεσμολογία την οποία εκμεταλλευόμαστε κατά κανόνα για αυτό το είδος μέτρησης χαμηλής συχνότητας είναι η γέφυρα Mole, της οποίας το σχηματικό σχεδιάγραμμα που την δείχνει φαίνεται στο σχήμα 3.Θ. Αυτή η γέφυρα αρχικά σχεδιάστηκε για να μετρήσουμε την διασπορά της μόνωσης εγκατεστημένου εξοπλισμού και δίδει ακριβή μέτρηση της υγρασίας που συμπεριλαμβάνεται στην μόνωση. Εμείς γνωρίζουμε ότι η διασπορά του διηλεκτρικού πολλαπλασιάζεται ξαφνικά με την ελάττωση της συχνότητας που έχει ως επακόλουθο μια πιο ευαίσθητη μέτρηση να πετυχαίνεται σε χαμηλές συχνότητες. Η γέφυρα που φαίνεται στο σχήμα 3.Θ δεν έχει το συνηθισμένο σύστημα ισορροπίας. Ένα όργανο απαρίθμησης της παράστασης σε οθόνη χρησιμοποιείται ως ο μηδενικός δείκτης και γέφυρα σταθεροποιείται όταν οι τάσεις V_y και V_x είναι κατακόρυφες. Η σταθεροποίηση με τον διακόπτη στο μέρος α επέρχεται όταν ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{V_x}{R_3} R_2 - \frac{V_x}{G_1} (G_x + j\omega C_x) = V_y = jK V_x \quad (3-\xi).$$

Όπου το K είναι:

$$K = \frac{V_y}{V_x} \quad (3-\omicron).$$

Άρα λοιπόν έχουμε:

$$G_x = \frac{R_2}{R_3} G_1 \quad (3-\pi).$$

Από την σχέση (3-π) βλέπουμε πια στιγμή ισορροπεί η γέφυρα σε συνθήκη αγωγιμότητας και όταν ο διακόπτης βρίσκεται στο σημείο α.

Στο ενδεχόμενο που ο διακόπτης βρίσκεται στο σημείο β η ισορροπία επακολουθεί όταν ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$V'_x \frac{R'_2}{R'_3} - V'_x \frac{G_x + j\omega C_1}{j\omega C_1} = V'_y = JK' V'_x \quad (3-\rho).$$

Όπου το K' δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$K' = \frac{V'_y}{V'_x} \quad (3-\sigma).$$

Άρα λοιπόν το C_x δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_x = \frac{R'_2}{R'_3} C_1 \quad (3-\tau).$$

Όπου:

R'_2 και $R'_3 \rightarrow$ οι νέες τιμές των R_2 και R_3 .

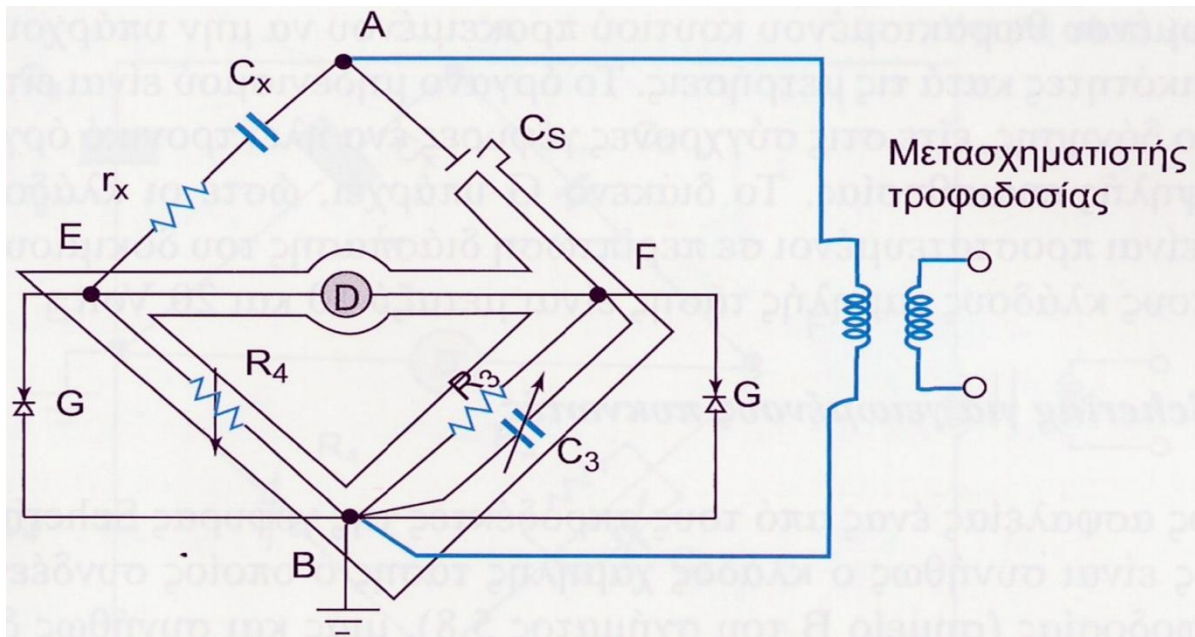
Προσδιορίζοντας επομένως τον λόγο των R_2 και R_3 προσδιορίζεται η τιμή της χωρητικότητας C_x .

Κατά κανόνα για την γέφυρα Mole ο λόγος των αντιστάσεων κυμαίνεται από τα 10:1 ίσαμε 1:10, των χωρητικότητων από 1 μF ίσαμε 10 pF και των αγωγιμοτήτων από 10^{-6} ίσαμε 10^{-10} Siemens.

3.3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ - ΓΕΦΥΡΑ SCHERING.

Το να μετρήσουμε βιομηχανική συχνότητα με εύρος τιμών από 25 Hz ίσαμε 100Hz η γέφυρα Schering είναι εξαιρετικά ευαίσθητη και οπωσδήποτε είναι αρμόζοντα για μετρήσεις υψηλών τάσεων. Η απευθείας σχέση που έχει η διηλεκτρική επιτρεπτότητα με την εφαπτομένη απωλειών $\tan\delta$ είναι δυνατόν ευχερώς να εντοπίσουμε με χρήση της εν λόγω γέφυρας. Το σχηματικό σχεδιάγραμμα αυτής της γέφυρας δείχνεται στο σχήμα 3.Ι. Ο πυκνωτής C_x και η αντίσταση r_x η οποία είναι σε σειρά απεικονίζει το δοκίμιο το οποίο διηλεκτρικές απώλειες και χωρητικότητα, που έχει τιμή από 50 μF ίσαμε 500 μF . Ο πυκνωτής C_s είναι ένας παραδειγματικός πυκνωτής με τον οποίο μετράμε υψηλές τάσεις πολύ μεγάλης ορθότητας και όσο το δυνατόν απαλλαγμένος από διηλεκτρικές απώλειες. Η αντίσταση R_3 είναι σταθερή και

γνώριμης τιμής. Τα αποκλειστικά ρυθμιζόμενα στοιχεία είναι ο πυκνωτής C_3 και η αντίσταση R_4 .



Σχήμα 3.1: Το σχηματικό διάγραμμα της γέφυρας Schering.

Η γέφυρα συνίσταται σε ισορροπία όταν η τάση ενδιάμεσα από τα σημάδια E και F μηδενίζεται και είναι δυνατόν να γίνει αυτό ορατό από την διάταξη μηδενισμού που συνδυάζεται ανάμεσα τους. Όταν γίνεται η ισορροπία της γέφυρας τότε ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4} \quad (3-υ).$$

Όπου τα Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= r_x + \frac{1}{j\omega C_s}, \\ Z_2 &= \frac{1}{j\omega C_s}, \\ Z_3 &= \frac{R_3}{1 + j\omega C_3 R_3}, \\ Z_4 &= R_4. \end{aligned} \right\} (3-φ).$$

Όπου η ισορροπία τελικά πραγματοποιείται όταν ισχύουν η παρακάτω σχέσεις :

$$\left. \begin{aligned} C_x &= \frac{R_3}{R_4} C_s \quad \text{και} \\ r_x &= \frac{C_3}{C_2} R_1 \end{aligned} \right\} (3-χ).$$

Η εφαπτομένη απωλειών δίνεται την παρακάτω σχέση:

$$\tan\delta = \omega * C_x * R_x = \omega * C_3 * R_3 \quad (3-\psi).$$

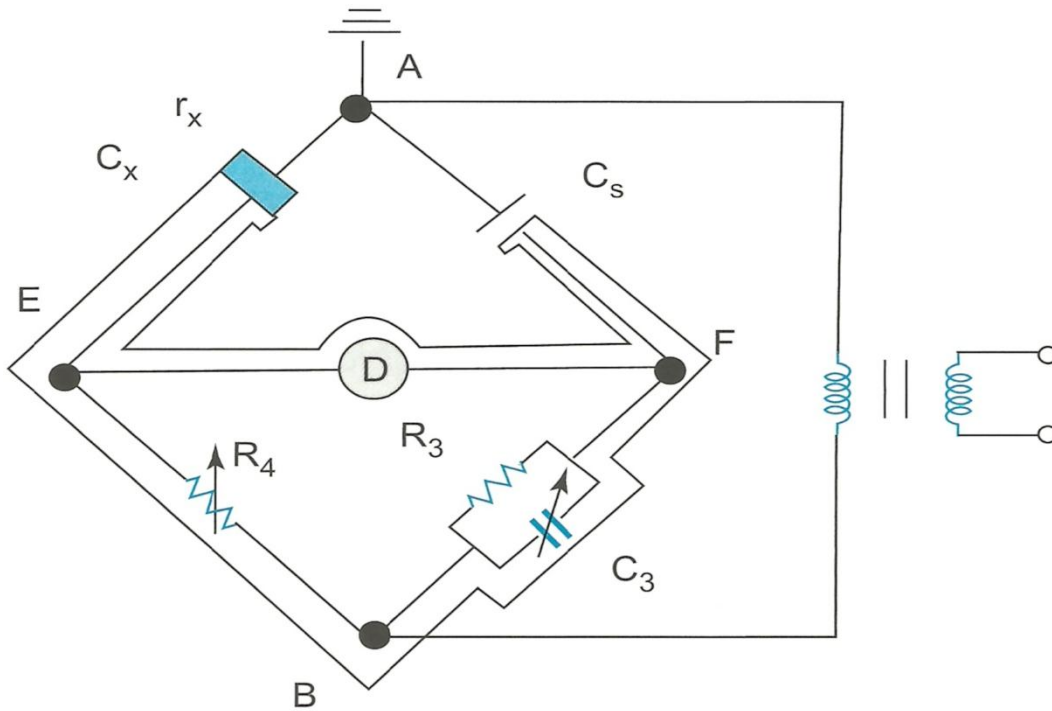
Κατά κανόνα η γωνία δ_χ είναι εξαιρετικά μικρή σε χαμηλές συχνότητες για τα κοινά διηλεκτρικά όποτε ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\cos\theta_\chi = \sin\delta_\chi = \delta_\chi = \tan\theta_\chi = \omega * C_2 * R_3 \quad (3-\omega).$$

Η συνδεσμολογία που φαίνεται στο σχήμα 3.Ι είναι αρμόζοντα όταν το δοκίμιο δεν είναι γειωμένο. Ο πυκνωτής C_s είναι ένας πυκνωτής που έχει τρεις ακροδέκτες. Οι κλάδοι της χαμηλής τάσης της γέφυρας (R_4 και R_3 C_3) και το όργανο μηδενισμού εντοπίζονται μέσα σε γειωμένο θωρακισμένο κουτί προκειμένου να μην υφίσταται οι παράσιτες χωρητικότητες την στιγμή που γίνονται οι μετρήσεις. Το όργανο μηδενισμού είναι είτε στις σημερινές γέφυρες ένα όργανο μηδενισμού ηλεκτρονικό υψηλής ευαισθησίας, είτε ένα γαλβανόμετρο δόνησης. Το διάκενο G υφίσταται, ώστε λοιπόν οι κλάδοι της χαμηλής τάσης να είναι προφυλαγμένοι όταν υπάρχει ενδεχόμενο να διασπαστεί το δοκίμιο. Κατά κανόνα η τάση που υπάρχει στους κλάδους της χαμηλής τάσης είναι ανάμεσα στα 10 Volt και στα 20 Volt.

3.3.4.α ΓΕΦΥΡΑ SCHERING ΓΙΑ ΓΕΙΩΜΕΝΟΥΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ.

Για λόγους προστασίας ένας από τους ακροδέκτες της γέφυρας Schering τον γειώνουμε. Κατά κανόνα αυτός είναι ο κλάδος της χαμηλής τάσης τον οποίο τον συνδέουμε με την πηγή τροφοδοσίας – που στο σχήμα 3.Ι είναι το σημείο Β – επειδή στο κύκλωμα κατά κανόνα δημιουργείται θόρυβος στις μετρήσεις που κάνουμε. Κατά την διάρκεια που κάνουμε της δοκιμές των γειωμένων δοκιμίων, όπως για παράδειγμα στα υπόγεια καλώδια, ένας από τους ακροδέκτες Ε ή F θα χρειαστεί να τον γειώσουμε. Σε αυτά τα ενδεχόμενα θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε, είτε μια γέφυρα Schering στην οποία το όργανο μηδενισμού το οποίο θα το έχουμε γειώσει που αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.Κ, είτε μια ανεστραμμένη γέφυρα Schering που αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.Λ. Κατά την ώρα που δουλεύει η ανεστραμμένη γέφυρα Schering η γέφυρα συνίσταται μέσα σε ένα κλωβό Faraday, ενώ ο πυκνωτής σταθερής τιμής τον έχουμε σταθεροποιήσει πάνω σε ένα μονωτικό υλικό.



Σχήμα 3.Κ: Η ανεστραμμένη γέφυρα Schering με γειωμένους πυκνωτές.

Στην διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 3.Α το όργανο μηδενισμού το έχουμε γειώσει, εκεί οι παράσιτες χωρητικότητες του ακροδέκτη της υψηλής τάσης C_g και της πηγής βρίσκονται σε παράλληλη σύνδεση με το δοκίμιο. Ως ακολούθως, ή ισορροπία της γέφυρας είναι δυνατόν να γίνει σε δύο βήματα. Εν πρώτοις το δοκίμιο το αποσυνδέουμε και μετράμε την εφαπτομένη απωλειών $\tan\delta$ και την χωρητικότητα

C_g . Μετέπειτα συνδέουμε το δοκίμιο και τότε μια νέα ισορροπία πετυχαίνεται. Η δεύτερη κατάσταση ισορροπίας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C'_x = C_x + C_g \quad (3-\alpha\alpha).$$

Και η παρακάτω σχέση:

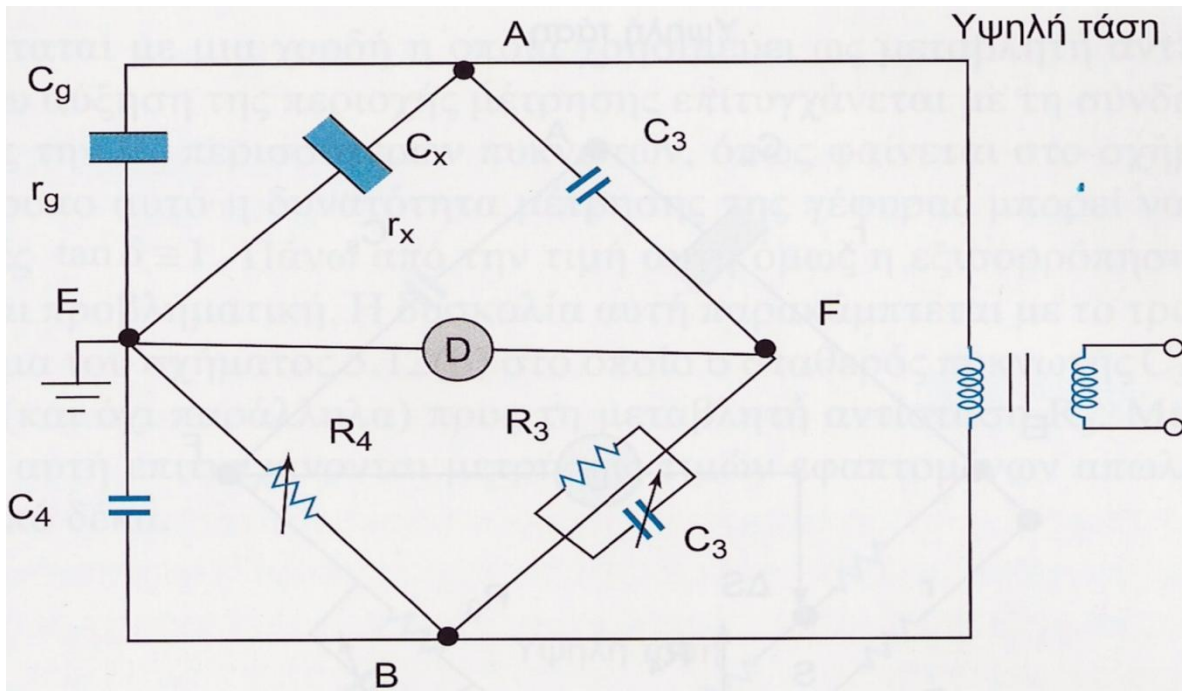
$$\tan\delta'_\chi = \frac{C_x \cdot \tan\delta_\chi + C_g \cdot \tan\delta_g}{C_x} \quad (3-\alpha\beta).$$

Ως ακολούθως η πραγματική χωρητικότητα C_g και η εφαπτομένη απωλειών $\tan\delta$ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_x = C'_x - C_g \quad (3-\alpha\gamma).$$

Και η παρακάτω σχέση:

$$\tan\delta_\chi = \frac{C'_x \cdot \tan\delta'_\chi + C_g \cdot \tan\delta_g}{C_x} \quad (3-\alpha\delta).$$



Σχήμα 3.Α: Η γέφυρα Schering με γειωμένο το όργανο μηδενισμού.

3.3.4.β ΓΕΦΥΡΑ SCHERING ΓΙΑ ΥΨΗΛΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.

Δοκίμια με υψηλή χωρητικότητα όπως είναι οι πυκνωτές που είναι για να διορθώσουμε τον συντελεστή ισχύος και τα καλώδια της υψηλής τάσης είναι δυνατόν να είναι έξω από τα όρια στα οποία συνίσταται η τιμή της αντίστασης R_4 , όπως φαίνεται στο σχήμα 3.Ι. Επιπροσθέτως, η τιμή της αντίστασης R_4 θα γίνει εξαιρετικά μικρή, ώστε λοιπόν οι αντιστάσεις των διακοπών να μην έχουν τη δυνατότητα περισσότερο να παραβλεφτούν. Σε αυτά τα ενδεχόμενα το εύρος των τιμών της αντίστασης R_4 πολλαπλασιάζεται συμπληρώνοντας μία αντίσταση διακλάδωσης R_s παράλληλα ως προς την R_4 , όπως δείχνεται και στο σχήμα 3.Μ. Οι συνθήκες ισορροπίας μεταποιούνται όπως στην συνέχεια:

$$C_x = C_2 * R_4 \left(\frac{R_s + r + S + R_4}{R_s(R + \Delta S)} \right) \quad (3-αε).$$

Και η παρακάτω σχέση:

$$\tan \delta_\chi = \omega * C_3 * R_3 - \omega * C_3 * R_3 \left(\frac{r + S + \Delta S}{R_4 + \Delta S} \right) \quad (3-αζ).$$

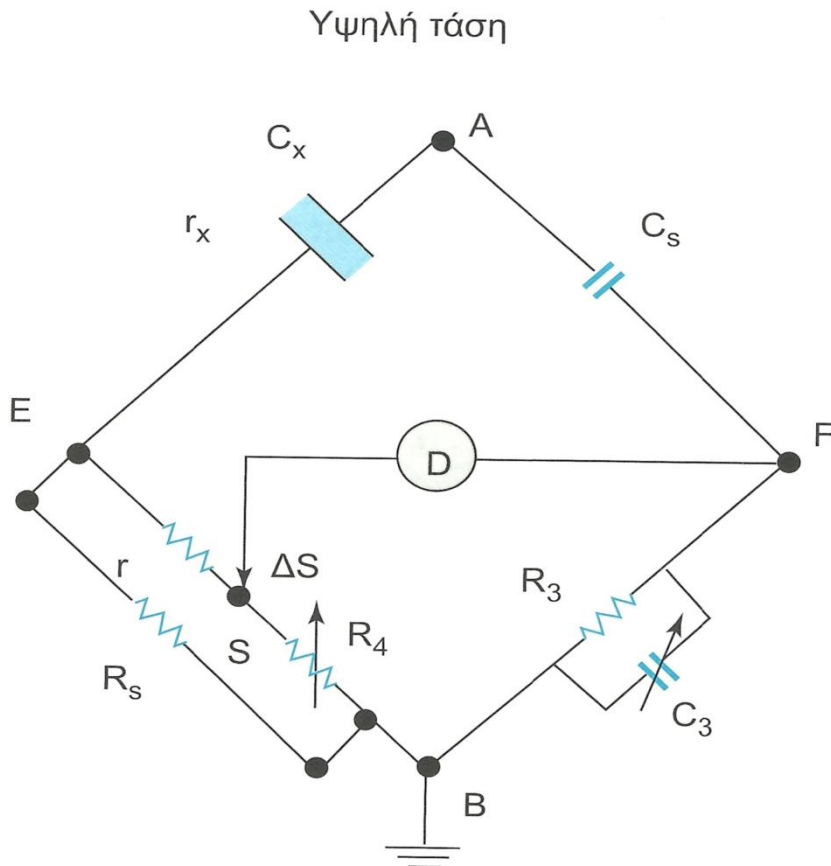
Όπου:

$S \rightarrow$ η χορδή που είναι χρήσιμη σαν μεταβλητή αντίσταση.

$\Delta S \rightarrow$ το ανώτερο τμήμα του επιμήκους ποτενσιόμετρο με δρομέα ολισθαίνοντα.

$R_s \rightarrow$ η αντίσταση διακλάδωσης.

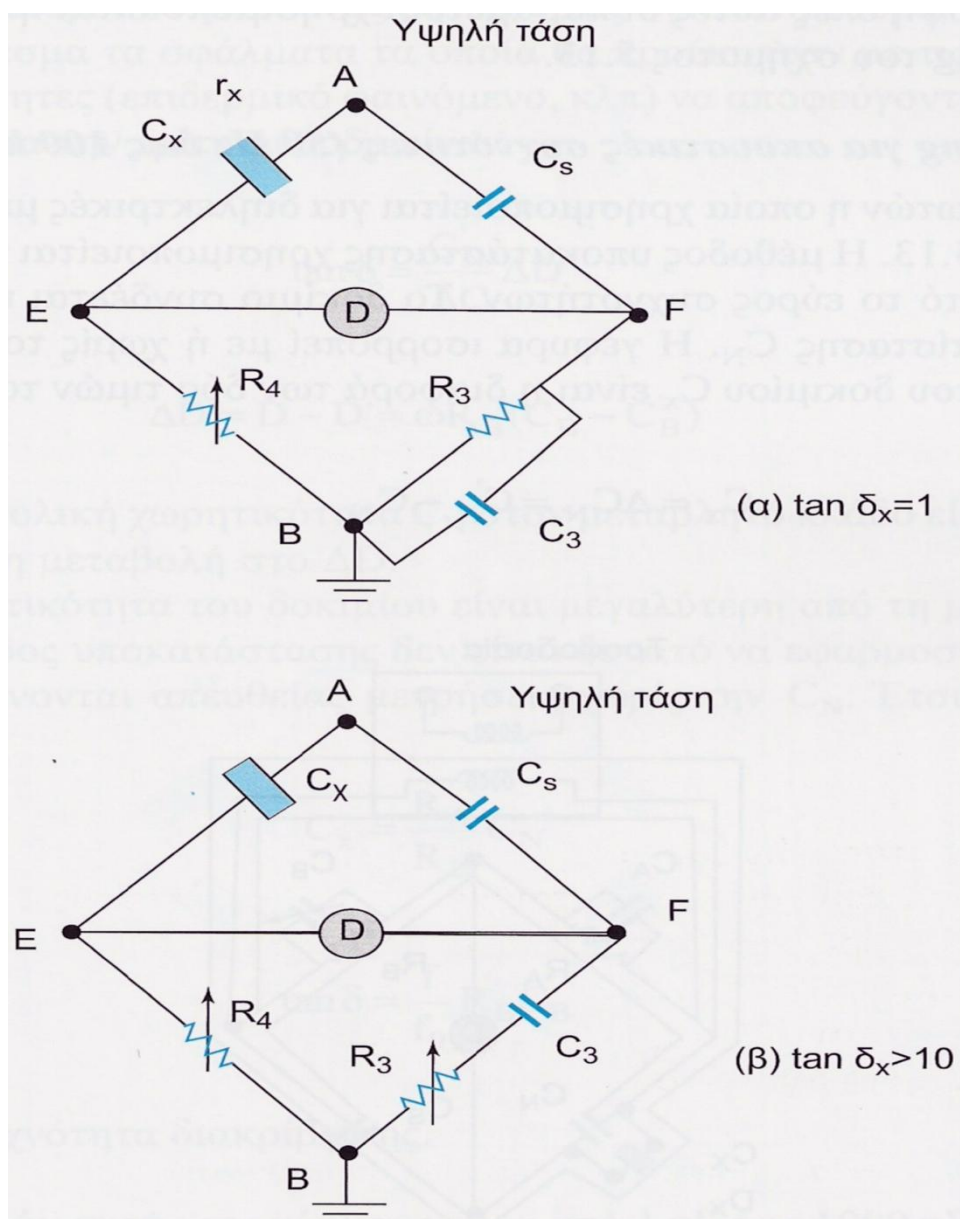
R_4 → το κιβώτιο αντιστάσεων που μεταβάλλονται ανά δέκα.
 r → η σταθερή αντίσταση που έχει μικρή τιμή.



Σχήμα 3.Μ: Η τροποποιημένη γέφυρα Schering για μεγάλα ρεύματα φόρτισης.

3.3.4.γ ΓΕΦΥΡΑ SCHERING ΓΙΑ ΥΨΗΛΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.

Προκειμένου να μετρήσουμε υψηλούς συντελεστές απωλειών κάνοντας χρήση της γέφυρας Schering πολλαπλασιάζεται η τιμή του πυκνωτή C_3 . Επειδή μεταβλητοί πυκνωτές με πολύ μεγάλη χωρητικότητα είναι πολλοί ακριβοί ο πυκνωτής C_3 γίνεται σταθερός και η αντίσταση R_3 την αλλάζουμε με μια χορδή η οποία είναι χρήσιμη ως μεταβλητή αντίσταση. Επιπλέον αύξηση της επιφάνειας μέτρησης πραγματοποιείται με την παράλληλη σύνδεση ως προς την αντίσταση R_3 περισσότερους πυκνωτές, όπως δείχνεται και στο σχήμα 3.Ν.α. Με αυτήν την τακτική η δυνατότητα να κάνουμε μετρήσεις στην γέφυρα είναι δυνατόν να εξαπλωθεί ίσαμε τιμές $\tan\delta \cong 1$. Ψηλότερα από αυτή την τιμή ωστόσο η εξισορρόπηση της γέφυρας είναι δυνατόν να γίνει προβληματική. Αυτό το πρόβλημα αποφεύγεται με το τροποποιημένο κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα 3.Ν.β στο οποίο ο σταθερός πυκνωτής C_3 τον συνδέουμε εν σειρά – και όχι παράλληλα – ως προς την μεταβλητή αντίσταση R_3 . Με αυτήν την συνδεσμολογία πραγματοποιούνται μετρήσεις τιμών εφαπτομένων απωλειών που είναι μεγαλύτερες από το δέκα.



Σχήμα 3.N: Οι γέφυρες Schering για μεγάλες επαπτομένες απωλειών.

3.3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.

Η γέφυρα Schering που είναι βασική γέφυρα είναι δυνατόν εξίσου να την χρησιμοποιήσουμε για μετρήσεις για ακουστικές συχνότητες και σε διηλεκτρικές δοκιμές. Ωστόσο στις υψηλότερες συχνότητες εμφανίζονται δυσκολίες και οι τιμές των C_3 και R_3 χρειάζονται να μεταβληθούν αρκετά. Κάποιες στιγμές η εξισορρόπηση είναι δυνατόν να γίνει πολύ δύσκολη για χαμηλές τιμές των χωρητικοτήτων των δοκιμών και τα σφάλματα εξαιτίας των παράσιτων χωρητικοτήτων κατ'έκταση του κλάδου της R_4 είναι δυνατόν να είναι αρκετά μεγάλα. Για αυτόν τον λόγο στο ενδεχόμενο να μετρήσουμε μικρές χωρητικότητες – που μπορεί να από 1 pF ίσαμε 100 pF ή και πιο λίγο – χρησιμοποιούμε μεθόδους αποκατάστασης, οι οποίες είναι πιο αληθείς για πάνω από ένα καθορισμένο εύρος τιμών. Προκειμένου ως εκ

τούτου να πάρουμε υπόψη όλες αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιούμε την τροποποιημένη γέφυρα Schering που φαίνεται και στο σχήμα 3.Ξ.

3.3.5.α ΓΕΦΥΡΑ SCHERING ΓΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟ 50 Hz ΕΩΣ 100 Hz.

Η γέφυρα πυκνωτών την οποία την χρησιμοποιούμε για να κάνουμε διηλεκτρικές δοκιμές δείχνεται στο σχήμα 3.Ξ. Η μέθοδος αποκατάστασης την χρησιμοποιούμε για μεγαλύτερη ακρίβεια σε αυτό το εύρος των συχνοτήτων. Το δοκίμιο το συνδέουμε κατ' έκταση της μεταβλητής αντίστασης C_N . Η γέφυρα ισορροπεί δίχως το δοκίμιο C_N ή με αυτό. Η χωρητικότητα του δοκιμίου C_N είναι η διαφορά των δύο τιμών του πυκνωτή C_N η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_x = \Delta C_N = C'_N - C_N \quad (3-αη).$$

Η ισορροπία για να υπολογίσουμε την εφαπτομένης απωλειών είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με οποιοδήποτε από τους περαιτέρω τρόπους, οι οποίοι είναι:

- Με την χρήση μιας μεταβλητής αντίστασης πολύς μεγάλης τιμής η οποία είναι συνδεδεμένη παράλληλα με τον πυκνωτή C_T .
- Με την χρήση ενός μεταβλητού πυκνωτή ο οποίος είναι συνδεδεμένος παράλληλα με την αντίσταση R_B (μεταβολή της χωρητικότητας C_B).
- Με την χρήση μιας μικρής μεταβλητής αντίστασης η οποία είναι συνδεδεμένη εν σειρά με την χωρητικότητα C_N .

Από τις μεθόδους αυτές κατά κανόνα χρησιμοποιούμε την δεύτερη μέθοδο καθώς ο πυκνωτής C_B είναι δυνατόν να μετατραπεί ένας μεταβλητός πυκνωτής αέρος, πολλής μεγάλης ποιότητας με επακόλουθο τα σφάλματα τα οποία θα προέκυπταν με τις αντιστάσεις σε πολύ μεγάλες συχνότητες (απώλειες, επιδερμικό φαινόμενο και άλλα σφάλματα) να αποφεύγονται. Η εφαπτομένη απωλειών που είναι για την δεύτερη μέθοδο δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Tan}\delta = \frac{C'_N}{\Delta C} \Delta D \quad (3-αθ).$$

Όπου το ΔD δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta D = D - D' = \Omega * R_B (C_B - C'_B) \quad (3-αι).$$

Κατά κανόνα η συνολική χωρητικότητα C_N στον μεταβλητό κλάδο είναι ελάχιστη για να υφίσταται μεγάλη μεταβολή στο ΔD .

Άρα λοιπόν η χωρητικότητα που έχει το δοκίμιο είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή της C_N και η μέθοδος αποκατάστασης δεν είναι δυνατόν να την χρησιμοποιήσουμε. Στις

περιπτώσεις αυτές κάνουμε κατευθείαν της μετρήσεις δίχως την C_N . Ως εξής οι $\tan\delta$ και C_x δίνονται από της παρακάτω σχέσεις:

$$\tan\delta = \frac{f}{f_0} R_B * C_B \quad (3-ακ).$$

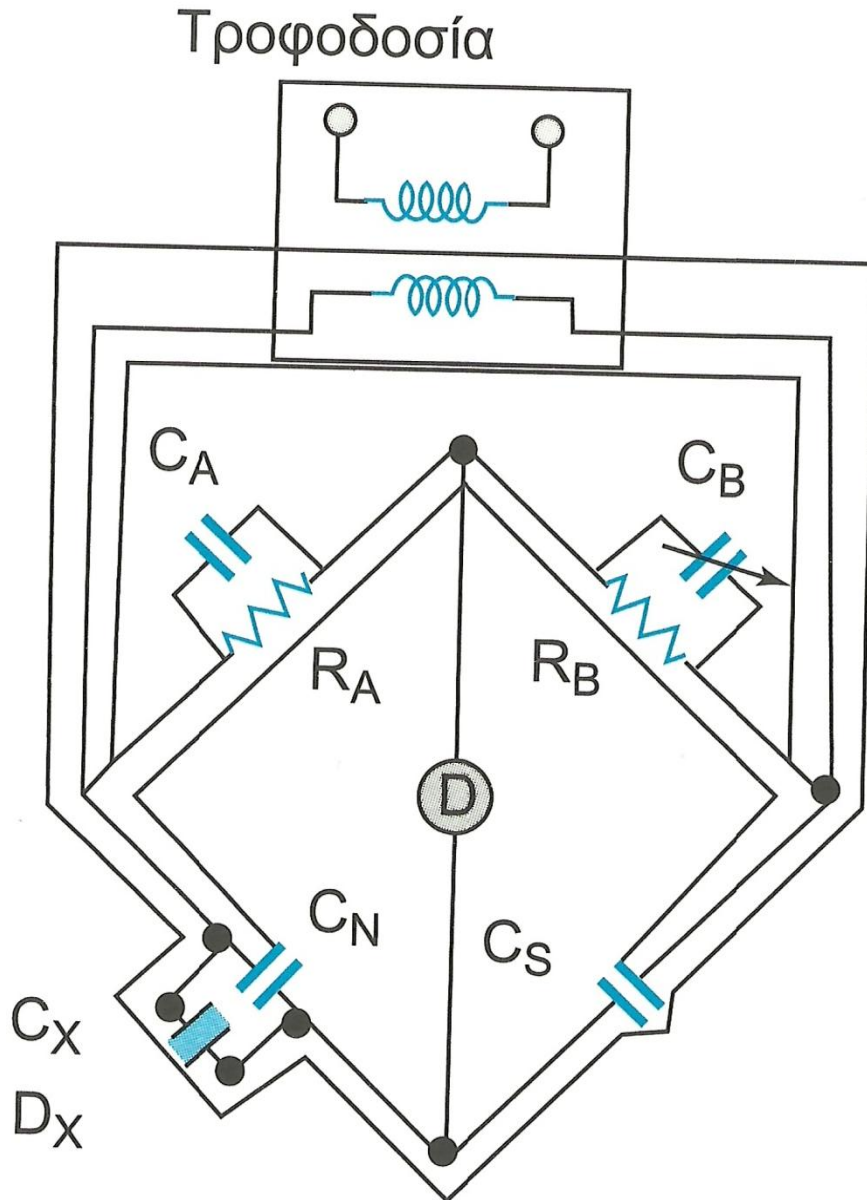
Και.

$$C_x = \frac{R_A}{R_B} C_N \quad (3-αλ).$$

Όπου:

$f_0 \rightarrow$ η συχνότητα διακρίβωσης.

Το εύρος τιμών της γέφυρας αυτής είναι από 1000 pF ίσαμε 100μF όταν χρησιμοποιούμε την ευθεία μέθοδο και από 1 pF ίσαμε 1000 pF, όταν χρησιμοποιούμε την μέθοδο υποκατάστασης.

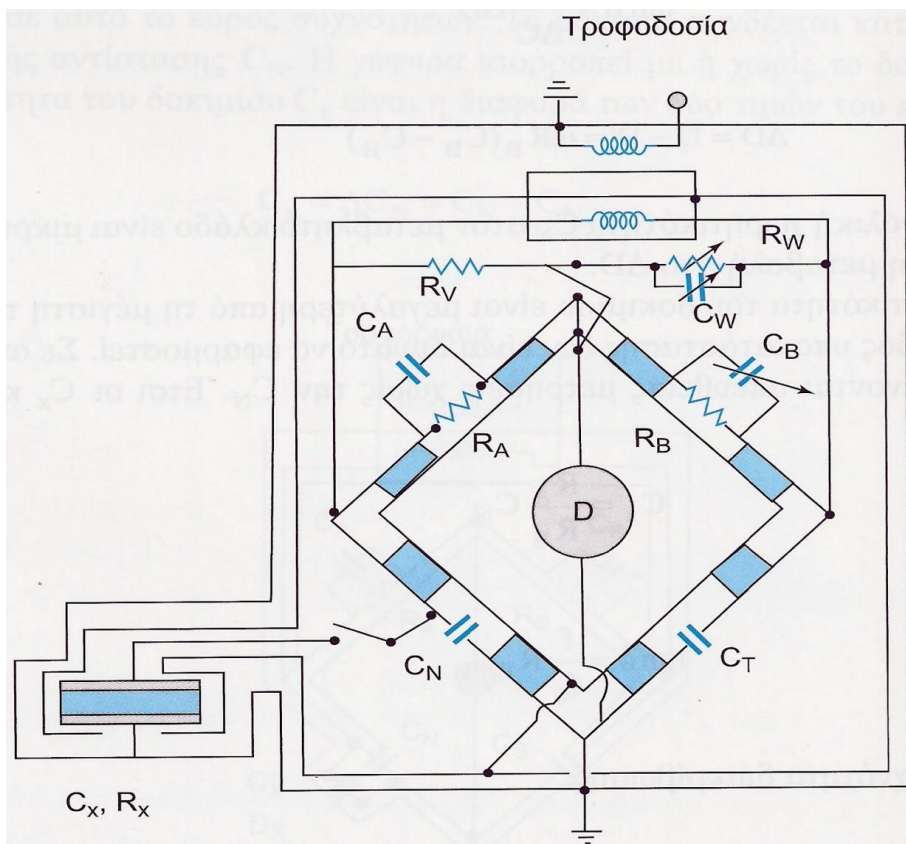


Σχήμα 3.Ξ: Η γέφυρα Schering για μέτρηση ακουστικών συχνοτήτων με θωράκιση και μετασχηματιστή τροφοδοσίας.

3.3.5.β ΓΕΙΩΣΗ ΚΑΙ ΘΩΡΑΚΙΣΗ.

Για να κάνουμε μετρήσεις σε δύο ακροδέκτες την γέφυρα Schering την γειώνουμε στα σημεία της συνένωσης. Το όργανο μηδενισμού, ο μετασχηματιστής τροφοδοσίας και όλα τα μέρη της γέφυρας βρίσκονται μέσα σε γειωμένη θωράκιση. Για να κάνουμε μετρήσεις σε τρεις ακροδέκτες είναι απαραίτητο να αποφευχθούν οι παράσιτες χωρητικότητες για να υφίστανται αληθείς μετρήσεις. Ως εξής, χρησιμοποιούμε ένα κύκλωμα επιτήρησης και ένα μηχάνημα γείωσης που είναι γνώριμο και ως μηχάνημα γείωσης Wagner. Η γέφυρα ισορροπεί τη μια με το μηχάνημα γείωσης και την άλλη με τον βραχίονα, ώστε λοιπόν να μην υφίσταται μεταβολή στην ισορροπία. Με αυτόν τον τρόπο εξαφανίζονται οι όποιες παράσιτες χωρητικότητες. Αυτό το κύκλωμα δείχνεται και στο σχήμα 3.0. Οι κλάδοι οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν τις $R_w \cdot C_w$ και την R_v είναι οι κλάδοι του μηχανήματος γείωσης του Wagner. Η γέφυρα αρχικώς ισορροπεί με C_T , C_N , R_A , και R_B και κατόπιν με τις C_T , C_N , R_w και R_v . Η συσκευή μηδενισμού εναλλακτικά συνδέεται είτε με τους κλάδους B και A της γέφυρας, είτε με το μηχάνημα γείωσης.

Αυτή η γέφυρα είναι δυνατόν να την χρησιμοποιήσουμε για συχνότητες ίσαμε και 500 kHz. Για συχνότητες μεγαλύτερες από 500 kHz χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές μεθόδους γιατί δεν πραγματοποιείται ισορροπία.



Σχήμα 3.0: Η γέφυρα Schering για μέτρηση τριών σημείων με την συσκευή γείωσης Wanger.

3.3.5.γ ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ.

Για να κάνουμε μετρήσεις πάνω σε υψηλές συχνότητες χρησιμοποιούμε γέφυρες με δύο βραχίονες τουλάχιστον με μεταβλητή σχέση μετασχηματισμού. Οι γέφυρες αυτές είναι ωφέλιμες για να κάνουμε αληθείς μετρήσεις χαμηλών τιμών χωρητικοτήτων. Αυτές οι γέφυρες είναι δυνατόν να είναι με βραχίονες μεταβλητής σχέσης μετασχηματισμού του ρεύματος ή της τάσης. Μια γέφυρα με βραχίονα μεταβλητής σχέσης μετασχηματισμού της τάσης δείχνεται και στο σχήμα 3.Π. Υποθέτοντας ότι έχουμε ιδανικό μετασχηματιστή για μηδενική ένδειξη του οργάνου μηδενισμού ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{V_s}{V_x} = \frac{N_s}{N_x} = \frac{C_x}{C_s} \quad (3-αμ).$$

Και η παρακάτω σχέση:

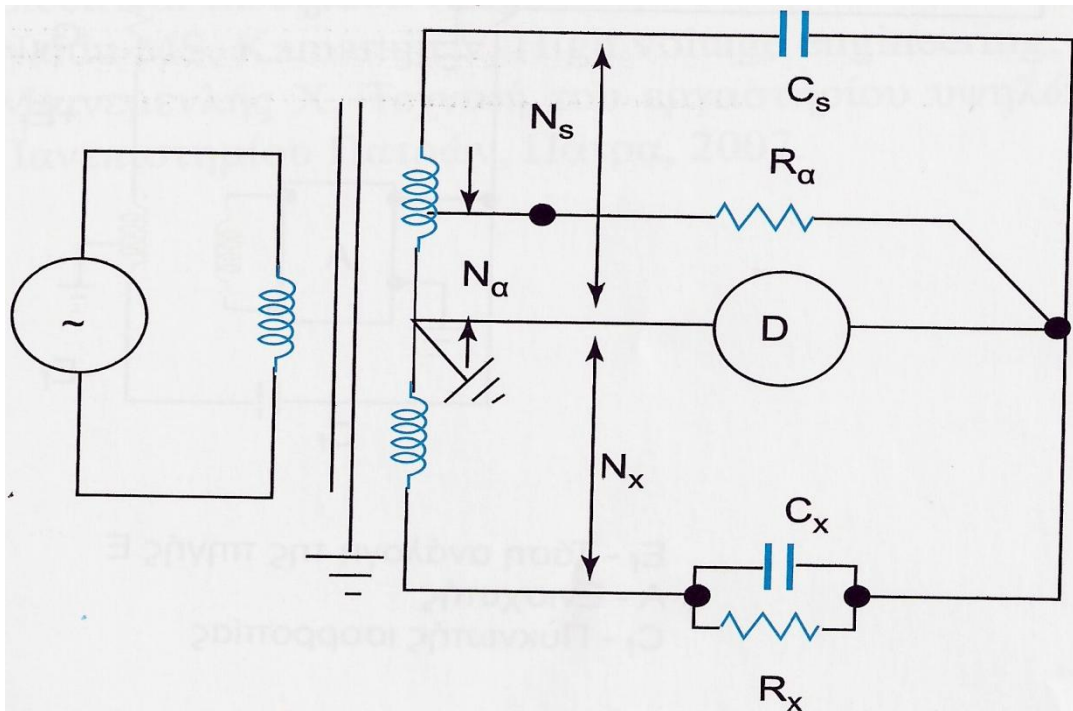
$$\frac{R_x}{R_a} = \frac{N_x}{N_a} \quad (3-αν).$$

Όπου:

R_a και R_x → η γνωστή και η άγνωστη αντίσταση αντίστοιχα,

N_s , N_x και N_a → οι αντίστοιχες σπείρες στα τυλίγματα του μετασχηματιστή και

C_s και C_x → η γνωστή και η άγνωστη χωρητικότητα αντίστοιχα.



Σχήμα 3.Π: Η γέφυρα με βραχίονα μεταβλητής σχέσης μετασχηματισμού τάσης.

Για εφαρμογές πάνω σε υψηλές τάσεις όπου απαιτούνται να κάνουμε μετρήσεις για συχνότητες των 50 Hz χρησιμοποιούμε την γέφυρα σύγκρισης ρεύματος, κατά τρόπο που δείχνεται και στο σχήμα 3.Ρ. Αυτή η γέφυρα φέρει το πλεονέκτημα ότι η ολόκληρη τάση προσαρμόζεται κατ' έκταση του πυκνωτή δοκιμής, όμως και το μειονέκτημα ότι χρειάζεται να υφίσταται και η αρμόζοντα αγωγιμότητα για την υψηλή τάση που εφαρμόζουμε. Το μειονέκτημα αυτό εξουδετερώνεται με την παραγωγή ενός σήματος χαμηλής τάσης E_f που είναι ανάλογο σε κατάσταση με την τάση E που εφαρμόζουμε κατά τρόπο που δείχνεται στην μεταποιημένη γέφυρα του σχήματος 3.Σ. Κάθε φορά που υφίσταται ισορροπία δεν υφίσταται τάση κατ' έκταση του τυλίγματος του συγκριτή. Αν το κέρδος που έχει ο ενισχυτής A είναι πολύ μεγάλο τότε λοιπόν ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$E_f = \frac{C_s}{C_f} E \quad (3-αξ).$$

Οι εξισώσεις ισορροπίας δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$C_x = C_s \frac{N_s}{N_x} \quad (3-αο).$$

$$G_x = \frac{C_s}{C_f} * \frac{N_a}{N_x} G_a \quad (3-απ).$$

$$\tan\delta = \frac{G_x}{\omega * C_x} = \frac{1}{\omega * C_f} * \frac{G_a * N_a}{N_x} \quad (3-αρ).$$

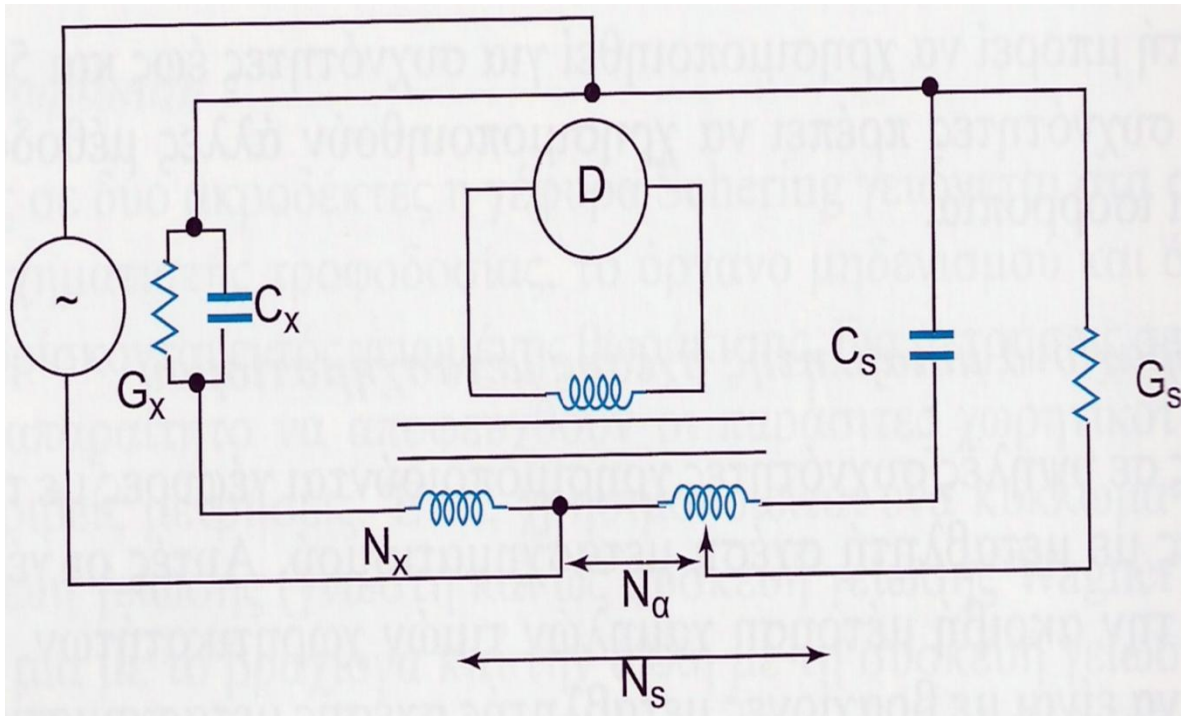
Όπου:

G_x και $G_a \rightarrow$ η γνωστή και η άγνωστη αγωγιμότητα αντίστοιχα,

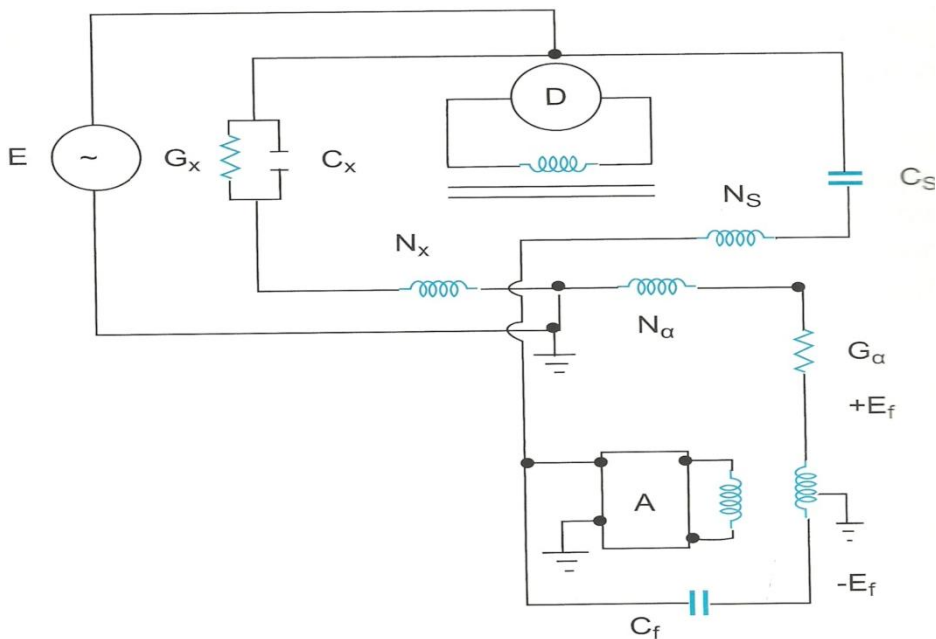
$C_f \rightarrow$ ο πυκνωτής ισορροπίας,

C_s και $C_x \rightarrow$ η γνωστή και η άγνωστη χωρητικότητα αντίστοιχα και

N_s , N_x και $N_a \rightarrow$ οι αντίστοιχες σπείρες στα τυλίγματα του μετασχηματιστή.



Σχήμα 3.Ρ: Η γέφυρα σύγκρισης ρεύματος.



Σχήμα 3.Σ: Η γέφυρα σύγκρισης ρεύματος για εφαρμογές υψηλών τάσεων. Τα γράμματα δείχνουν τα εξής: E_f → τάση ανάλογη της πηγής E , A → ενισχυτής και C_f → πυκνωτής ισορροπίας.

3.4 ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Τα πρακτικά συστήματα μόνωσης υψηλής τάσης περιλαμβάνουν ποικίλους τύπους διηλεκτρικών, π.χ. αέρια, υγρά, στερεά ή οποιονδήποτε συνδυασμό αυτών των τριών διηλεκτρικών. Το αποτέλεσμα, ύστερα από μια τάση καταπόνησης πάνω στην μόνωση, μεμονωμένα και επιπροσθέτως συλλογικά, είναι μια εκκένωση ή μια ανθεκτικότητα και έχει μια οποιασδήποτε φύση. Ως ακολούθως, οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά που έχει η μόνωση χρειάζεται να διαχειρίζονται στατιστικά.

Μέθοδοι δοκιμών και πρότυπες διαδικασίες που είναι υιοθετημένες για τον καθορισμό που πρέπει να έχουν οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά που πρέπει να έχει η μόνωση εμπλέκουν, γενικώς, την επαναλαμβανόμενη εφαρμογή της διηλεκτρικής καταπόνησης και την πρόβουσα αποτίμηση που έχουν τα αποτελέσματα. Ο σκοπός που έχει η στατιστική εκτίμηση των μεθόδων των δοκιμών είναι η εδραίωση πρότυπων διαδικασιών για σχετική ερμηνεία των παραμέτρων που προσδιορίζουν την συμπεριφορά της μόνωσης και ο καθορισμός των ορίων εμπιστοσύνης για τα δεδομένα που λαμβάνονται. Ως ακολούθως, θα παρουσιαστεί μια σύντομη επεξεργασία των συνολικών χρησιμοποιούμενων στατιστικών μεθόδων.

Τα επίσημα έγγραφα που επιλαμβάνονται του προκείμενου θέματος είναι η IEEE τυποποίηση και η IEC δημοσίευση 60-1 1989-11.

3.4.α ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ – ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΤΑΣΗΣ.

Μια καταπόνηση τάσης όταν εφαρμόζεται σε ένα τμήμα μιας μόνωσης είναι απολύτως ορισμένη όταν η εφαρμοζόμενη τάση $V(t)$ είναι γνώριμη κατά την στιγμή της καταπόνησης (t_0, t_M). Η προσπάθεια της συσχέτισης της συμπεριφοράς που έχει η μόνωση σε τουλάχιστον μια ελαφρώς διαφορετική τιμή της $V(t)$ προϋποθέτει ακριβή γνώση των φυσικών διαδικασιών που συμβαίνουν στο εσωτερικό της μόνωσης.

3.4.β ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΣΗΣ.

Το κύριο χαρακτηριστικό ενδιαφέροντος μιας μόνωσης είναι η εκκένωση διάσπασης που έχει την δυνατότητα να συμβεί κατά την διάρκεια της εφαρμογής της καταπόνησης. Ωστόσο, εξαιτίας της τυχαιότητας των φυσικών διαδικασιών οι οποίες κατευθύνονται σε διάσπαση, η ίδια καταπόνηση που είναι εφαρμοζόμενη πολυάριθμες φορές στις ίδιες συνθήκες έχουν την δυνατότητα να μην προκαλέσει πάντα εκκένωση διάσπασης. Επιπροσθέτως, η εκκένωση, όταν αυτή θα συμβεί, έχει τη δυνατότητα να λάβει χώρα σε διαφορετικές στιγμές. Επιπλέον, η εφαρμογή της καταπόνησης, ακόμα και αν δεν προκαλέσει εκκένωση, έχει την δυνατότητα να καταλήξει σε μια μεταβολή των χαρακτηριστικών της μόνωσης.

3.4.γ ΤΥΧΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ.

Η τυχειότητα της εμφάνισης εκκένωσης είναι δυνατόν να προτυποποιηθεί θεωρώντας ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών καταπόνησης, ένα κλάσμα p του οποίου προκαλεί εκκένωση, D , και το κλάσμα $q=(1-p)$ που εναπομένει το οποίο χαρακτηρίζεται ως ανοχή, W . Η τιμή του p εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη καταπόνηση S , με $p=p(S)$ να είναι η « πιθανότητα εκκένωσης » που αναπαριστά ένα από τα χαρακτηριστικά της μόνωσης. Αναγνωρίζοντας ότι ο χρόνος προς εκκένωση αυξομειώνεται επιπλέον στατιστικά, η πιθανότητα εκκένωσης είναι δυνατόν να γίνει μια συνάρτηση αμφοτέρων καταπόνησης S και του χρόνου t , δηλαδή ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$p(V) = p(t,S) \quad (3-ασ).$$

3.4.δ ΤΥΠΟΙ ΜΟΝΩΣΗΣ.

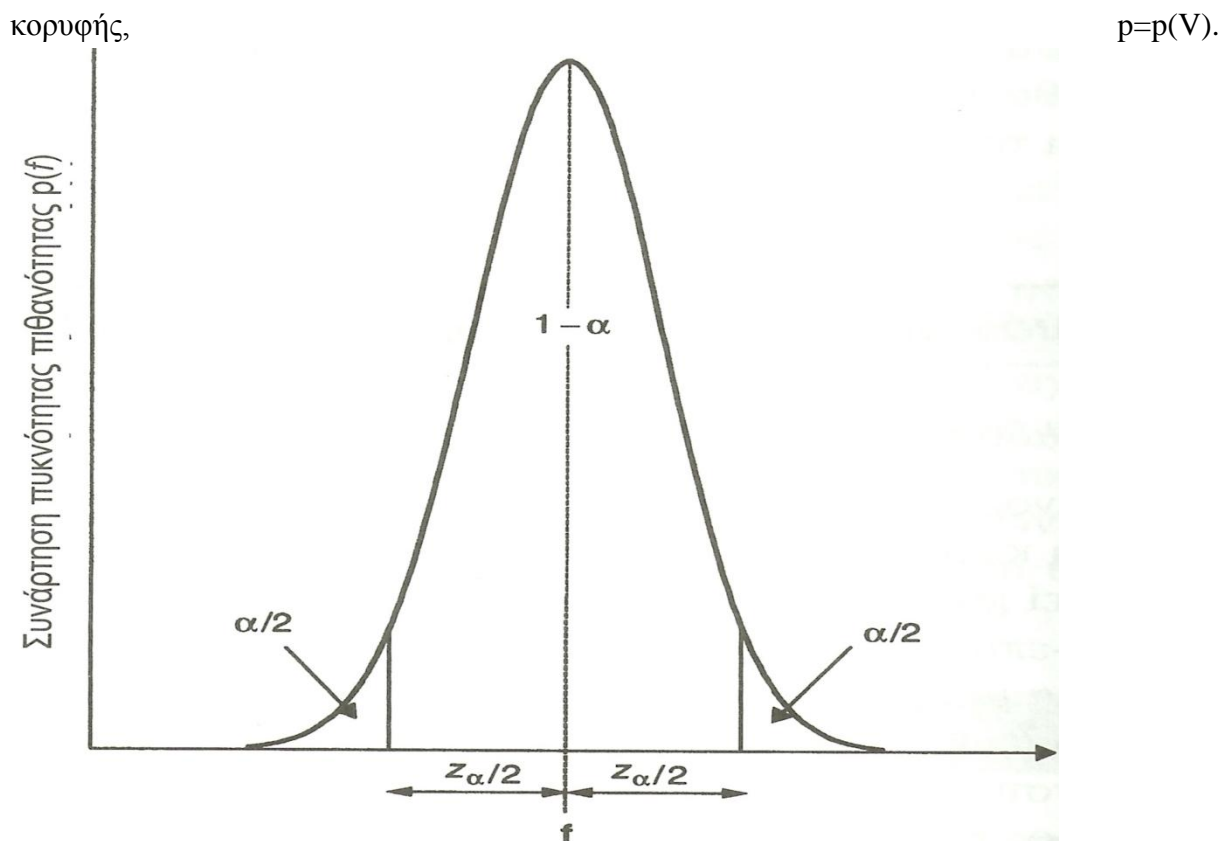
Οι μονώσεις ομαδοποιούνται σε γενικές γραμμές στους παρακάτω τύπους:

- Αυτό-επανορθούμενες (αέρια) – καμιά μεταβολή δεν προκαλείται από την εφαρμογή καταπόνησης ή από την εκκένωση και ως ακολούθως, το ίδιο δείγμα είναι δυνατόν να δοκιμαστεί πολλές φορές.
- Μη-αυτό-επανορθούμενες (υγρά) – επηρεάζονται αποκλειστικά από την εκκένωση, το ίδιο δείγμα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί έως την στιγμή που θα συμβεί η εκκένωση.
- Επηρεαζόμενες από την εφαρμοζόμενη καταπόνηση – η μόνωση υφίσταται μια γήρανση και για την δοκιμή καθίσταται επιτακτικό να καθιερωθεί μια νέα παράμετρος που θα αφορά στην αλληλουχία της εφαρμογής της καταπόνησης.

3.4.ε ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΔΟΚΙΜΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.

Για σχεδιαστικούς σκοπούς μας είναι ικανοποιητικό να περιορίζεται η γνώση των χαρακτηριστικών που έχει μια μόνωση σε μερικές οικογένειες καταπονήσεων οι οποίες είναι μια συνάρτηση του χρόνου, δηλαδή $V(t)$, ένα διπλοεκθετικό διακοπτικό κύμα που έχει χρόνο κορυφής T_1 και χρόνο ημίσεως πλάτους T_2 και ακόμα έχει μεταβλητή τιμή κορυφής V .

Για λόγους δοκιμαστικούς η οικογένεια περιορίζεται ακόμα χρησιμοποιώντας σταθερούς χρόνους T_1 και T_2 , και ως εξής απομένει αποκλειστικά μόνο μια μεταβλητή (V). Το ίδιο ισχύει για αμφοτέρους τους τύπους των κυμάτων. Εκείνη την στιγμή, η συμπεριφορά που έχει η μόνωση προσδιορίζεται από την πιθανότητα της εκκένωσης ως μια συνάρτηση της τάσης



Σχήμα 3.Τ: Η καμπύλη κανονικής (Gaussian) κατανομής με όρια εμπιστοσύνης.

Η περισσότερο κοινά χρησιμοποιούμενη συνάρτηση κατανομής είναι η κανονική κατανομή (Gaussian), η οποία έχει ένα συγκεκριμένο σχήμα (καμπάνας), που είναι απεικονισμένη γραφικά στο σχήμα 3.Τ. Η εξίσωση που είναι για την συνάρτηση της πυκνότητας της κατανομής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$p(f) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{f_k - f_{av}}{2\sigma^2}\right)^2} \quad (3-ατ).$$

Όπου :

$f_k \rightarrow$ η k-ιοστή τιμή της μεταβλητής,

$f_{av} \rightarrow$ η μέση τιμή και

$\sigma \rightarrow$ η τυπική απόκλιση.

Όταν η εφαρμοζόμενη τάση V γίνεται η μεταβλητή, η χρησιμοποιούμενη συνάρτηση Gaussian κατανομής λαμβάνει την παρακάτω μορφή:

$$P(V) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{V - V_{50}}{2\sigma^2}\right)^2} \quad (3-αυ).$$

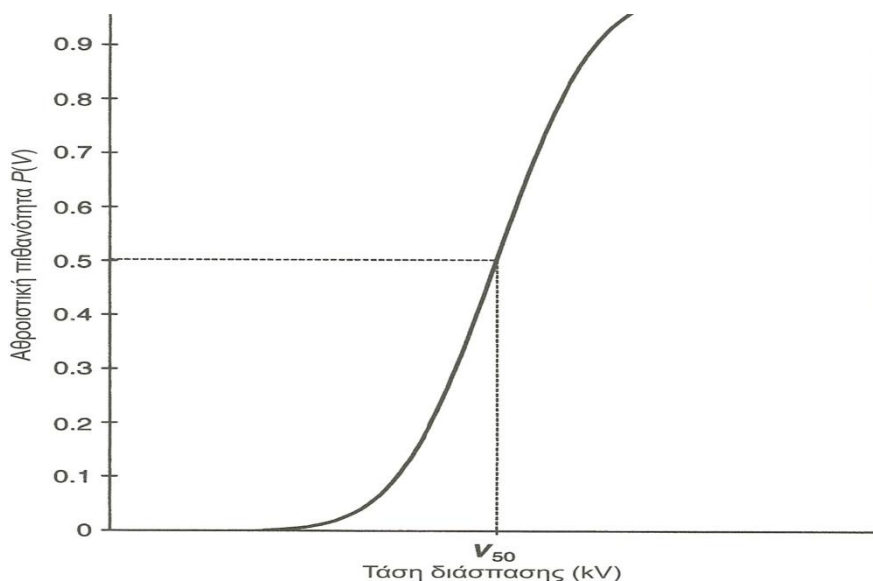
Όπου:

$V_{50} \rightarrow$ η τάση που οδηγεί σε 50 επί τοις εκατό πιθανότητα να υπάρχει εκκένωση.

Η γνώση της V_{50} και της σ επιτρέπει τον υπολογισμό της τιμής της πιθανότητας $p(V)$ για κάθε εφαρμοζόμενη τάση V .

Επιπροσθέτως, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.Γ βλέπουμε ότι φαίνονται τα όρια εμπιστοσύνης A και B . Η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα όταν εκφράζονται σε ποσοστό επί τοις εκατό εκδηλώνεται μέσω της επιφάνειας $(1-\alpha)$ ανάμεσα στα όρια $-(\alpha/2)$ και $(\alpha/2)$. Μια πιο περισσότερο εξυπηρετική μορφή της κανονικής κατανομής είναι η συνάρτηση της αθροιστικής κατανομής, το ολοκλήρωμα της εξίσωσης (3-αυ), η οποία έχει την παρακάτω μορφή:

$$P(V) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{(V-V_{50})^2}{2\sigma^2}\right)} dx \quad (3-αφ).$$



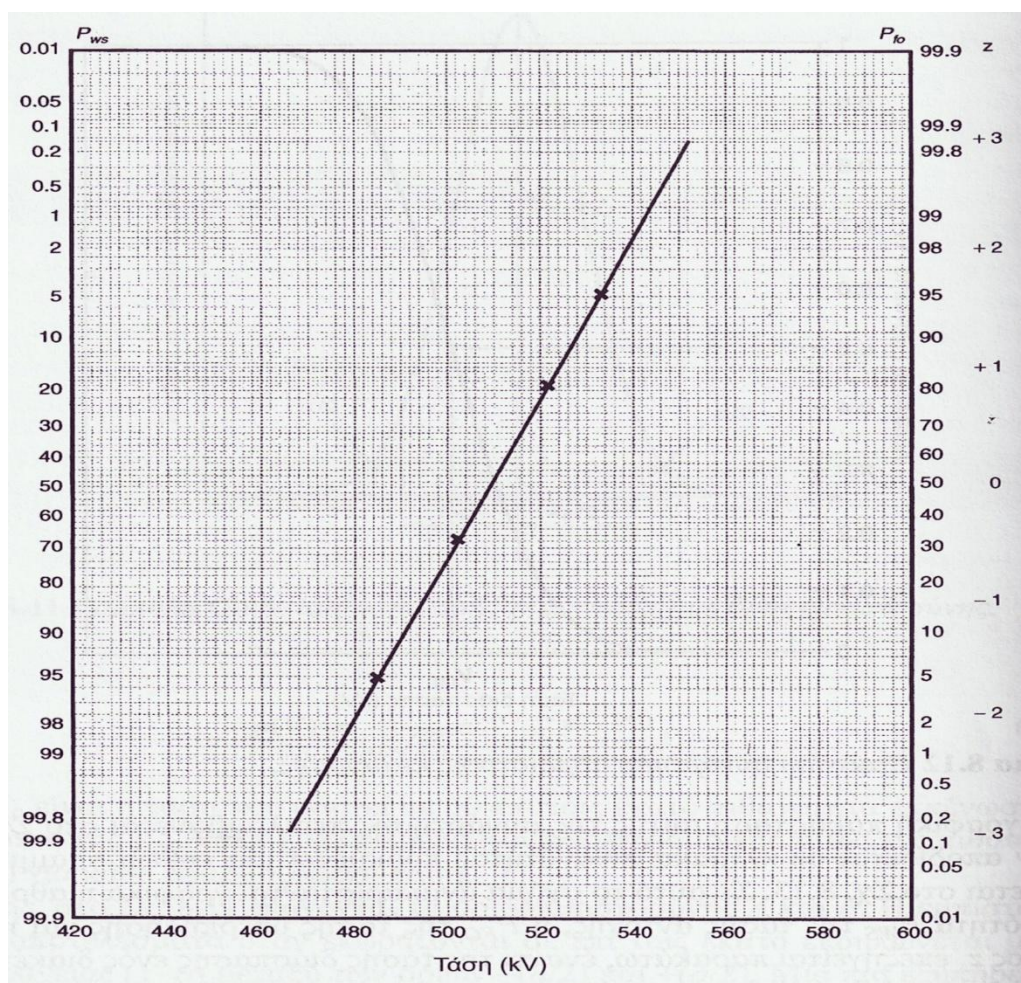
Σχήμα 3.Υ: Η Gaussian συνάρτηση αθροιστικής κατανομής.

Μια γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτής συμπεριλαμβάνεται στο σχήμα 3.Υ. Όταν αποδίδεται σε κλίμακα πιθανότητας προκύπτει μια ευθεία γραμμή όπως δείχνεται στο σχήμα 3.Φ. Σε αυτό το σχήμα αναπαρίστανται γραφικά η αθροιστική συχνότητα P_{WS} που έχει η τάση αντοχής, η P_{FO} της τάσης υπερπήδησης και η παράμετρος z , επεξηγείται παρακάτω, σχετικώς με την τάση διάσπασης ενός διακένου ράβδων με μήκος 1 m κάτω από θετική διακοπτική τάση σε ατμοσφαιρικό αέρα. Επισημαίνεται ότι υφίστανται τρεις κάθετες κλίμακες, δύο μη-γραμμικές παρέχουσες απευθείας την P_{WS} (αριστερή πλευρά) και την P_{FO} (δεξιά πλευρά), και επιπροσθέτως στα δεξιά μια γραμμική κλίμακα που δίνεται σε μονάδες αδιάστατης απόκλισης z . Η παράμετρος z είναι πρόσφορη για ανάλυση των αποτελεσμάτων κανονικής κατανομής. Η εξίσωση (3-αφ) αναδιατυπώνεται με την παρακάτω μορφή:

$$P(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\left(\frac{z^2}{2}\right)} dz \quad (3-αχ).$$

Όπου το z δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Z = \frac{V - V_{50}}{\sigma}$$



Σχήμα 3.Φ: Η κατανομή τάσης διάσπασης αποδοδεμένης γραφικά σε κλίμακα πιθανότητας.

Όπως έχει επισημανθεί νωρίτερα, η κατανομή υπερπήδησης του διακένου χαρακτηρίζεται μέσω δύο παραμέτρων, οι οποίοι είναι οι παρακάτω:

- V_{50} , καλείται η κρίσιμη υπερπήδηση (CFO) και
- σ , καλείται η τυπική απόκλιση.

Αμφότερες έχουν την δυνατότητα να αναγνωστούν άμεσα από την γραμμή βέλτιστης προσαρμογής που σύρεται διαμέσου των πειραματικά καθορισμένων σημείων. Επισημαίνεται ότι, η «CFO» αντιστοιχεί σε $z=0$ και η σ δίνεται από την διαφορά ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς ακέραιους z . Όμως στην πράξη το εύρος τάσης μέσα στο οποίο κατανέμεται η πιθανότητα υπερπήδησης είναι η παρακάτω:

$$CFO \pm 3\sigma \quad (3-\alpha\psi).$$

- (CFO-3 σ) είναι γνωστή ως η στατιστική τάση αντοχής (SWV) και αυτή αναπαριστά το σημείο που έχει πιθανότητα υπερπήδησης 0,13 επί τοις εκατό.
- (CFO+3 σ) είναι γνωστή ως η στατιστική τάση υπερπήδησης (SFOV) και αυτή αναπαριστά το σημείο που έχει πιθανότητα υπερπήδησης 99,87 επί τοις εκατό.

Οι «SWV» και «SFOV» χρησιμοποιούνται για την διαβάθμιση μόνωσης και θα αναλυθούν αργότερα. Για μια ολοκληρωμένη περιγραφή των παραμέτρων μόνωσης χρειάζεται, επιπροσθέτως, να θεωρηθεί ο χρόνος μέχρι να γίνει η διάσπαση. Οι χρόνοι προς διάσπαση αναπαρίστανται μέσω της παρακάτω σχέσης:

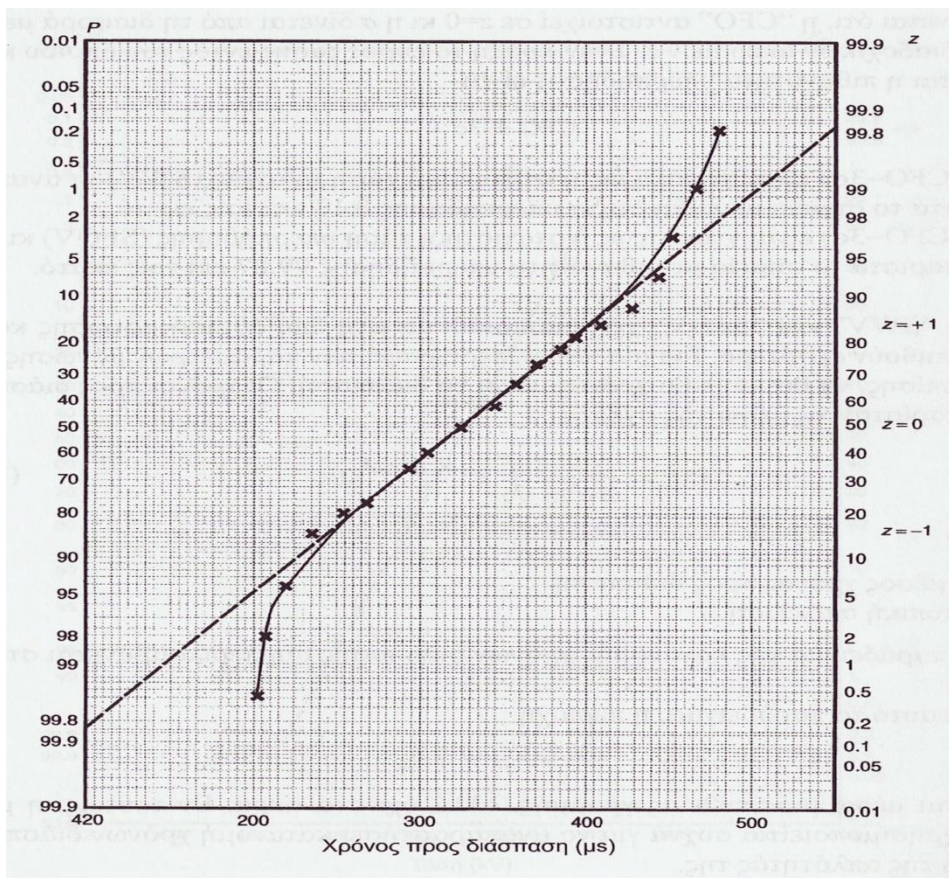
$$P(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}} dt \quad (3-αω).$$

Όπου:

\bar{t} → ο μέσος χρόνος προς διάσπαση,

σ → η τυπική απόκλιση.

Ένα παράδειγμα που μας δείχνει την κατανομή χρόνων διάσπασης συμπεριλαμβάνεται στο σχήμα 3.X.



Σχήμα 3.X: Η κατανομή χρόνων διάσπασης.

Σε αυτό το παράδειγμα η περιοχή:

$$\bar{t} \pm \sigma = \bar{t} \pm z. \quad (3-βα).$$

Η σχέση (3-βα) δίνεται μέσω μιας ευθείας γραμμής, όμως όχι στα άκρα. Εν τούτοις, η μέθοδος χρησιμοποιείται τακτικά για να αναπαραστήσει κατανομή χρόνων διάσπασης εξαιτίας της απλότητας της.

Μια διαφορετική τακτικά χρησιμοποιούμενη συνάρτηση κατανομής προς αναπαράσταση της πιθανότητας διάσπασης με την τάση είναι η συνάρτηση Weibull, που έχει την παρακάτω μορφή:

$$P(V) = 1 - 0,5 \left\{ 1 - \left[\frac{(V - V_{50})^m}{n\sigma} \right] \ln 2 \right\} \quad (3-\beta\beta).$$

Όπου:

$P(V)$ → η πιθανότητα υπερπήδησης,

V → η εφαρμοζόμενη τάση,

V_{50} → η εφαρμοζόμενη τάση η οποία δίνει 50 επί τοις εκατό πιθανότητα υπερπήδησης,

σ → η τυπική απόκλιση.

Στην συνάρτηση Weibull η ποσότητα n δεν είναι γνωστή, αλλά αυτή προσδιορίζει την τάση $V_{50-n\sigma}$ κάτω από την οποία δεν συμβαίνει καμία υπερπήδηση, ή $P(V)=0$ για $V \leq V_{50-n\sigma}$. Για αέρα η n κυμαίνεται μέσα στην περιοχή $3 \leq n \leq 4$. Κατά κανόνα χρησιμοποιείται η τιμή 3 καταλήγοντας στην παρακάτω σχέση:

$$m = \frac{\ln \frac{\ln 0,84}{\ln 0,5}}{\ln \frac{n-1}{n}} = 3,4 \quad (3-\beta\gamma).$$

Η προσαρμογή της συνάρτησης Weibull σε κανονική κατανομή χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές για τα n και m δίνει, $P(V)=0,5$ για $V=V_{50}$ και $P(V)=0,16$ για $V=V_{50}-\sigma$. Αμφότερες οι συναρτήσεις Gauss και Weibull δίνουν τα ίδια αποτελέσματα μέσα στο εύρος $0,01 \leq P(V) \leq 0,99$.

3.4.ζ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΣΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Στον προσδιορισμό μιας παραμέτρου δύο τύποι σφάλματος είναι παρόντες οι οποίοι είναι οι παρακάτω:

- Σφάλμα σχετισμένο με την στατιστική φύση των φαινομένων και το περιδοσμένο πλήρως δοκιμών (ε_s) και
- Το σφάλμα στη μέτρηση (ε_M).

Το στατιστικό σφάλμα εκφράζεται μέσω δύο ορίων εμπιστοσύνης C επί τοις εκατό. Το συνολικό σφάλμα δίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\varepsilon_f = \sqrt{\varepsilon_M^2 + \varepsilon_s^2} \quad (3-\beta\delta).$$

Οι διαφορετικές συστάσεις IEC προσδιορίζουν την επιτρεπτή ακρίβεια μέτρησης ως 3 επί τοις εκατό. Έτσι, ένα στατιστικό σφάλμα, ας πούμε, 2 επί τοις εκατό πολλαπλασιάζει το συνολικό σφάλμα κατά έναν παράγοντα 1,2, ενώ ένα στατιστικό σφάλμα 1,5 επί τοις εκατό θα πολλαπλασιάσει το συνολικό σφάλμα κατά 1,1.

Το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας δοκιμής και η ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι κατά κανόνα ένας μέσος όρος μιας παραμέτρου z με C επί τοις εκατό όρια εμπιστοσύνης z_A και z_B (το οποίο φαίνεται και στο σχήμα 3.Τ). Για μια κανονική κατανομή, η πυκνότητα πιθανότητας μιας συνάρτησης για μια συχνότητα εμφάνισης ενός συμβάντος είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί γραφικά με όρους επιφάνειας με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 3.Τ.

3.4.η ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.

Οι διαδικασίες δοκιμών που εφαρμόζονται σε ποικίλους τύπους μόνωσης περιγράφονται σε εθνικές και διεθνείς τυποποιήσεις, όπως ήδη είχε σημειωθεί νωρίτερα. Επειδή οι περισσότεροι συχνά συμβαίνουσες υπερτάσεις σε ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα προέρχονται από κεραυνικές και διακοπτικές υπερτάσεις, οι περισσότερες κρουστικές τάσεις και διακοπτικές κυματικές τάσεις. Τρεις γενικές μέθοδοι δοκιμών έχουν γίνει αποδεκτές οι οποίες είναι οι παρακάτω μέθοδοι:

- Μέθοδος πολλαπλών επιπέδων,
- Μέθοδος αυξομείωσης και
- Επεκταμένη μέθοδος αυξομείωσης.

3.4.η.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ.

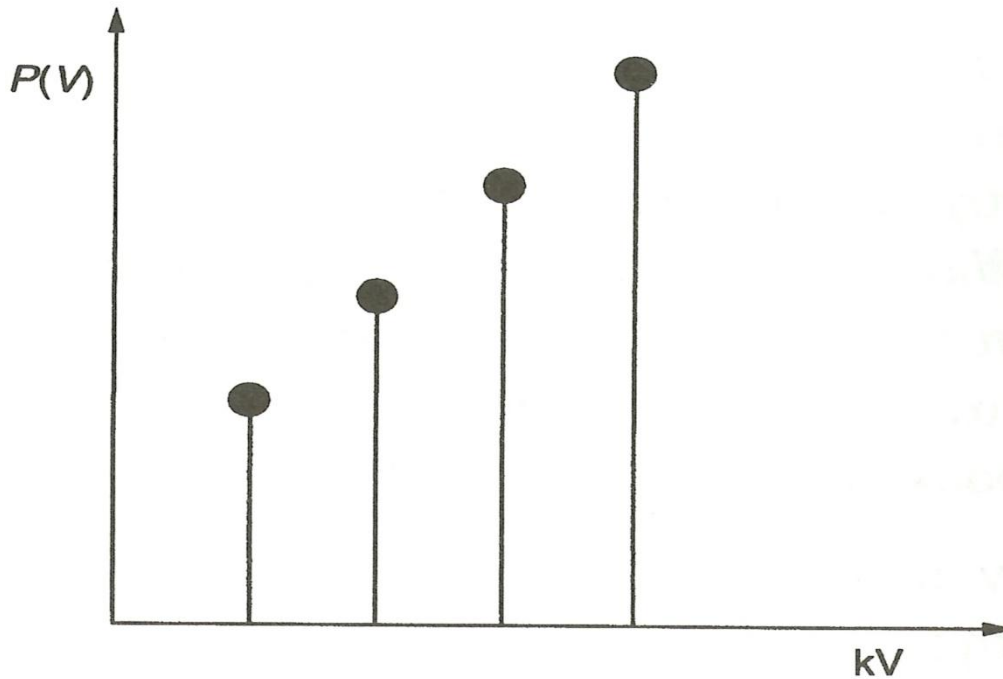
Σε αυτή την μέθοδο η διαδικασία έχει ως εξής:

- 1) Επιλογή ορισμένων επιπέδων τάσης δοκιμής.
- 2) Εφαρμογή ενός προκαθορισμένου πλήθους n δοκιμών σε κάθε επίπεδο.
- 3) Απαρίθμηση του πλήθους x διαστάσεων σε κάθε επίπεδο τάσης.
- 4) Γραφική απόδοση της $P(V)=(x_j/n)$ συγκριτικά με την V (kV).
- 5) Εξαγωγή μιας γραμμής βέλτιστης μαθηματικής προσαρμογής σε μια κλίμακα πιθανότητας.
- 6) Καθορισμός από την γραμμή προσαρμογής της V_{50} για $z=0$ ή $P(V)=50\%$ και
- 7) Της σ για $z=1$ ή $\sigma=V_{50\%} - V_{16\%}$.

Η καταγεγραμμένη πιθανότητα διάσπασης, x_j/n , είναι το πλήθος που καταλήγει σε διάσπαση από την εφαρμογή n υπερισχύσεων της τάσης V_j . Όταν ο λόγος x_j/n αποδίδεται γραφικά συγκριτικά με την V_j σε ένα χαρτί γραμμικής πιθανότητας λαμβάνεται μια ευθεία γραμμή με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 3.Ψ.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν υπολαμβάνει κανονικότητα κατανομής. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι είναι πολύ χρονοβόρα, π.χ. απαιτούνται πολλές δοκιμές.

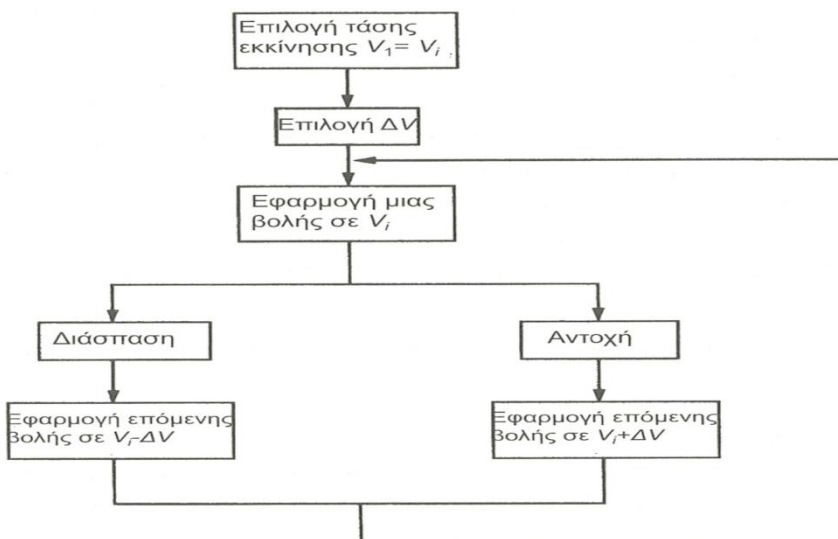
Η μέθοδος δοκιμής αυτή σε γενικές γραμμές προτιμάται για την έρευνα και στην δοκιμή ρευματοφόρων γραμμών (τυπικά 100 επιβολές ανά επίπεδο, 6 – 10 επίπεδα).



Σχήμα 3Ψ: Η πιθανότητα κατανομής διάσπασης χρησιμοποιώντας την μέθοδο πολλαπλών επιπέδων.

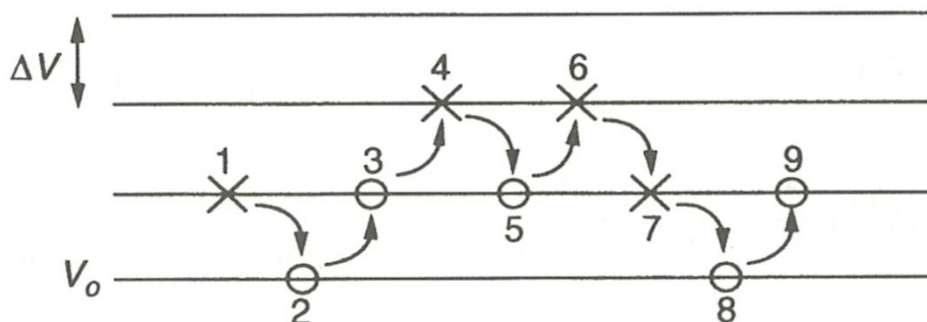
3.4.η.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΗΣ.

Σε αυτή την μέθοδο επιλέγεται μια τάση εκκίνησης V_i δίπλα στην αναμενόμενη τιμή υπερπήδησης. Μετέπειτα διαλέγονται επίπεδα τάσης ΔV τα οποία απέχουν σε ίσες αποστάσεις ανάμεσα τους, τα οποία πρέπει να είναι άνω και κάτω από την τάση εκκίνησης V_i . Η πρώτη επιβολή τάσης γίνεται στην τάση εκκίνησης V_i . Εάν συμβεί διάσπαση, η επόμενη τάση εφαρμόζεται στο $V_i - \Delta V$. Η αλληλοδιάδοχη διαδικασία δοκιμής επεξηγείται στο σχήμα 3.Ω.



Σχήμα 3.Ω: Η σχηματοποίηση της αλληλοδιάδοχης διαδικασίας αυξομείωσης.

Το σχήμα 3.ΑΑ απεικονίζει την αλληλουχία για εννέα βολές εφαρμοζόμενες στην κάτω δοκιμή μόνωση. Η τυποποίηση IEC για εδραίωση της V_{50} (50 επί τοις εκατό) τάσης αντοχής προϋποθέτει ένα ελάχιστο πλήθος $n=20$ εφαρμογών της τάσης για αυτό-επανορθούμενη μόνωση. Για την αποτίμηση της V_{10} (10 επί τοις εκατό) τάσης αντοχής για αυτό-επανορθούμενη μόνωση με την μέθοδο αυξομείωσης με έναν κρουστικό παλμό κάθε κατηγορίας απαιτείται επιπροσθέτως ένα ελάχιστο πλήθος $n=20$ εφαρμογών.



Σχήμα 3.ΑΑ: Ένα παράδειγμα που απεικονίζει την εφαρμογή εννέα επιβολών της τάσης στην αλληλοδιάδοχη μέθοδο αυξομείωσης. Τα σύμβολα δείχνουν τα εξής: X → διάσπαση, O → αντοχή και V_0 → κατώτατο επίπεδο στο οποίο εφαρμόζεται μια βολή.

Στην πράξη όμως τα σημεία, τα οποία αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα αντοχής, απεικονίζονται συγκριτικά με την τάση V_i σε ένα γράφημα κλίμακας πιθανοτήτων με τρόπο που παρουσιάστηκε στο σχήμα 3.Φ. Μετέπειτα, χαράσσεται η βέλτιστη ευθεία γραμμή χρησιμοποιώντας τεχνικές προσαρμογής καμπυλών. Οι 50 επί τοις εκατό και 10 επί τοις εκατό τάσεις εκκένωσης παραλαμβάνονται άμεσα από το γράφημα. Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι προϋποθέτει σχετικά λιγότερες επιβολές της τάσης και χρησιμοποιείται ως εκ τούτου πιο συχνά στην βιομηχανία. Το μειονέκτημα είναι ότι υποθέτει κανονικότητα και δεν είναι εξαιρετικά ακριβής για τον καθορισμό της σ . Εναλλακτικά, η V_{10} είναι δυνατόν να ληφθεί από την V_{50} χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$V_{10} = V_{50}(1 - 1,3z) = V_{50} * 0,96 \quad (3-\beta\epsilon).$$

Από τις διαδοχικά λαμβανόμενες ενδείξεις (το οποίο δείχνεται στο σχήμα 3.αα), οι τιμές των V_{50} και έχουν την δυνατότητα επιπροσθέτως να υπολογιστούν αναλυτικά ως ακολούθως.

Στο επιλεγμένο παράδειγμα (το οποίο δείχνεται και στο σχήμα 3.ΑΑ): το συνολικό πλήθος δοκιμών είναι $n=9$, το συνολικό πλήθος διασπάσεων είναι $n_b=4$, το συνολικό πλήθος αντοχών είναι $n_w=5$ και το κατώτατο επίπεδο τάσης στο οποίο γίνεται μια δοκιμή είναι V_0 .

Για τον υπολογισμό των $V_{50\%}$ και σ έχουμε τα εξής:

Αν $n_b > n_w$, τότε n_i = πλήθος αντοχών στο επίπεδο i ,

Αν $n_b < n_w$, τότε n_i = πλήθος διασπάσεων στο επίπεδο i

(χρησιμοποιείται πάντα το μικρότερο εκ των δύο). Οι εκφράσεις είναι οι παρακάτω:

$$V_{50} = V_0 + \Delta V \left(\frac{A}{N} \pm \frac{1}{2} \right) \rightarrow \begin{cases} n_i = n_{bi}, \text{ χρήση αρνητικού πρόσημου} & (3-\beta\zeta). \\ n_i = n_{wi}, \text{ χρήση θετικού πρόσημου} \end{cases}$$

$$\sigma = 1,62AV \left(\frac{NB-A^2}{N^2} + 0,029 \right) \quad (3-\beta\eta).$$

Οπού:

$$N = \sum_{i=0}^k n_{iw} \quad \text{ή} \quad \sum_{i=0}^k n_{ib}$$

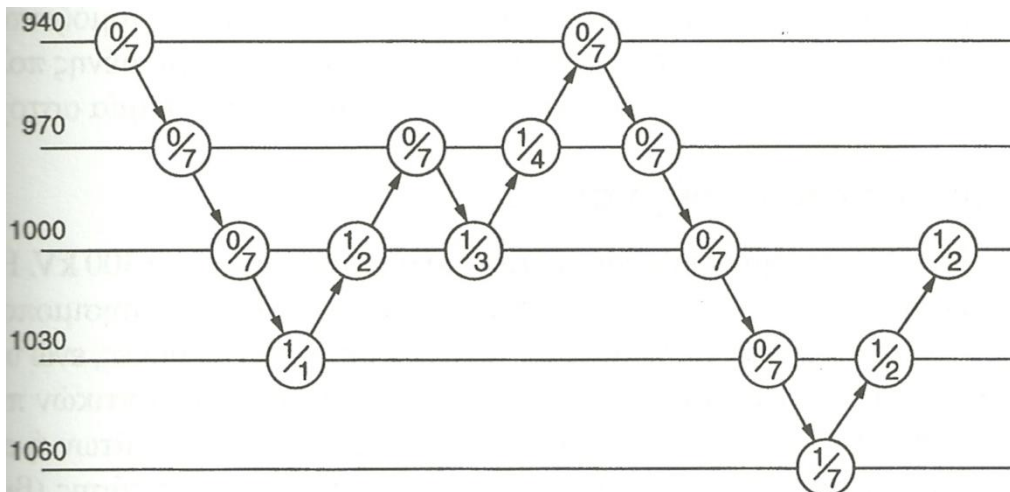
$$A = \sum_{i=0}^k i n_{iw} \quad \text{ή} \quad \sum_{i=0}^k i n_{ib}$$

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_{iw} \quad \text{ή} \quad \sum_{i=0}^k i^2 n_{ib}$$

Όπου το i να αναφέρεται στο επίπεδο τάσης, n_{iw} στο πλήθος αντοχών και n_{ib} στο πλήθος διασπάσεων σε αυτό το επίπεδο.

3.4.η.3 Η ΕΠΕΚΤΑΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΗΣ.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται επιπροσθέτως στην δοκιμή της αυτό-επανορθούμενης μόνωσης. Έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστούν οι τάσεις εκκένωσης που αντιστοιχούν σε οποιαδήποτε πιθανότητα p . Ένα πλήθος κρουστικών παλμών εφαρμόζεται σε ένα καθορισμένο επίπεδο τάσης. Εάν κανένας δεν προκαλέσει εκκένωση, η τάση πολλαπλασιάζεται κατά ένα βήμα ΔV και οι κρουστικοί παλμοί εφαρμόζονται μέχρι τουλάχιστον ένας να προκαλέσει διάσπαση. Μετέπειτα η τάση μειώνεται. Για ένα παράδειγμα της διαδικασίας στην επεκτεταμένη μέθοδο αυξομείωσης βλέπουμε στο σχήμα 3.ΑΒ.



Σχήμα 3.ΑΒ: Το παράδειγμα της επεκταμένης μεθόδου αυξομείωσης.

Το πλήθος n προσδιορίζεται έτσι ώστε λοιπόν μια σειρά n επιβολών τάσης να έχει 50 επί τοις εκατό πιθανότητα να δώσει τουλάχιστον μια υπερπήδηση. Η 50 επί τοις εκατό πιθανότητα εκκένωσης δίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$0,5 = 1 - (1 - p)^n$$

ή

$$n = 0,5 = \ln(1 - p) \quad (3-\beta\theta).$$

Από την οποία η p καθίσταται μια διακεκριμένη τιμή. Η τιμή $n = 7$ κρουστικοί παλμοί ανά επίπεδο τάσης χρησιμοποιείται κάθε στιγμή καθώς επιτρέπει τον καθορισμό της 10 επί τοις εκατό πιθανότητα εκκένωσης δίχως την αναγκαιότητα χρήσης της σ . Αντικαθιστώντας $n = 7$ στην εξίσωση (3-βθ) μας δίνει $p = 0,094$ ή προσεγγίσηκα 10 επί τοις εκατό.

Η κατά IEC διακοπτική τάση αντοχής ορίζεται ως 10 επί τοις εκατό ανθεκτικότητα. Έτσι η επεκτεταμένη μέθοδος αυξομείωσης έχει ένα πλεονέκτημα. Άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν: η εκκένωση στο δοκίμιο είναι προσεγγίσηκα 10 επί τοις εκατό του πλήθους των εφαρμοζόμενων κρουστικών παλμών παρά 50 επί τοις εκατό όπως εφαρμόζεται στην μέθοδο αυξομείωσης. Επιπροσθέτως, η ύψιστη εφαρμοζόμενη τάση είναι κατά προσέγγιση V_{50} παρά $V_{50} + 2$. Στην μέθοδο αυξομείωσης η $V_{10\%}$ έχει την δυνατότητα επιπροσθέτως να ληφθεί από την παρακάτω σχέση:

$$V_{10} = V_{50} (1 - 1,13z) = V_{50} * 0,96 \quad (3-\beta\iota).$$

Στα σημερινά συστήματα ισχύος όταν υπάρχουν τάσεις μέχρι 245 kV, οι δοκιμές μονώσεων περιορίζονται ακόμα σε κεραυνικούς παλμούς και στην δοκιμή βιομηχανικής συχνότητας του ενός λεπτού. Πάνω από 300 kV, επιπρόσθετα με τους κεραυνικούς παλμούς και με τις δοκιμές του ενός λεπτού της βιομηχανικής συχνότητας, οι δοκιμές περιλαμβάνουν την χρήση διακοπτικών τάσεων.

3.4.0 ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ.

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα μιλήσουμε για τις τυποποιημένες πρότυπες διαδικασίες δοκιμών. Για αυτές θα πούμε τη είναι, πως κάνουμε τις δοκιμές με αυτές τις διαδικασίες και θα τις αναλύσουμε. Οι τυποποιημένες πρότυπες διαδικασίες δοκιμών είναι οι παρακάτω:

- a. Δοκιμή επιπέδου αντοχής με κεραυνικούς παλμούς και
- b. Δοκιμή με διακοπτικούς παλμούς.

Αυτές θα τις περιγράψουμε παρακάτω.

3.4.0.1 ΔΟΚΙΜΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΚΕΡΑΥΝΙΚΟΥΣ ΠΑΛΜΟΥΣ.

Για την αυτό-επανορθούμενη μόνωση, οι κοινά διαδικασίες δοκιμών που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της αντοχής, έχουν ως ακολούθως:

1. Εφαρμόζονται 15 κρουστικοί παλμοί στην μέγιστη τους τάση και έκαστης πολικότητας και επιτρέπονται ως δύο διασπαστικές εκκενώσεις.

2. Στην δεύτερη διαδικασία εφαρμόζεται η 50 επί τοις εκατό διαδικασία υπερπήδησης χρησιμοποιώντας είτε την τεχνική αυξομείωσης είτε την τεχνική επεκταμένης αυξομείωσης, με τρόπο που τις περιγράψαμε πιο νωρίτερα.

Από την μέθοδο αυξομείωσης η τάση αντοχής λαμβάνεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3-βι). Σε δοκιμές επί μη-αυτό-επανορθούμενης μόνωσης, εφαρμόζονται τρεις κρουστικοί παλμοί στο μέγιστο επίπεδο τάσης αντοχής μιας ορισμένης πολικότητας. Η μόνωση προβλέπεται ότι έχει αντέξει, εάν δεν παρατηρηθεί καμία αστοχία.

3.4.0.2 ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥΣ ΠΑΛΜΟΥΣ.

Οι δοκιμές αυτές εφαρμόζονται όταν υπάρχει εξοπλισμός, και πάνω σε αυτόν σε τάσεις πάνω από 300 kV. Η διαδικασία δοκιμής είναι παρόμοια με αυτή των κεραυνικών παλμών χρησιμοποιώντας 15 κρουστικούς παλμούς. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται σε ξηρές συνθήκες, ενώ ο υπαίθριος εξοπλισμός δοκιμάζεται αποκλειστικά κάτω από καταπόνηση θετικών διακοπτικών παλμών. Σε μερικές περιπτώσεις, όταν δοκιμάζονται απομονωτές κυκλωμάτων ή αποζεύκτες οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να υποστούν συνδυασμένη καταπόνηση τάσης (βιομηχανικής συχνότητας και διακοπτικά κύματα), εφαρμόζονται προκατειλημμένες δοκιμές χρησιμοποιώντας εναρμονισμένες τάσεις βιομηχανικής συχνότητας και κυματικές. Η αποδεκτή μονωτική ικανότητα απαιτεί 90 επί τοις εκατό ικανότητα αντοχής.

3.4.ι ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΕ ΤΑΣΕΙΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.

Η καθιερωμένη πρακτική απαιτεί να πραγματοποιηθεί για την μόνωση μια δοκιμή ενός-λεπτού με βιομηχανική συχνότητα σε μια τάση προσδιορισμένη στις τυποποιήσεις. Για στεγασμένο εξοπλισμό, αυτός δοκιμάζεται σε ξηρές συνθήκες, ενώ ο υπαίθριος εξοπλισμός δοκιμάζεται κάτω από θεσπισμένες συνθήκες βροχής που για τις οποίες η IEC επιτάσσει έναν ρυθμό κατακρήμνισης 1 – 1,5 mm/min με ειδική αντίσταση να είναι αυτή του νερού.

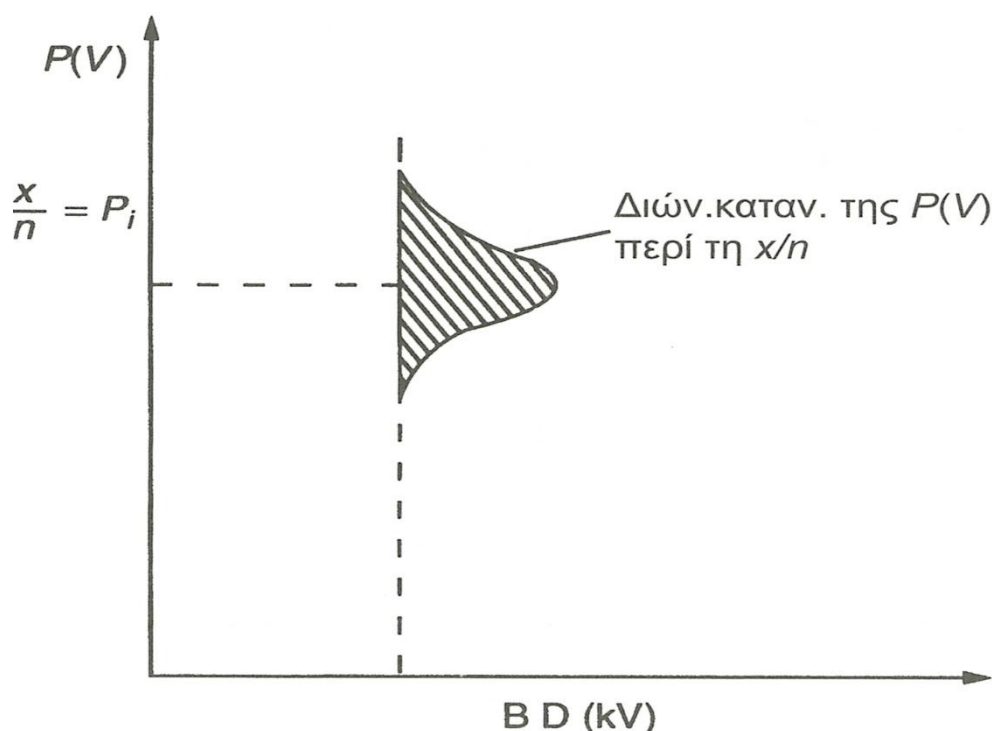
3.4.κ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ (ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΣΕ ΜΕΤΡΗΜΕΝΕΣ P(V)).

Καθιερώνουμε σε ένα επίπεδο V_i n βολές και λαμβάνονται x διασπάσεις. Το αποτέλεσμα είναι διάσπαση ή αντοχή, δηλαδή ισχύουν τα παρακάτω:

n - βολές
 x - διασπάσεις

άρα ως εκ τούτου: 1 βολή $\left\{ \begin{array}{l} \text{διάσπαση} \\ \text{αντοχή} \end{array} \right.$

Έτσι, κατανομή $P(V)$ είναι διωνυμική γύρω από την προβλεπόμενη τιμή x/n . Η κατανομή αυτή εξαρτάται από τα x , n και θ (μια τιμή κύκλωθεν από την οποία επικεντρώνεται η πιθανότητα διάσπασης $P(x,n,\theta)$), με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 3.ΑΓ.



Σχήμα 3.ΑΓ: Η διωνυμική κατανομή της $P(V)$ περί της αναμενόμενης τιμής x/n .

Η P_i κατανέμεται γύρω από την τιμή που δίνει το εκάστοτε σημείο. Ας δούμε ένα παράδειγμα: αν πάρουμε $V=500$ kv και $P(FO)=78\%$, δεν γνωρίζουμε πραγματικά ότι αυτή είναι 78 επί τοις εκατό, αλλά πράγματι γνωρίζουμε ότι η κατανεμημένη περί το 78 επί τοις εκατό.

Η διωνυμική κατανομή που έχει η P περί x/n δίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$P(x,n,\theta) = \binom{n}{x} \theta^x (1 - \theta)^{n-x} \quad (3-\beta\kappa).$$

Όπου:

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} \quad (3-\beta\lambda).$$

Και:

$\theta \rightarrow$ η αληθής τιμή του περισσότερο ενδεχόμενου αποτελέσματος (τιμή περί της οποίας επικεντρώνεται η κατανομή).

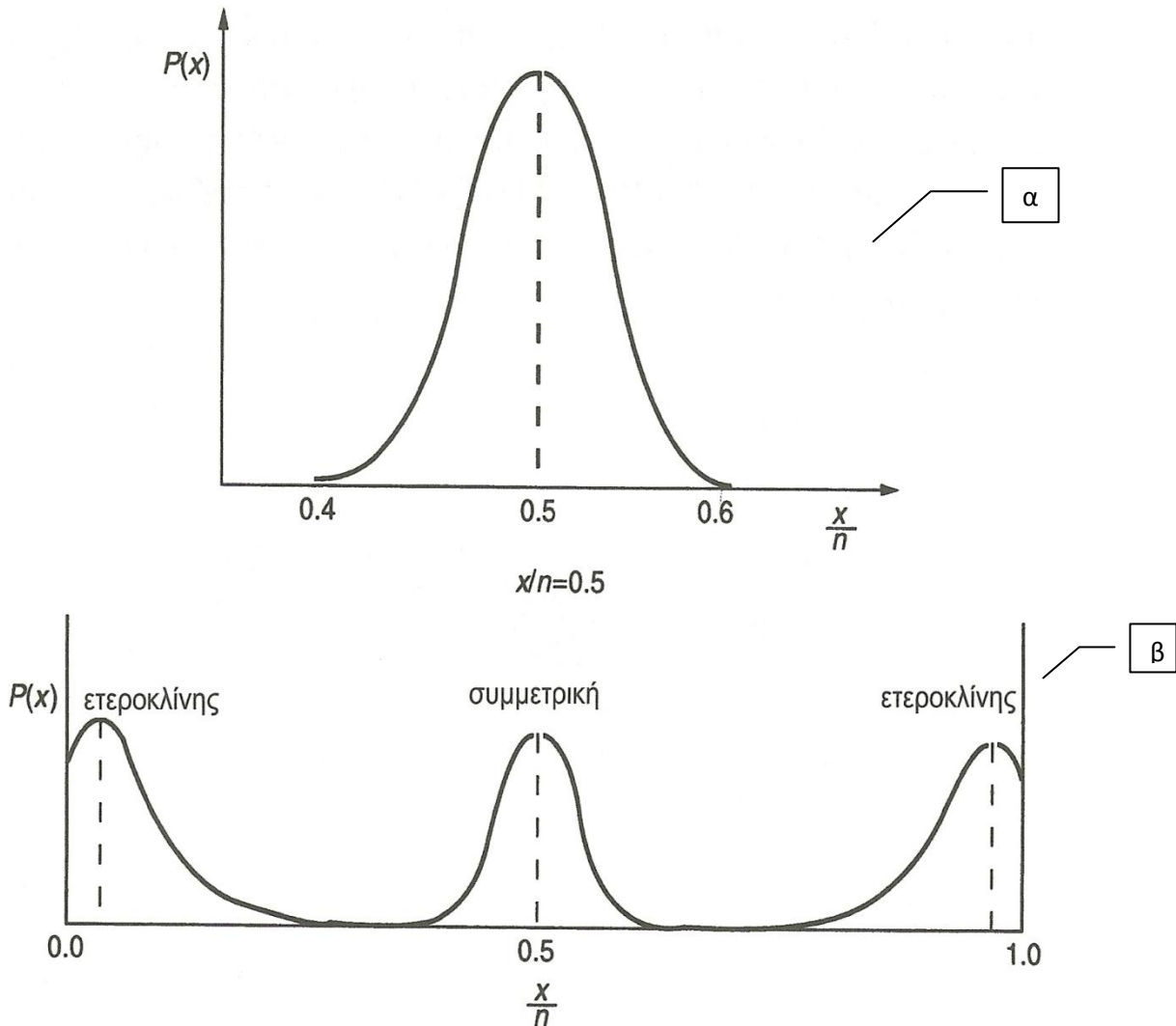
Δεν γνωρίζουμε την θ , αλλά έχουμε την δυνατότητα να αντικαταστήσουμε αυτήν με την προβλεπόμενη τιμή x/n , με τρόπο που εμφανίστηκε στο σχήμα 3-ΑΓ.

Ως ακολούθως, ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$P(x,n,\theta) = \binom{n}{x} \theta^x (1 - \theta)^{x-n} \quad (3-\beta\kappa).$$

Με $x/n = 0,5$, δίνει μια $P(x)$ που είναι συμμετρική γύρω από την x/n , όμως όχι στα άκρα ($x/n = 1$ επί τοις εκατό 99 επί τοις εκατό). Η $P(x)$ είναι ετεροκλινής με τρόπο που δείχνεται στα σχήματα 3.ΑΔ. α και 3ΑΔ.β.

Για να ληφθούν οι κατανομές αυτές, αφήνεται η x/n ως η αναμενόμενη τιμή και στην συνέχεια μεταβάλλεται το x για να ληφθεί η αντίστοιχη $P(x)$.



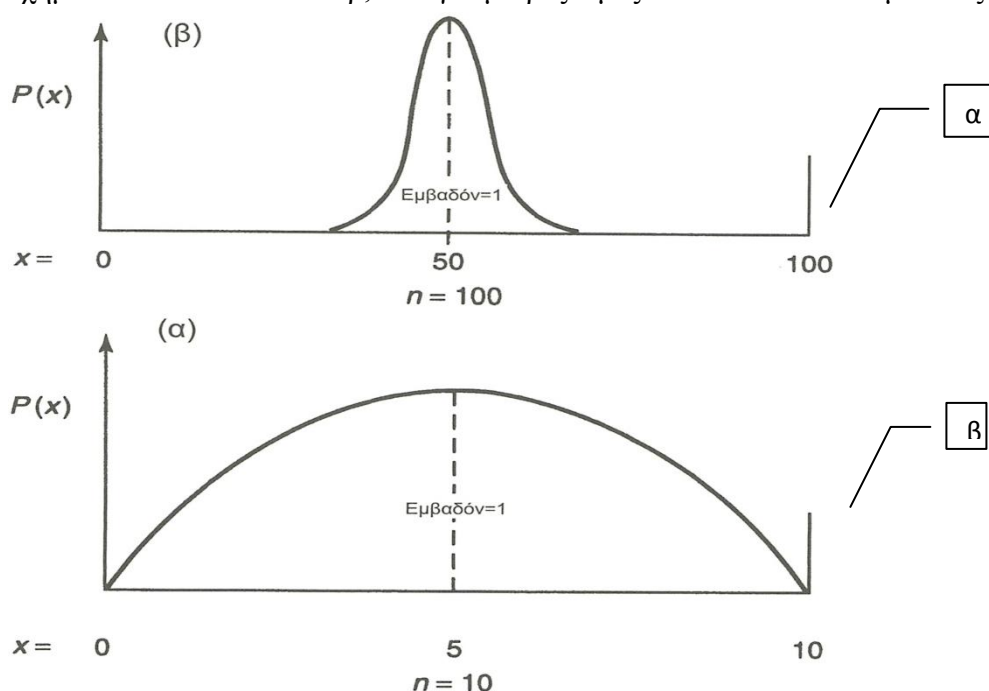
Σχήμα 3.ΑΔ: Η σχέση ανάμεσα από την $P(x)$ και την x/n : α) Η συμμετρική περί την τιμή $x/n = 0,5$. β) Ετεροκλινής.

Ας δούμε ένα παράδειγμα:

Έστω ότι έχουμε, $n = 5$ και $x = 2$, και κατά συνέπεια $x/n = 0,4$: βρίσκουμε το $P(x=4)$ χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3-βκ) και έχουμε:

$$P(x=4) = \frac{5!}{4!(5-4)!} (0,4)^4 (1 - 0,4)^{(5-4)} = 7,7\%.$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3-βκ) βρίσκουμε ότι καθώς το n πολλαπλασιάζεται με τον λόγο x/n να είναι σταθερός έχουμε πιο μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην $P(x)$ όπως δείχνουν τα σχήματα 3.ΑΕ.α και 3.ΑΕ.β, ενώ για μικρές τιμές του n τα αποτελέσματα εξαπλώνονται.



Σχήμα 3.ΑΕ: Η επίδραση του πλήθους επιβολών τάσης στην κατανομή $P(x)$: α) $n = 100$, β) $n = 10$.

3.4.λ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΣΕ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ (ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ).

Η κανονικοποιημένη τιμή της μεταβλητής x διωνυμική κατανομή είναι η παρακάτω:

$$\frac{x-n\theta}{\sqrt{n\theta(1-\theta)}} \quad (3-\beta\lambda).$$

Για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης $1 - \alpha$, όπου με α συμβολίζουμε το επίπεδο σημαντικότητας όπως δείχνεται στο σχήμα 3.Τ, το διάστημα εμπιστοσύνης σε ένα μετρημένο σημείο δίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\frac{-Z_\alpha}{2} < \frac{x-n\theta}{\sqrt{n\theta(1-\theta)}} < \frac{+Z_\alpha}{2} \quad (3-\beta\mu).$$

Η πιθανότητα διάσπασης με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης $1 - \alpha$ δίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$P(V) = \frac{x}{n} \pm \frac{Z_\alpha}{2} \sqrt{\frac{x(1-x)}{n}} \quad (3-\beta\nu).$$

Χρησιμοποιώντας την έκφραση αυτή είναι δυνατόν να φανεί στην κλίμακα γραμμικής πιθανότητας ότι, η εμπιστοσύνη που υπάρχει στις μετρημένες τιμές διάσπασης να είναι στο μέγιστο για $x/n = 0,5$ και μειώνεται προοδευτικά καθώς προσεγγίζονται οι υπερβολικές τιμές πιθανότητας διάσπασης. Η τιμή $Z_{\alpha}/2$ λαμβάνεται από πίνακες στατιστικών ή, για άνεση, άμεσα από το γράφημα.

Ας δούμε ένα παράδειγμα:

Έστω ότι έχουμε, $n = 10$, και $x = 5$. Για ένα επίπεδο εμπιστοσύνης 90 επί τοις εκατό:

$$\alpha = 1 - 0,9 = 0,1.$$

Χρησιμοποιώντας τους στατιστικούς πίνακες, λαμβάνουμε για

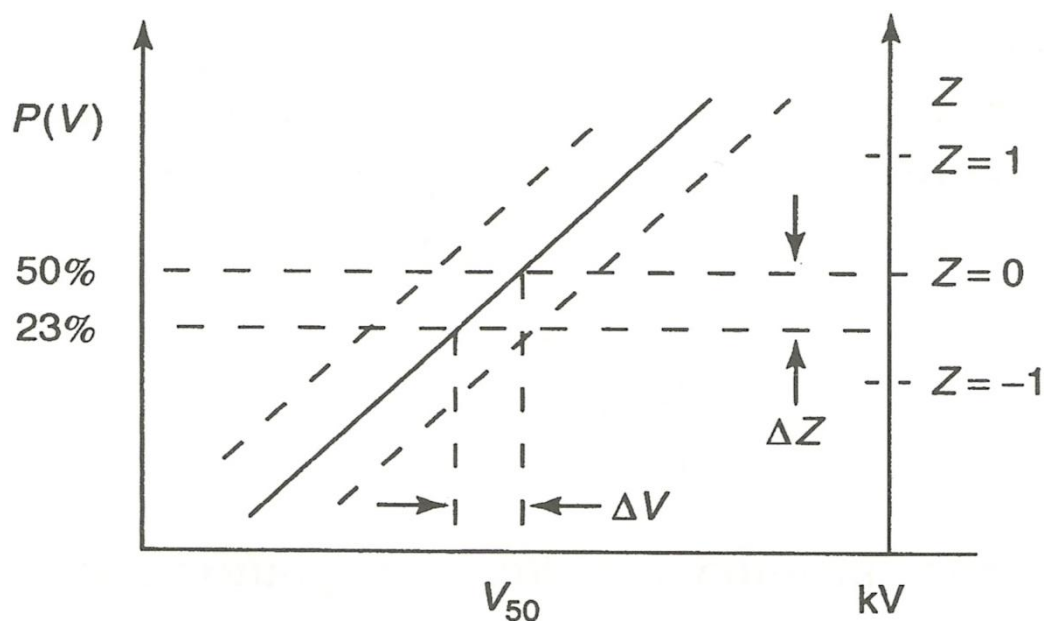
$$\frac{\alpha}{2} = 0,05,$$

$$\frac{Z_{\alpha}}{2} = 1,64.$$

Έτσι, έχουμε:

$$P(V) = \frac{1}{2} \pm (1,64) \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \right)}{10}}.$$

Το όριο εμπιστοσύνης πλησίον της $P(V) = 50$ επί τοις εκατό είναι πιο εξαιρετικά μικρότερο από το όριο με την $P(V)$ να προσεγγίζει το 1 επί τοις εκατό ή το 90 επί τοις εκατό. Η λύση είναι μια μη-γραμμική κατανομή του n , που σημαίνει ότι χρειάζεται να εκτελεστούν πολλές δοκιμές πλησίον των ορίων και λιγότες στο μέσο. Η εμπιστοσύνη εκφρασμένη με όρους kV είναι περισσότερο ακατάλληλη από την εμπιστοσύνη σε πιθανότητα, με τρόπο που δείχνεται στο σχήμα 3.AZ.



Σχήμα 3.ΑΖ: Η εμπιστοσύνη εκφρασμένη σε kV.

Χρησιμοποιώντας το ίδιο παράδειγμα όπως προηγουμένως με άλλες λέξεις

$$23 \leq P(V_{50}) \leq 77\%,$$

Για τον καθορισμό του διαστήματος $\Delta z = z_1 - z_2$ έχουμε:

z_1 καθορίζεται από την τιμή της $P(0,50)$,

z_2 καθορίζεται από την τιμή της $P(0,23)$.

Από το σχήμα 3.ΑΖ προκύπτει ότι:

$$\text{Για } F(z) = 50\% = 0,5, \quad z_1 = 0,0.$$

$$\text{Για } F(z) = 23\% = -0,77, \quad z_2 = -0,74.$$

Κατά συνέπεια έχουμε:

$$\Delta z = z_1 - z_2 = 0 - (-0,74) = 0,74.$$

Η τυπική απόκλιση σ είναι η σάρωση από $z = 0$ και $z = 1$. Άρα λοιπόν έχουμε:

$$\text{Άνοδος} = \text{κλίση} = \frac{\Delta z}{\Delta V} = \frac{1}{\sigma}.$$

Και συμπερασματικά έχουμε $\Delta V = \Delta z \sigma$.

Έτσι, η εμπιστοσύνη σε μια τάση V είναι η παρακάτω:

$$V = V \pm \Delta V = V \pm \Delta z \sigma \quad (3-\beta\xi).$$

Και η εμπιστοσύνη για την:

$$V_{50} = V_{50} \pm (0,74)\sigma. \quad (3-\beta\sigma).$$

3.4.μ ΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ.

Οι συντελεστές στάθμισης έχουν την δυνατότητα να προσδοθούν σε κάθε είδους σημεία δεδομένων στην μετρημένη πιθανότητα διάσπασης και στο πλήθος των εφαρμοσμένων σε κάθε επίπεδο κρουστικών παλμών.

3.4.μ.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ.

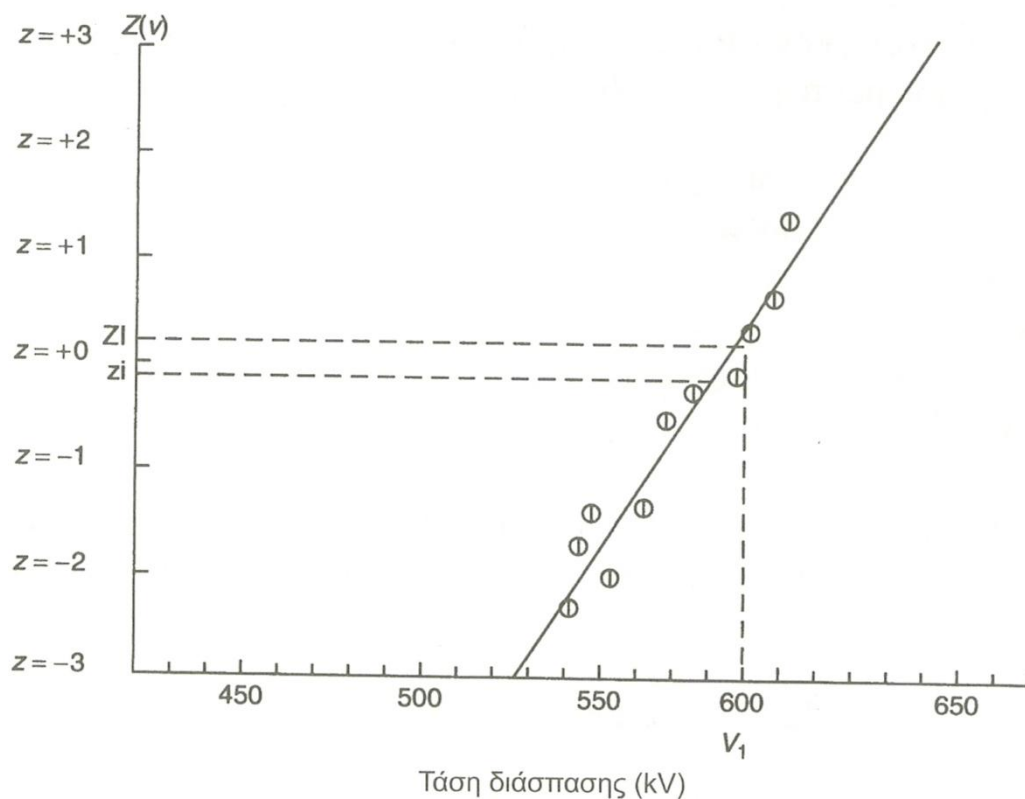
Επί κάποιου χαρτιού πιθανότητας η κανονική κατανομή που προσδιορίζει καλύτερα τα σημεία δεδομένων παρουσιάζεται ως η βέλτιστα προσαρμοσμένη ευθεία γραμμή. Ένα παράδειγμα για αυτή την μέθοδο δείχνεται στο σχήμα 3.ΑΗ.

Με σκοπό να ληφθεί αυτή η βέλτιστα προσαρμοσμένη ευθεία γραμμή, είναι επιβεβλημένο να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση των σημείων δεδομένων γύρω από την γραμμή. Η τετραγωνική ρίζα που έχει η μέση τιμή των τετραγώνων απόκλισης για την περίπτωση που δείχνεται και στο σχήμα 3.ΑΗ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1} w_i (z_i - \xi_i)^2} \quad (3-\beta\pi).$$

Όπου το z_i είναι η τιμή που έχει η μετρημένη πιθανότητα διάσπασης σε κλίμακα πιθανότητα στο επίπεδο τάσης V_i , το ξ_i είναι η τιμή της κλίμακας πιθανότητας της πιθανότητας διάσπασης όπως δίνεται από την βέλτιστα προσαρμοσμένη ευθεία γραμμή για το ίδιο επίπεδο τάσης V_i και το w_i είναι ο συντελεστής στάθμισης που προσδίδεται στην μέτρηση z_i . Η έκφραση που δίνεται από την εξίσωση (3-βπ) είναι σε όρους της αδιάστατης απόκλισης z . Αυτή είναι δυνατόν να επαναγραφεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$z_i = \frac{V_i - V_{50}}{\sigma} \quad (3-\beta\rho).$$



Σχήμα 3.ΑΗ: Η βέλτιστα προσαρμοσμένη κανονική κατανομή χαραγμένη διαμέσου μετρημένων σημείων πιθανότητας υπερπήδησης.

Για να ληφθεί η παρακάτω σχέση:

$$\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1} \left(\frac{V_i - V_{50}}{\sigma} - \xi_i \right)^2} \quad (3-\beta\sigma).$$

Ελαχιστοποιώντας την έκφραση αυτήν είναι ισοδύναμο με την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος όπου αυτό δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sum_{i=1} w_i \left(\frac{V_i - V_{50}}{\sigma} - \xi_i \right)^2 \quad (3-\beta\tau).$$

Η ελάχιστη τιμή της παραπάνω έκφρασης επακολουθεί όταν η ποσότητα είναι η παρακάτω:

$$\sum_{i=1} w_i (V_i - V_{50} - \sigma \xi_i)^2 \quad (3-\beta\nu).$$

Και είναι στο ελάχιστο της. Η καλύτερα προσαρμοσμένη ευθεία γραμμή, η οποία πραγματικά είναι η κανονική κατανομή, αναπαριστώσα βέλτιστα την πιθανότητα διάσπασης, είναι δυνατόν τώρα να ληφθεί θέτοντας όπου:

$$\frac{\partial}{\partial V_{50}} \sum_{i=1} w_i (V_i - V_{50} - \sigma \xi_i)^2 = 0 \quad (3-\beta\phi).$$

Και:

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \sum_{i=1} w_i (V_i - V_{50} - \sigma \xi_i)^2 = 0 \quad (3-\beta\chi).$$

Και λύνοντας ως προς την V_{50} και σ . Οι τιμές αυτές βρίσκονται πραγματοποιώντας την μερική διαφόριση των εξισώσεων (3-βφ) και (3-βχ). Αυτό δίνει τις ακόλουθες δύο ταυτόχρονες εξισώσεις:

$$\sum_{i=0} w_i * V_i - \sum_{i=0} w_i * V_{50} - \sigma \sum_{i=0} w_i * \xi_i = 0 \quad (3-\beta\psi).$$

Και:

$$\sum_{i=0} w_i * V_i * \xi_i - V_{50} \sum_{i=0} w_i * \xi_i - \sigma \sum_{i=0} w_i * \xi_i^2 = 0 \quad (3-\beta\omega).$$

Οι οποίες έχουν την δυνατότητα να λυθούν για να ληφθεί ότι:

$$V_{50} = \frac{\sum_{i=0} w_i * V_i - \sigma \sum_{i=0} w_i * \xi_i}{\sum_{i=0} w_i} \quad (3-\gamma\alpha).$$

Και:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=0} w_i * V_i * \xi_i - V_{50} \sum_{i=0} w_i * \xi_i}{\sum_{i=0} w_i * \xi_i^2} \quad (3-\gamma\beta).$$

Έτσι, λαμβάνονται τιμές για τις V_{50} και σ .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ



Σχήμα 4: Η εικόνα αυτή περιγράφεται στο σχήμα 4.Α.

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Κάθε ενασχόληση κάτω από υψηλή τάση ίσως είναι δυνατόν να θέσει σε μεγάλο κίνδυνο (θάνατο) τόσο την ζωή των εργαζομένων που ασχολούνται με αυτήν την υψηλή τάση όσο και την ζωή των άλλων ανθρώπων, οι οποίοι είτε βρίσκονται πολύ κοντά στην θέση εργασίας που έχει υψηλή τάση, είτε, αν και μακριά από την θέση εργασίας που έχει υψηλή τάση, είναι δυνατόν να βρεθούν σε πολύ ελάχιστη απόσταση ή να έχουν επαφή με τους αγωγούς που είναι δυνατόν να τεθούν κάτω από υψηλή τάση.

Η σχολαστική συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας αποτελεί την υποχρέωση του κάθε εργαζόμενου που εργάζεται σε εργαστήριο υψηλών τάσεων.

Οι κανονισμοί ασφαλείας προσδιορίζουν τα ελάχιστα μέτρα που επιβάλλεται να παίρνονται και τα όρια ασφαλείας που θα επιβάλλεται να τηρούνται στα εργαστήρια υψηλών τάσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις ωστόσο είναι δυνατόν να απαιτηθούν πρόσθετα μέτρα και πολύ μεγαλύτερα όρια ασφαλείας, κατά την κρίση του επιβλέποντος Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού.

4.2 ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ.

Αυτός που μπαίνει μέσα στον χώρο εργαστηρίου υψηλών τάσεων δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει αν έχουν ληφθεί τα απαιτούμενα μέτρα ασφαλείας ή αν αυτά έχουν τροποποιηθεί κατά διάρκεια της μη προσέλευση του. Για τον λόγο αυτόν, πρωτίτερα πριν από την είσοδο οποιουδήποτε στο εργαστήριο υψηλών τάσεων, και ανεξάρτητα από τα μέτρα ασφαλείας που υπάρχει περίπτωση να έχουν ληφθεί, είναι αναγκαίο αυτός ο ίδιος να σιγουρευτεί προσωπικά ότι έχουν ληφθεί τα παρακάτω μέτρα ασφαλείας:

- Πάντες οι αγωγοί οι οποίοι χρειάζεται να βρίσκονται κάτω υψηλή τάση να έχουν γειωθεί.
- Όλες οι χωρητικότητες που είναι δυνατόν να είχαν φορτισθεί, και ως εκ τούτου να βρίσκονται σε υψηλή τάση, να εκφορτιστεί.
- Όλες οι ηλεκτρικές παροχές προς τον εξοπλισμό υψηλής τάσης να έχουν διακοπεί.

4.3 ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ – ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.

Οι εγκαταστάσεις μέσα στον χώρο εργαστηρίου υψηλών τάσεων επιβάλλεται να περιβάλλονται από προστατευτικό φράκτη που είναι από γειωμένο μεταλλικό πλέγμα, που έχει ύψος 2 μέτρα κατά προσέγγιση. Στα σχήματα 4.A και 4.B φαίνεται ο προστατευτικός φράκτης. Ανεξάρτητα από την κυματομορφή που έχουν οι υψηλές τάσεις που χρησιμοποιηθούν μέσα στον χώρο εργαστηρίου υψηλών τάσεων, οι ελάχιστες αποστάσεις που θα έχει ο προστατευτικός φράκτης από τα κάτω από υψηλή τάση αγωγήματα τμήματα των εργαστηριακών εγκαταστάσεων επιβάλλεται να είναι τα παρακάτω, με cm τουλάχιστον:

- 50 cm για τάσεις μέχρι 50 kV.
- 80 cm για τάσεις από 50 μέχρι 100 kV.

- 150 cm για τάσεις από 100 μέχρι 200 kV.
- 300 cm για τάσεις από 200 μέχρι 500 kV.
- 500 cm για τάσεις από 500 μέχρι 1000 kV.



Σχήμα 4.A: Γύρω από την διάταξη παραγωγής υψηλής τάσης φαίνεται ο προστατευτικός φράκτης (από το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης).

Μέσα στον χώρο εργαστήριου υψηλών τάσεων είναι δυνατόν να ευρίσκονται διατάξεις με εξοπλισμό υψηλής τάσης που χρησιμοποιείται αυτοτελώς και ανεξάρτητα από το υπόλοιπο εργαστήριο υψηλών τάσεων (π.χ. μια διάταξη καταπόνησης δοκιμίων στερεού μονωτικού υλικού που έχει εναλλασσόμενη υψηλή τάση επί μακρύ χρονικό διάστημα).



Σχήμα 4.B: Πίσω από την διάταξη παραγωγής υψηλής τάσης φαίνεται ο προστατευτικός φράκτης (από το Εργαστήριο Τεχνολογίας Υψηλών Τάσεων του TEI Χαλκίδας).

Αυτές οι διατάξεις επιβάλλεται να περιφράσσονται με κινητά μεταλλικά πλέγματα για προστασία τα οποία συνδέονται με την εγκατάσταση γείωσης του εργαστήριου υψηλών τάσεων. Οι ελάχιστες αποστάσεις αυτών των πλεγμάτων από τα κάτω από υψηλή τάση στοιχεία των διατάξεων, ανάλογα και με την κυματομορφή που έχουν οι υψηλές τάσεις, για τιμές κορυφής μέχρι 1 MV χρειάζεται να είναι να τα παρακάτω, με cm τουλάχιστον:

- 50 cm ανά 100 kV για εναλλασσόμενες και συνεχείς τάσεις.
- 20 cm ανά 100 kV για κρουστικές τάσεις.

Ενώ η ελάχιστη απόσταση για κάθε περίπτωση δεν είναι δυνατόν να είναι πιο μικρότερη από τα 50 cm.

Τόσο τα κινητά μεταλλικά πλέγματα για προστασία όσο και η είσοδος του εργαστήριου υψηλών τάσεων επιβάλλεται να είναι εφοδιασμένα με ειδικές επαφές ασφαλείας, οι οποίες, μέσω ηλεκτρονόμων, προκαλούν την διακοπή της τροφοδότησης των αντίστοιχων πηγών της υψηλής τάσης όταν υπάρχει περίπτωση αφαίρεσης ενός κινητού μεταλλικού πλέγματος για προστασία ή ανοίγματος της εισόδου.

Σε εμφανή σημεία του εργαστήριου υψηλών τάσεων, ιδιαιτέρως επί των αντιστοιχών πλεγμάτων ασφαλείας, υπάρχουν κάποιοι κόκκινοι λαμπτήρες οι οποίοι ανάβουν όταν η διάταξη τίθεται κάτω από υψηλή τάση.

4.4 ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΓΕΙΩΣΕΙΣ.

Η επέμβαση επί μιας διάταξης που είναι υψηλής τάσης επιτρέπεται μετέπειτα όταν τελειώσουν αυτά που είναι στη συνέχεια τα μέτρα με την εξής σειρά:

- 1) Διακοπή της τροφοδότησης από την πλευρά της χαμηλής τάσης.
- 2) Διασφάλιση ότι ο διακόπτης δεν είναι δυνατόν να ξανακλείσει.
- 3) Σήμανση στην θέση διακοπής, ότι γίνονται εργασίες στην διάταξη.
- 4) Τοποθέτηση της γείωσης στην αναχώρηση του διακόπτη.
- 5) Γείωση με αμφοτέρους τους πόλους των πυκνωτών της υψηλής τάσης της διάταξης.
- 6) Γείωση των μετασχηματιστών της υψηλής τάσης στους ακροδέκτες των μονωτήρων διέλευσης, στην πλευρά της υψηλής τάσης.

Οι γειώσεις πραγματοποιούνται με την βοήθεια << κινητών γειωτήρων >>. Αυτοί αποτελούνται από μια ράβδο που είναι κατασκευασμένη από μονωτικό υλικό που έχει κατάλληλη διηλεκτρική αντοχή, που στο ένα άκρο της φέρει ένα μεταλλικό άγκιστρο

Το μεταλλικό άγκιστρο συνδέεται με ένα εύκαμπτο χάλκινο αγωγό, του οποίου το άλλο άκρο είναι γειωμένο ασφαλώς, στην γείωση του εργαστήριου υψηλών τάσεων. Οι γειωτήρες επιτρέπεται να τους απομακρύνουμε αποκλειστικά όταν άπαντες, εκτός του προς τούτο ορισμένου ανθρώπου που είναι αρμόδιο για τις δοκιμές ή είναι υπεύθυνος του εργαστήριου υψηλών τάσεων, να ευρίσκονται εκτός του περιφραγμένου χώρου που θα γίνει η εγκατάσταση του γειωτήρα.

Πυκνωτές ή μετασχηματιστές οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο χώρο του εργαστήριου υψηλών τάσεων και δεν τους χρησιμοποιούμε, χρειάζεται να τους βραχυκυκλώνουμε και να τους συνδέουμε με την γείωση που έχει το εργαστήριο υψηλών τάσεων. Επιπροσθέτως, όλα τα μεταλλικά τμήματα της εγκατάστασης όπως οι μεταλλικές βάσεις των σπινθηριστών, τα

δοχεία των μετασχηματιστών της υψηλής τάσης και άλλα, τα οποία κατά την λειτουργία τους δεν πρόκειται να τεθούν κάτω από υψηλή τάση, επιβάλλεται απαραίτητως να τα γειώνουμε. Οι αγωγοί της γείωσης χρειάζεται να τους τοποθετούμε εν γένει κατά τέτοιο τρόπο ώστε λοιπόν να μην είναι δυνατή η διακοπή της συνέχειας τους εξαιτίας οποιοσδήποτε περιστατικών.

4.5 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ.

Κάθε συνδεσμολογία, ακόμα και η πιο περισσότερο απλή, χρειάζεται να την πραγματοποιούμε με βάση ένα ακριβές ηλεκτρολογικό σχέδιο.

Όλες οι γραμμές που τροφοδοτούν τα κυκλώματα της χαμηλής τάσης των μετασχηματιστών της υψηλής τάσης χρειάζεται να έχουν διακόπτες που να είναι σε εμφανείς θέσεις. Οι διακόπτες αυτοί είτε θα βρίσκονται εκτός από τον περιφραγμένο χώρο της εγκατάστασης είτε θα υφίσταται η δυνατότητα τηλεχειρισμού τους με την βοήθεια ηλεκτρονόμων χειριστηρίων που είναι τοποθετημένα σε τράπεζες χειρισμού που είναι εγκατεστημένες έξω από τον περιφραγμένο χώρο.

Τα καλώδια της χαμηλής τάσης που θα βρίσκονται εσωτερικά στον χώρο του εργαστήριου υψηλών τάσεων επιβάλλεται να είναι θωρακισμένα και να έχουν μεταλλικό περίβλημα που θα το γειώνουμε. Επειδή υφίσταται το ενδεχόμενο, οι αγωγοί της χαμηλής τάσης να βρεθούν κάτω από υψηλή τάση, αυτοί χρειάζεται να προστατεύονται με την βοήθεια ενός μικρού σπινθηριστή προστασίας. Αυτός ο μικρός σπινθηριστής προστασίας τον παρεμβάλλουμε ανάμεσα στον αγωγό και της γης και το διάκενο του το ρυθμίζουμε κατάλληλα ώστε λοιπόν να διασπασθεί όταν η τάση του αγωγού σε σχέση με την γη πολλαπλασιαστεί πιο πάνω από κάποια όρια. Οι διαδρομές των καλωδίων της χαμηλής τάσης ενδείκνυται να είναι απλές, να φαίνονται και να είναι τοποθετημένες με τάξη. Απαγορεύονται να εγκαταλείπονται κομμάτια καλωδίων ή τμήματα των αγωγών ανοργάνωτα ή άσκοπα μέσα στο εργαστήριο υψηλών τάσεων.

Οι αγωγοί της υψηλής τάσης επιβάλλεται να είναι κατάλληλοι για να κάνουμε την εκάστοτε εφαρμογή. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται είτε αγωγοί πολύ μικρής σχετικά διαμέτρου που είναι εφοδιασμένοι με ακροδέκτες (βύσματα), είτε ειδικοί εύκαμπτοι σωληνωτοί (κοίλοι) αγωγοί πολύ μεγάλης διαμέτρου όταν επιδιώκεται να αποφεύγονται οι παρουσιάσεις των εκκενώσεων Corona. Σε καμιά περίπτωση ωστόσο δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση των γυμνών συρμάτων δίχως ακροδέκτες, ούτε να γίνονται οι πραγματοποιήσεις πρόχειρων συνδεσμολογιών στην υψηλή τάση.

Συγκεκριμένη προσοχή χρειάζεται να δίνεται στην τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων ασφαλείας ανάμεσα των αγωγών της υψηλής τάσης και των γειωμένων αντικειμένων ή των αγωγών της χαμηλής τάσης. Οι αποστάσεις επιβάλλεται να ελέγχονται λεπτομερώς προηγουμένως πριν τεθεί η εγκατάσταση κάτω από υψηλή τάση.

Η έδραση ή η ανάρτηση των αντικειμένων δοκιμής επιβάλλεται να γίνεται στερεά και κατά ασφαλή τρόπο ώστε λοιπόν να αποκλείεται η μετακίνηση τους κατά την διάρκεια της καταπόνησης τους με υψηλή τάση, ακόμα και στην περίπτωση που υπάρχει αστοχία του δοκιμίου.

4.6 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.

Οι χειρισμοί κατά την διάρκεια που γίνονται τα πειράματα χρειάζεται να εκτελούνται από ένα και αποκλειστικά υπεύθυνο άτομο, το οποίο ορίζεται από την αρχή, πριν ξεκινήσουν τα πειράματα. Κανένας χειρισμός δεν επιτρέπεται να εκτελεσθεί από τον οποιοσδήποτε άνθρωπο εκτός αν δοθεί σαφής εντολή από τον υπεύθυνο.

Αυτός που εκτελεί τους χειρισμούς προειδοποιεί τους παρευρισκόμενους, τόσο όταν πρόκειται να τροφοδοτήσει την εγκατάσταση όσο και όταν πρόκειται να διακόψει την τροφοδότηση.

Οι όποιες τροποποιήσεις ή επεμβάσεις που οι οποίες είναι απαραίτητες για την εγκατάσταση κατά την διάρκεια που γίνονται τα πειράματα θα τις εκτελούν κάποια πρόσωπα τα οποία θα επιλέγονται από τον υπεύθυνο των χειρισμών. Απαγορεύεται η ανάληψη της οποιασδήποτε πρωτοβουλίας εκ μέρους του οποιουδήποτε από τους υπόλοιπους παρευρισκόμενους.

Συζητήσεις, υποδείξεις ή παροτρύνσεις που γίνονται από τρίτους κατά την εκτέλεση των χειρισμών, το μόνο που έχουν την δυνατότητα πιθανότατα να καταφέρουν, είναι να αποσπάσουν την προσοχή του χειριστή και να προκαλέσουν ατύχημα, με δυσάρεστες συνέπειες τόσο για τον χειριστή, όσο και τους ίδιους και είναι δυνατόν τα ατυχήματα να είναι θανατηφόρα ή απλώς τραυματισμοί.

Ο υπεύθυνος που κάνει τους χειρισμούς φέρει αμέριστα όλη την ευθύνη για όλα και οφείλει να παρακολουθεί επισταμένως τα πάντα που είναι μέσα στον χώρο που έχει την ευθύνη του.

Κατά την διάρκεια που εκτελούνται τα πειράματα στο εργαστήριο υψηλών τάσεων, ιδιαίτερα χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη αυτά που ακολουθούν στη συνέχεια και είναι τα εξής:

- Η αύξηση της τάσης επιβάλλεται να γίνεται βραδέως κάτω από ταυτόχρονη παρακολούθηση τόσο των ενδείξεων που έχουν τα όργανα που κατά κανόνα αυτά βρίσκονται πάνω σε τράπεζες χειρισμών, όσο και των όσων έχουν τη δυνατότητα να συμβαίνουν εντός του χώρου που γίνεται η εγκατάσταση. Οι πολλές ανωμαλίες έχουν τη δυνατότητα να αποφευχθούν αν γίνουν εγκαίρως αντιληπτές οι εκδηλώσεις των ακουστικών ή φωτεινών φαινομένων.
- Το ενδεχόμενο απρόοπτης ανάγκης να διακοπεί η τροφοδότηση επιβάλλεται να αντιμετωπίζεται ανά πάσα στιγμή από τον υπεύθυνο των πειραμάτων. Αυτός χρειάζεται με ειλικρίνεια να παρατηρήσει αν γίνεται η οποιαδήποτε ανωμαλία να διακόψει αμέσως την τροφοδότηση **χωρίς να αναζητήσει προηγούμενες την αιτία.**
- Τυχαία γεγονότα, όπως μετακίνηση παρευρισκομένων, πρώτη αντικειμένων, άφιξη προσώπων, ομιλίες μεταξύ των παρευρισκομένων και άλλα, δεν χρειάζεται να αποσπούν την προσοχή από την κάτω από υψηλή τάση εγκατάσταση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

- Οικονόμου Λάμπρος, Φώτης Γεώργιος, Εισαγωγή στις υψηλές τάσεις, εκδόσεις Τσιόλα, Θεσσαλονίκη 2010.
- Kuffel E, Zaengl W. S, Kuffel J. Μετάφραση στα Ελληνικά Σβάρνας Παναγιώτης, Υψηλές τάσεις, 2^η έκδοση, εκδόσεις Τσιόλα.
- Σημειώσεις Πυργιώτης Ελευθερίας. Υπεύθυνης Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Πανεπιστημίου Πατρών.
- www.ee.teihal.gr/labs/tyt.asp 9/9/2012.
- www.eng.auth.gr/hvl/elliniki_index.htm 8/9/2012.
- www.highvoltages.ece.ntua.gr. 23/9/2012.