

Τ.Ε.Ι - Πάτρας
Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή Εργασία

Αριθμός 444

«Μελέτη κατασκευής και σχεδίασης ενός εργαστηρίου
Υψηλών Τάσεων»

Εισηγητής:
Ε. Πυργιώτη

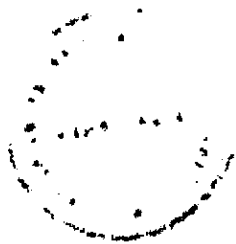
Σπουδαστές:
Τσιλεππή Ιωάννα
Χούλλης Σταύρος

Πάτρα - Φ 2000



ΡΙΘΜΟΣ
ΣΕΛΦΩΝ

3027



Πρόλογος

Στην εργασία αυτή βλέπουμε τα διάφορα στοιχεία που αποτελούν ένα εργαστήριο υψηλών τάσεων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, καθώς και αρκετό φωτογραφικό υλικό για καλύτερη προσέγγιση του θέματος.

Επίσης παραθέτουμε και στοιχεία που αφορούν καθαρά την σωστή κατασκευή του χώρου.

Όπως είναι το ύψος που θα έχει ο χώρος καθώς και για την σωστή λειτουργία των μηχανημάτων όπως είναι η γείωση η οποία θα πρέπει να υπάρχει.

Η εργασία αυτή αποτελείται από πέντε κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο βρίσκουμε θεωρία, τεχνικά χαρακτηριστικά, καθώς και φωτογραφίες-στοιχεία που αναφέρονται στους μετασχηματιστές υψηλών τάσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παραθέτουμε θεωρία και τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία αναφέρονται στις γεννήτριες κρουστικής τάσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά για τις γεννήτριες κρουστικού ρεύματος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παραθέτουμε τον τρόπο και παραδείγματα για την εύρεση των διαστάσεων ενός εργαστηρίου υψηλών τάσεων και συγκεκριμένα το ύψος το οποίο θα πρέπει να έχει.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο μιλάμε για την γείωση η οποία θα υπάρξει μαζί με ένα παράδειγμα. Επίσης παραθέτουμε και φωτογραφίες.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	1
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1	8
Μετασχηματιστής υψηλής τάσης	8
Πολυβάθμιοι μετασχηματιστές	9
Ισχύς μετασχηματιστού δοκιμής	11
Τροφοδότηση μετασχηματιστών δοκιμής	12
Τεχνικό φυλλάδιο μετασχηματιστή υψηλής τάσης	14
Σχεδιασμός	14
Πυρήνας	15
Τυλίγματα	15
Δεξαμενή	16
Ηλεκτρόδιο κορυφής	16
Βάψιμο	17
Μόνωση	17
Δοχείο διαστολής	18
Βάση	19
Δοκιμές	19
Προαιρετικές συσκευές-εξαρτήματα	20
Διαστάσεις και εξαρτήματα	22

Τεχνικά δεδομένα	25
Σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης	26
Τεχνικά δεδομένα	27
Μετασχηματιστής κατά διαδοχής (σε σειρά)	28
AC τάση, σύστημα δοκιμής, λογικό διάγραμμα	32
Κεφάλαιο 2	34
Γεννήτρια κρουστικής τάσης	34
Εισαγωγή - Κρουστικές τάσεις	34
Ισοδυναμία πραγματικών με εργαστηριακές κρουστικές καταπονήσεις	37
Κρουστικές γεννήτριες	38
Η μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια	38
Πολυβάθμιες κρουστικές γεννήτριες	44
Τεχνικό φυλλάδιο κρουστικής γεννήτριας	47
Εφαρμογές	48
Κεφάλαιο 3	50
Κρουστικές γεννήτριες ρεύματος	50
Γενικά-Εξομοίωση ρεύματος κεραυνού	50
Βασικό κύκλωμα γεννήτριας κρουστικού ρεύματος	55
Παράδειγμα 1	57
Παράδειγμα 2	59
Κυκλώματα εξομοίωσης κρουστικού ρεύματος κεραυνού	61
Κύκλωμα για την συνιστώσα Α	61
Κυκλώματα για την συνιστώσα Β	65

Κύκλωμα για την συνιστώσα C	66
Κύκλωμα για την συνιστώσα D	67
Κύκλωμα για την συνιστώσα H	68
Κεφάλαιο 4	71
Υπολογισμός διαστάσεων εργαστηρίου υψηλών τάσεων	71
A. Υπολογισμός ονομαστικής τάσης M/Σ	71
B. Υπολογισμός ονομαστικής τάσης της κρουστικής γεννήτριας	71
B1. Υπολογισμός για κρουστικές τάσεις κεραυνών	71
B2. Υπολογισμός για υπερτάσεις χειρισμών	72
Γ. Υπολογισμός των διαστάσεων ενός εργαστηρίου υψηλών τάσεων	74
Γ1. Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις κεραυνών	74
Γ2. Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις χειρισμών	75
Παράδειγμα	76
Υπολογισμός για κρουστικές τάσεις κεραυνών	76
Υπολογισμός για υπερτάσεις χειρισμών	77
Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις κεραυνών	78
Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις χειρισμών	80
Κεφάλαιο 5	82
Γείωση	82
Μέτρηση αντίστασης γείωσης (R_A)	87
Φωτογραφικό υλικό	88
Βιβλιογραφία	95

Εισαγωγή

Το αντικείμενο των Υψηλών Τάσεων είναι η μελέτη των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι διάφορες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και συσκευές, ενός ηλεκτρικού συστήματος, λόγω της τάσης που υπάρχει ανάμεσα στα στοιχεία τους ή τα στοιχεία αυτά και τη γη.

Οι παράμετροι που εξετάζονται στις Υψηλές Τάσεις είναι:

- α) Οι ηλεκτρικές καταπονήσεις που προκύπτουν κατά την λειτουργία μιας εγκατάστασης και που καθορίζονται από τη μορφή, το εύρος και την διάρκεια των ηλεκτρικών τάσεων που εμφανίζονται στις διάφορες θέσεις της εγκατάστασης.
- β) Η συμπεριφορά των διάφορων υλικών που παρεμβάλλονται ανάμεσα στα στοιχεία της εγκατάστασης, που βρίσκονται υπό τάση, για πρόληψη ηλεκτρικής υπερπήδησης.

Τα υλικά αυτά ονομάζονται μονώσεις.

Ο τομέας των Υ.Τ. έχει σαν αντικείμενο τη διάταξη μέσα στην εγκατάσταση με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο των κατάλληλων μονώσεων ώστε να προλαμβάνονται ανεπιθύμητες ηλεκτρικές υπερπηδησεις. Για να εξασφαλιστεί αυτό, πρώτο βήμα είναι η πλήρης μελέτη των παραμέτρων των ηλεκτρικών καταπονήσεων και η εύρεση μεθόδων για την κατά τον δυνατόν μείωση των καταπονήσεων αυτών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται

έλεγχος υπερτάσεων. Το επόμενο είναι η μελέτη των ιδιοτήτων των διαφόρων μονωτικών υλικών. Αυτά μπορεί να είναι στερεά (π.χ. χαρτί, γυαλί, λάστιχο κτλ.), και αέρια (αέρας, εξαφθοριούχο θείο, μίγματα αερίων). Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι από τα περισσότερα χρησιμοποιούμενα μονωτικά υλικά.

Ο οικονομικότερος συνδυασμός των παραπάνω παραμέτρων για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης ονομάζεται διαβάθμιση της μόνωσης.

Ο μόνος τρόπος για τη μελέτη των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών διαφόρων μονωτικών υλικών είναι η υποβολή τους, μέσα σε ένα εργαστήριο, σε ηλεκτρικές καταπονήσεις όμοιες ή ισοδύναμες με αυτές που πρόκειται να υποστούν κατά την λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η μελέτη αυτή γίνεται είτε με μονωμένα μονωτικά υλικά είτε σε συσκευές-εγκαταστάσεις που είναι ενσωματωμένα αυτά. Η ανεξάρτητη μελέτη των υλικών αποτελεί στην ουσία βασική έρευνα και έχει σκοπό να διατυπωθούν γενικοί κανόνες για την συμπεριφορά τους. Η δοκιμή μιας ολόκληρης συσκευής ή εγκατάστασης αποτελεί βιομηχανική δοκιμή.

Κεφάλαιο 1

Μετασχηματιστής υψηλής τάσης

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια για την παραγωγή υψηλών τάσεων για δοκιμές είναι οι μετασχηματιστές υψηλής τάσης.

Ένας οποιοσδήποτε μετασχηματιστής, από αυτούς που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά δίκτυα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο για δοκιμές, αρκεί να μπορεί να παράγει αρκετά υψηλή τάση για το είδος της δοκιμής στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Τα ειδικά χαρακτηριστικά ενός Μ/Σ του δικτύου και ενός Μ/Σ δοκιμών παρουσιάζουν τις εξής διαφορές:

Ένας μετασχηματιστής δικτύου χρησιμοποιείται για να τροφοδοτεί μεγάλες ποσότητες ισχύος ενώ η ισχύ που χρειάζεται για δοκιμή είναι συνήθως μικρή.

Οι μετασχηματιστές δικτύου κατασκευάζονται συχνά τριφασικοί, εκτός από τους πολύ μεγάλους που κατασκευάζονται ένας για κάθε φάση, ενώ στο εργαστήριο χρησιμοποιείται (με λίγες μόνο εξαιρέσεις) μονοφασική τάση.

Για εργαστηριακές δοκιμές απαιτούνται πολύ μεγαλύτερες τάσεις από αυτές που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα.

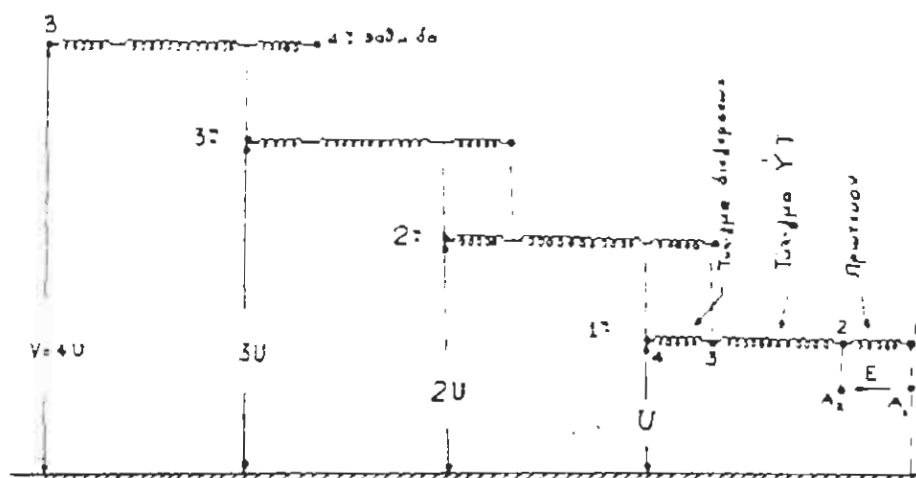
Για όλους αυτούς τους λόγους παρόλο που ένας μετασχηματιστής ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μετασχηματιστής δοκιμής, οι τελευταίοι κατασκευάζονται με ειδικά χαρακτηριστικά που προσαρμόζονται στις ανάγκες του εργαστηρίου.

Πολυβάθμιοι μετασχηματιστές

Όταν η απαιτούμενη τάση εξόδων του μετασχηματιστή δοκιμής είναι σχετικά μεγάλη (πάνω από 400-500 [kV], η κατασκευή ενός συμβατικού μετασχηματιστή με δυο τυλίγματα γίνεται και δύσκολη κι δαπανηρή. Αυτή η δυσκολία παρακάμπτεται με την κατασκευή πολυβάθμιων μετασχηματιστών. Η ηλεκτρική (σχηματική) συνδεσμολογία ενός πολύβαθμου μετασχηματιστή με τέσσερις βαθμίδες, φαίνεται στο σχήμα 1. Κάθε βαθμίδα περιλαμβάνει τρία βασικά τυλίγματα: α) το πρωτεύον (1-2) από το οποίο γίνεται η τροφοδότηση της τάσης, β) το τύλιγμα υψηλής τάσης (2-3) και γ) το τύλιγμα διέγερσης (3-4) που χρησιμεύει για την τροφοδότηση της επόμενης βαθμίδας.

Το πρωτεύον και το τύλιγμα διέγερσης κατασκευάζονται για την ίδια τάση που είναι μόνο μερικά [kV] (3-4 [kV]). Το τύλιγμα υψηλής τάσης καθορίζει την τάση του μετασχηματιστή και είναι της τάξης των μερικών εκατοντάδων [kV]. Όλες οι βαθμίδες είναι ίδιες. Από την τελευταία μπορεί να παραλειφθεί το τύλιγμα διέγερσης, αλλά αυτό δεν γίνεται για να είναι όλες οι βαθμίδες εναλλακτικές.

Ο μετασχηματιστής τροφοδοτείται με μια ρυθμιζόμενη τάση, E , από τους ακροδέκτες A1-A2 της πρώτης βαθμίδας. Ο ακροδέκτης A1 συνδέεται στη γη. Το άκρο A της πρώτης βαθμίδας αναπτύσσεται η τάση u που είναι και η τάση της βαθμίδας. Το τύλιγμα 3-4 της πρώτης βαθμίδας χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το πρωτεύον της δεύτερης βαθμίδας. Το πρωτεύον της δεύτερης βαθμίδας (εκτός από τη μικρή τάση 3-4 [kV] που θα επικρατεί ανάμεσα στα δυο του άκρα) θα βρίσκεται ολόκληρο σε μια τάση u πάνω από τη γη. Είναι φανερό πως ολόκληρη η δεύτερη βαθμίδα θα πρέπει να μονωθεί από τη γη για μια τάση u στο κατώτερο άκρο της που βρίσκεται το πρωτεύον. Στο απώτερο άκρο της δεύτερης βαθμίδας θα αναπτυχθεί τάση $2u$ και επομένως το άκρο αυτό θα πρέπει να αντέχει σε τάση $2u$. Το κατώτερο άκρο της τρίτης βαθμίδας θα πρέπει να μονωθεί για τάση $2u$ κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να παραχθεί τάση εξόδου του μετασχηματιστή πολλαπλάσια της τάσης κάθε βαθμίδας.



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση 4/βάθμιου Μ/Σ υψηλής τάσης

Ισχύς μετασχηματιστού δοκιμής

Στις περισσότερες περιπτώσεις το δοκίμιο παρουσιάζει άπειρη αντίσταση μέχρι που να συμβεί διάσπαση. Έτσι το δοκίμιο εμφανίζεται σαν μια σχετικά μικρή χωρητικότητα, που είναι κυρίως η παράσιτη χωρητικότητα των αγωγών σύνδεσης και του ίδιου του δοκιμίου προς τη γη με ασήμαντη ενεργό κατανάλωση. Η ισχύς που τροφοδοτεί ο μετασχηματιστής πριν από τη διάσπαση, είναι μικρή. Γι' αυτό έχει καθιερωθεί οι μετασχηματιστές δοκιμής να κατασκευάζονται ικανά να διατηρούν στη πλευρά της υψηλής τάσης ρεύμα ενός αμπέρ και έτσι η ισχύ τους σε [kVA] να είναι ίση με την ονομαστική τάση του Μ/Σ σε [kV].

Τροφοδότηση μετασχηματιστών δοκιμής

Όπως αναφέρθηκε, το πρωτεύον των Μ/Σ δοκιμής τροφοδοτεί με τάση που μπορεί να ρυθμίζεται από μηδέν μέχρι την μέγιστη τάση του πρωτεύοντος που είναι συνήθως 3-4 [kV], με συνεχή τρόπο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ρυθμιστές. Ένας ρυθμιστής τάσης είναι ένας μετασχηματιστής που τροφοδοτείται στο πρωτεύον του με την τάση του δικτύου και παράγει στο δευτερεύον του τάση που μπορεί να μεταβάλλεται από μηδέν μέχρι 3-4 [kV]. Ο ρυθμιστής πρέπει να μπορεί να φορτισθεί με τη μέγιστη ισχύ που απορροφά ο μετασχηματιστής δοκιμών.

Η ρύθμιση της τάσης γίνεται με μεταβολή λήψης από το δευτερεύον του Μ/Σ. Ο πιο απλός τρόπος είναι μια ψήκτρα που εύρεται κατακόρυφη πάνω στο τυλίγμα του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση που προκύπτει με αυτόν τον τρόπο δεν είναι απόλυτα συνεχής αλλά γίνεται με μικρές βαθμίδες που η κάθε μια αντιστοιχεί στην τάση μιας και μόνο σπείρας του τυλίγματος του ρυθμιστή.

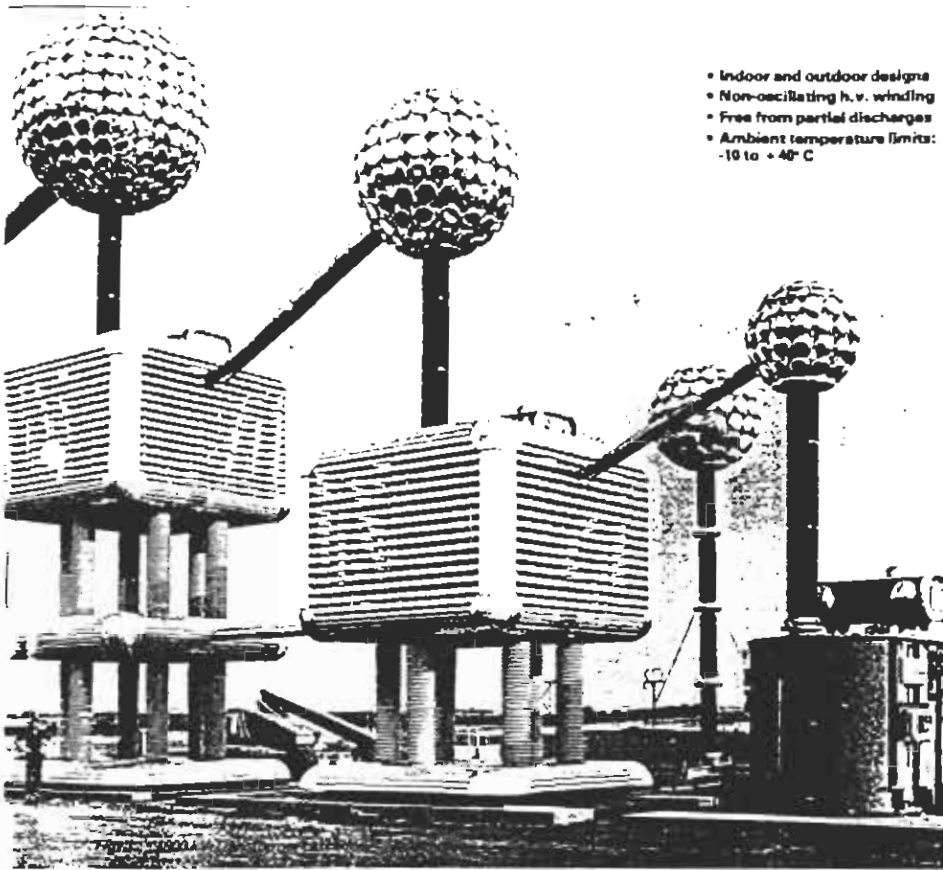
Για συνεχή μεταβολή της τάσης χρησιμοποιείται ρυθμιστής με στρεφόμενο το δευτερεύον. Συγχρόνως με τη περιστροφή του τυλίγματος ανέρχεται αργά κατακόρυφα και η ψήκτρα, έτσι ώστε να βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το τυλίγμα.

Ένας άλλος τύπος ρυθμιστή, με συνεχή μεταβολή της τάσης, έχει ακίνητα τα δυο τυλίγματα (πρωτεύον και δευτερεύον) και κινείται

μόνον ο πυρήνας. Με την κίνηση του πυρήνα μεταβάλλεται η μαγνητική ζεύξη ανάμεσα στα τυλίγματα και επομένως και η τάση εξόδου του δευτερεύοντος, για σταθερή τάση εισόδου του πρωτεύοντος.

Σαν πηγή ρυθμιζόμενης τάσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια γεννήτρια. Η ρύθμιση της τάσης μιας γεννήτριας γίνεται με μεταβολή του ρεύματος διέγερσης και είναι απλή. Αυτή η λύση όμως είναι ακριβή γιατί η γεννήτρια από μόνη της είναι ακριβότερη από ένα ρυθμιστή. Γεννήτρια σαν ρυθμιστής τάσης χρησιμοποιείται αναγκαστικά όταν χρειάζεται όχι μόνον ρύθμιση τάσης αλλά και συχνότητας.

Τεχνικό φυλλάδιο μετασχηματιστή υψηλής τάσης



- Indoor and outdoor designs
- Non-oscillating h.v. winding
- Free from partial discharges
- Ambient temperature limits:
-10 to +40° C

Εξωτερικός μετασχηματιστής κατά διαδοχή

Σχεδιασμός

Ο τυπου-tank μετασχηματιστής δοκιμής είναι συνδεδεμένος τόσο για εσωτερική χρήση όσο κι για εξωτερική. Έχει σαν σκοπό κυρίως την δοκιμή πάνω σε φορτία με χωρητική συμπεριφορά αλλά η οποία οφείλεται στην πολύ χαμηλή σύνθετη αντίσταση.

Επίσης αυτές οι μονάδες είναι κατάλληλες και για δοκιμές μόλυνσης σύμφωνα με τις υποδείξεις της I.E.C. (International electrotechnical commission). Οι μετασχηματιστές 250 έως 650 [kV] μπορούν να εφοδιαστούν με σταθεροποιητικά τυλίγματα τα οποία επιτρέπουν στην μονάδα να συνδεθεί σε σειρά με μια ή δυο επιπλέον μονάδες.

Πυρήνας

Το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή αποτελείται από ένα πυρήνα κατασκευασμένο από ατσάλι μαγνητικά προσανατολισμένο. Η επαγωγική συμπεριφορά του πυρήνα είναι χαμηλή, έτσι ώστε να κρατά το παραμορφωμένο κύμα τάσης που οφείλεται στο ρεύμα μαγνήτισης όσο το δυνατόν μικρότερο.

Τυλίγματα

Τα τυλίγματα είναι από στρώματα σχεδιασμένα με υψηλή χωρητική σύζευξη μεταξύ των στρωμάτων των τυλιγμάτων και των παρακείμενων τυλιγμάτων κι του πυρήνα. Αυτός ο σχεδιασμός βελτιώνει κατά πολύ την ικανότητα των τυλιγμάτων να αντέχουν σε στιγμιαίες εξάρσεις.

Το πρωτεύον χαμηλής τάσης είναι τοποθετημένο κοντά στον πυρήνα. Είναι διαιρεμένο στα δύο τα οποία μπορούν, να

συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα για καλύτερη προσαρμογή της τάσης.

Το δευτερεύον τύλιγμα είναι το τύλιγμα υψηλής τάσης το οποίο είναι προστατευόμενο για την ανατροπή συγκέντρωση παλμικής τάσης ή ταλαντώσεις μέσα στα τυλίγματα.

Τα σταθεροποιητικά τυλίγματα της χαμηλής τάσης είναι συνδεδεμένα με το εξωτερικό στρώμα προστασίας του τυλίγματος υψηλής τάσης. Τα δυο άκρα έρχονται έξω μέσα από την επένδυση της υψηλής τάσης η οποία παρέχει την ευκαιρία στον διαδοχικό Μ/Σ με μια επιπλέον μονάδα τοποθετημένη σε μια ξεχωριστή μονωμένη στάθμη λευκού.

Δεξαμενή

Ο πυρήνας και τα τυλίγματα είναι τοποθετημένα σε μια ατσαλένια γεμάτη λάδι δεξαμενή. Ολόκληρος ο Μ/Σ μπορεί να αντέξει σε πλήρες κενό κατά την διάρκεια γέμιση με λάδι επί τόπου.

Ηλεκτρόδιο κορυφής

Ένα κατάλληλο ηλεκτρόδιο κορυφής από ραφηναρμένο, αλουμίνιο είναι τοποθετημένο πάνω από την μόνωση υψηλής τάσης.

Βάψιμο

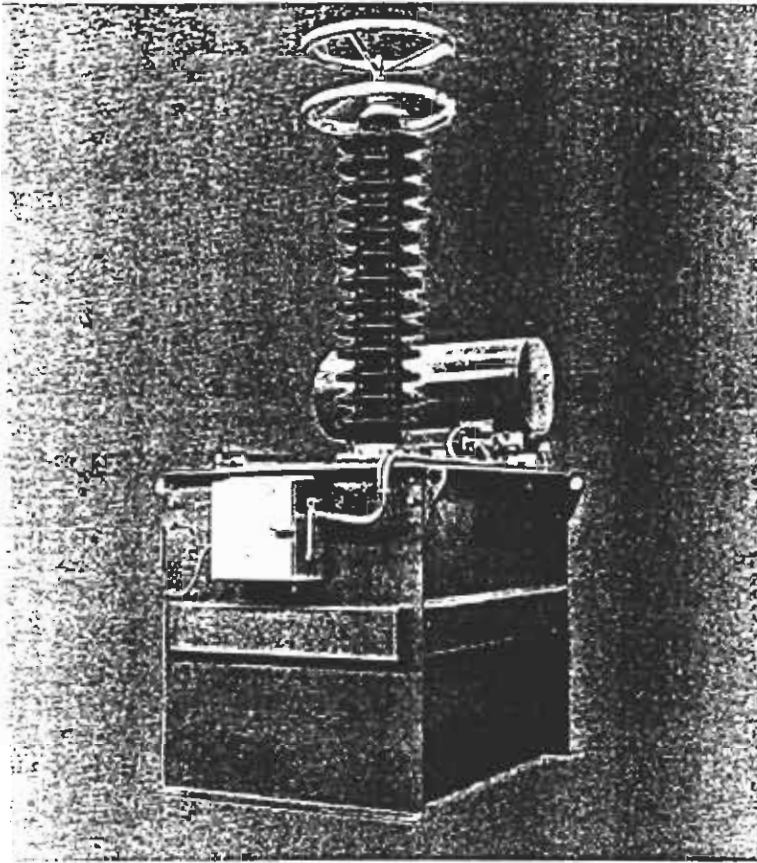
Όλα τα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ είναι βαμμένα με ένα μίγμα μπογιάς για εξωτερικές επιφάνειες δυο συστατικών. Το κύριο χρώμα είναι το μπλε για τον κύριο Μ/Σ και γκριζο-μπλε για τα διάφορα εξαρτήματα.

Μόνωση

Η υψηλή τάση στους ακροδέκτες σύνδεσης του τυλίγματος υψηλής έρχονται έξω μέσω ενός μονωτικού στηρίγματος της ASEA για υψηλές τάσεις. Το μήκος της μόνωσης δίνεται στον πίνακα δεδομένων. Ο σχεδιασμός της μόνωσης χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- α) Το μονωτικό σώμα είναι εμποτισμένο σε λάδι και φτιαγμένο από μονωτικό χαρτί για υψηλές τάσεις με λεπτά φύλλα από ρινίσματα αλουμινίου. Τα οποία δεν εκφορτίζονται κατά την τάση δοκιμής.
- β) Ερμητικά κλειστό με ξεχωριστό σύστημα λαδιού.

Ο ακροδέκτης του πρωτεύοντος τυλίγματος και της μείωσης του δευτερεύοντος τυλίγματος βγαίνουν με μόνωση χαμηλής τάσης. Αυτοί κυμαίνονται για μέγιστη τάση από 1 [kV] έως 6 [kV] και φτιαγμένα από πορσελάνη.



Σχήμα 2. Μ/Σ δοκιμής. Τύπος TA 200-0,5, 200 [kV]

Δοχείο διαστολής

Σαν επιλογή για την συντήρηση μπορεί να μπει μια πλαστική μεμβράνη, η οποία διαχωρίζει το λάδι από τον περιβάλλοντα αέρα. Ο Μ/Σ είναι εφοδιασμένος με ένδειξη δείκτη λαδιού, ρελέ λειτουργίας αερίου και θερμόμετρο, όλα τα παραπάνω έχουν επαφές σηματοδότησης.

Βάση

Ο Μ/Σ μπορεί εφόσον ζητήσει να είναι πορμηθευμένης με μεταλλική βάση η οποία παρέχει με την βοήθεια αέρα την ευχέρεια για μετακίνηση μέσα στο εργαστήριο. Στην περίπτωση αυτή το πάτωμα πρέπει να είναι από μπετόν αρμέ χωρίς ρωγμές.

Δοκιμές

Μετασχηματιστής

Το πρόγραμμα δοκιμών του εργαστηρίου για τον μετασχηματιστή περιέχει:

- Άνευ φορτίου ασταθώς μέτρησης
- Βραχυκύκλωμα σύνθετης αντίστασης ασταθούς μέτρησης
- Μέτρηση λόγω τάσεων μετασχηματισμού.
- Έλεγχος πολικότητας
- Δοκιμή της επαγωγικής υπέρτασης για 1,2 φορές της ονομαστικής τάσης.
- Δοκιμή μερικής εκφόρτωσης μια ονομαστική τάση.

Η τεχνική διαδικασία ελέγχου γίνεται σύμφωνα με το I.E.C. PUBL 76 όσο το δυνατό πιο εφαρμόσιμα.

H.V. Μόνωση

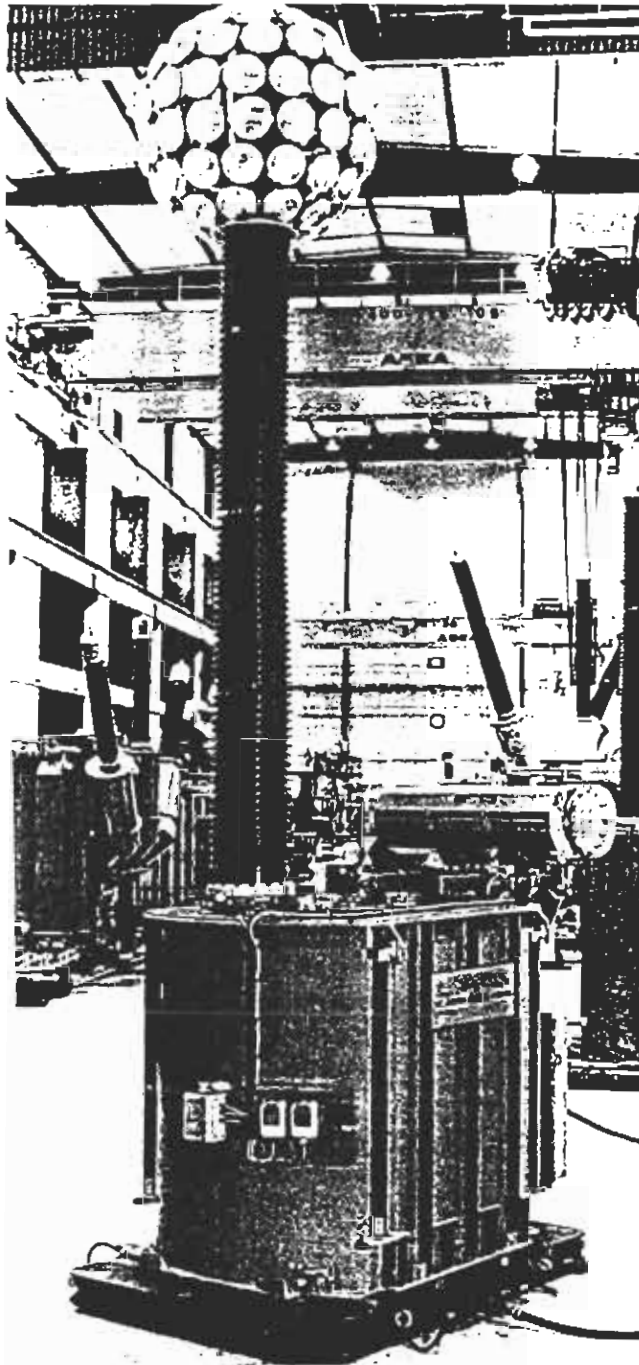
Το πρόγραμμα δοκιμών του εργοστασίου για την μόνωση της υψηλής τάσης μόνη της πριν μπει στο Μ/Σ είναι οι εξής:

- Δοκιμή εφαρμοστικότητας σε υπερπίεση
- Μέτρηση χωρητικότητας
- Δοκιμή αντοχής σε βιομηχανική συχνότητα
- Δοκιμή μερικής εκφόρτισης

Προαιρετικές συσκευές-εξαρτήματα

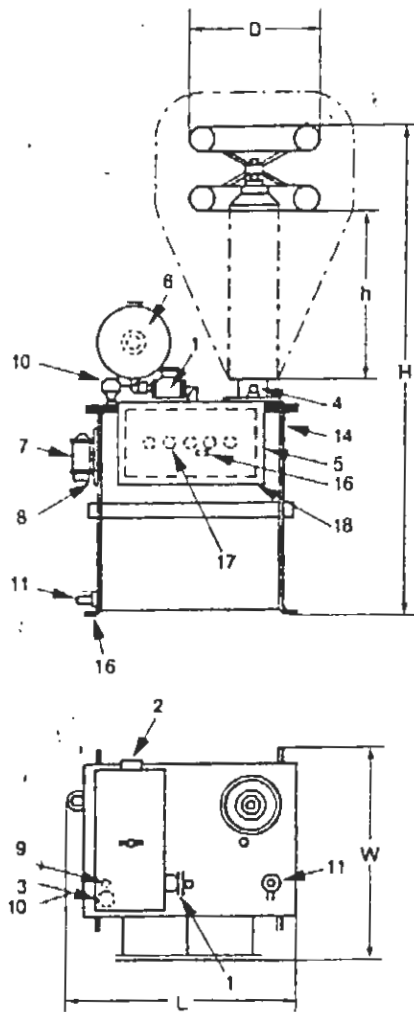
Συσκευή βραχυκυκλώματος του πρωτεύοντος για προστασία του Μ/Σ από υπέρταση κατά την διάρκεια δοκιμής του SF6 συστήματος διακοπών για σταθμό μετασχηματισμού.

- Ειδικό ηλεκτρόδιο κορυφής
- Εξωτερική αντίσταση απόσβεσης
- Μονωμένη στάθμη λευκού για διαδοχικές μονάδες
- Μονάδα σύζευξης για μέτρηση τάσης χρησιμοποιώντας την χωρητική επαφή της μόνωσης υψηλής τάσης
- Ειδική μόνωση
- Βάση με αέρα εσωτερική για ευχέρεια στις μετακινήσεις.

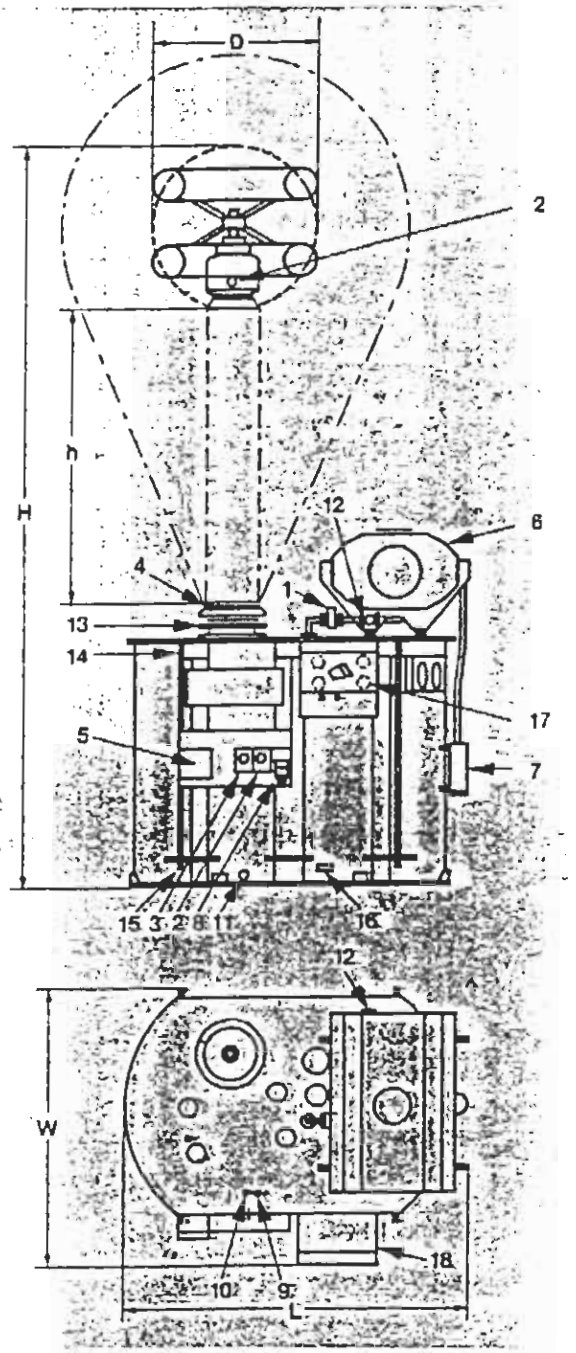


Σχήμα 3. Μ/Σ δοκιμής. Τύπος TB 750-1, 750 [kV]

Διαστάσεις και εξαρτήματα



Σχήμα 4. Μ/Σ τύπος ΤΑ, 100-350 [kV]



Σχήμα 5. Μ/Σ Τύπος ΤΒ, 400-750 [kV]

1. Ηλεκτρονόμος λειτουργίας αερίων
2. Δείκτης στάθμης λαδιού
3. Θερμόμετρο για την θερμοκρασία λαδιού
4. Επαφή χωρητικής τάσης.
5. Τερματικό κιβώτιο
6. Δοχείο διαστολής
7. Αναπνευστήρας silica-gel
8. Πλάκα εκτίμησης
9. Σημείο ελέγχου θερμομέτρου
10. Σημείο θερμομέτρου λαδιού
11. Βαλβίδα φίλτρου
12. Βαλβίδα διακοπής
13. Βαλβίδα εξαερισμού
14. Συσκευή για το σήκωμα του Μ/Σ
15. Σημείο ανασήκωσης
16. Ακροδέκτης γείωσης
17. Μόνωση
18. Προστατευτική επένδυση για τους ακροδέκτες των καλωδίων

Τεχνικά δεδομένα

Ο πίνακας αναφέρεται για μετασχηματιστές εσωτερικής χρήσης. Μετασχηματιστές με μεγαλύτερη μόνωση για δριμύτατες εξωτερικές συνθήκες μπορούν να προσφερθούν εάν ζητηθεί.

Πίνακας 1

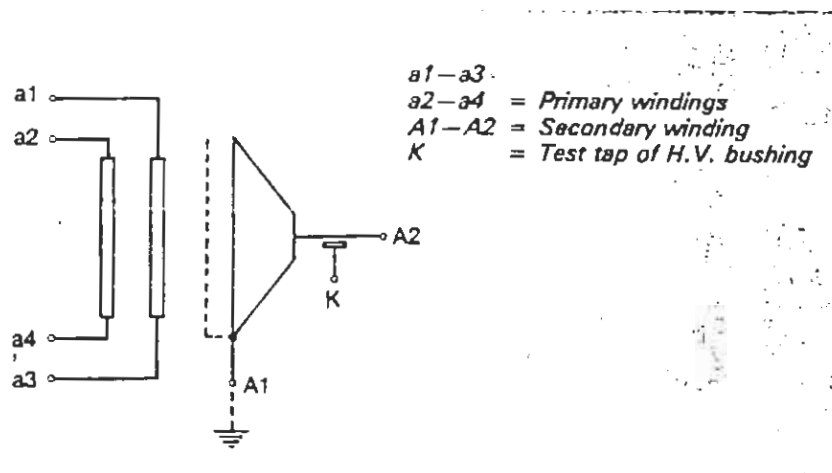
Rated voltage kV	Rated current			Approx. UK at 50 Hz %	Approx. dimensions, mm					Recommended oil clearance		Weight kg	Code number
	Cont. 5 A	min/h A			H	W	L	b	φ	φ			
100	0.5	1	2		2.5	1.2	1.4	1.3	0.6	0.8	1,700	TA 100-0.5	
	1	2	4		2.5	1.2	1.4	1.3	0.6	0.8	1,850	-1	
	2	4	6		2.9	1.5	1.7	1.8	0.6	0.8	3,400	-2	
150	0.5	1	4		2.5	1.2	1.4	1.3	0.6	1.0	1,850	TA 150-0.5	
	1	2	5		2.9	1.5	1.7	1.8	0.6	1.0	3,400	-1	
	2	4	5		2.9	1.4	1.7	1.3	0.6	1.0	4,000	-2	
200	0.5	1	5		2.9	1.5	1.7	1.8	0.8	1.2	3,450	TA 200-0.5	
	1	2	3		2.9	1.4	1.7	1.3	0.8	1.2	3,850	-1	
	2	4	7		3.6	1.8	2.0	1.8	0.8	1.2	5,200	-2	
250	0.5	1	5		2.9	1.5	1.7	1.8	0.8	1.3	3,450	TA 250-0.5	
	1	2	5		3.6	1.6	1.9	1.8	0.8	1.3	5,200	-1	
	2	4	9		3.6	1.6	1.9	1.8	0.8	1.3	5,600	-2	
300	0.5	1	4		3.6	1.6	1.9	1.8	1.0	1.5	5,300	TA 300-0.5	
	1	2	6		3.6	1.8	1.9	1.8	1.0	1.5	5,300	-1	
	2	4	10		3.6	1.6	1.9	1.8	1.0	1.5	5,600	-2	
350	1	2	4		4.3	1.7	2.5	2.4	1.0	1.7	7,950	TA 350-1	
	2	4	8		4.3	1.7	2.5	2.4	1.0	1.7	7,900	-2	
400	1	2	5		5.0	2.0	2.5	3.0	1.2	1.8	11,000	TB 400-1	
	2	4	9		5.0	2.1	2.5	3.0	1.2	1.8	12,000	-2	
500	1	2	3		6.2	2.4	3.3	3.6	1.3	2.2	20,000	TB 500-1	
	2	4	6		6.2	2.4	3.3	3.6	1.3	2.2	21,000	-2	
600	1	2	4		6.7	2.4	3.3	4.1	1.5	2.5	21,000	TB 600-1	
	2	4	8		6.7	2.4	3.3	4.1	1.5	2.5	21,500	-2	
750	1	2	5		9.5	2.7	4.5	4.7	2.0	3.0	31,000	TB750-1	
	2	4	10		9.5	2.7	4.5	4.7	2.0	3.0	31,500	-2	

Σχηματικό διάγραμμα σύνδεσης

Οι μετασχηματιστές δοκιμής έχουν πάντα σαν χαρακτηριστικό γνώρισμα να σχεδιάζονται με δυο πρωτεύοντα τυλίγματα τα οποία μπορούν από εξωτερικές να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα.

Η ονομαστική τάση του πρωτεύοντος του Μ/Σ μπορεί να επιλεγεί μέσα στην περιοχή από 0,38 έως 1,0 [kV] για τον τύπο ΤΑ Μ/Σ, και από 0,38 έως 6,0 [kV] για τον τύπο ΤΒ Μ/Σ.

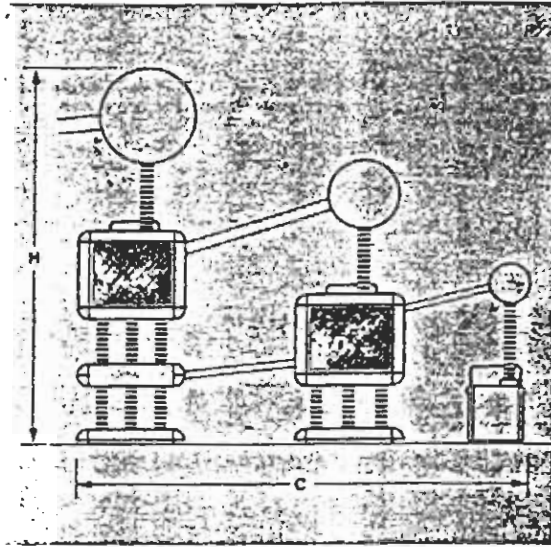
Συνήθως οι σειρές και οι παραλληλίες που χαρακτηρίζονται οι μετασχηματιστές δοκιμής χρησιμοποιούνται για την καλύτερη αξιοποίηση της ισχύος που παρέχεται από τον ρυθμιστή τάσης και του αντιδραστήρα αντιστάθμισης για τάσεις που κυμαίνονται κάτω του 50% της ονομαστικής τάσης εξόδου.



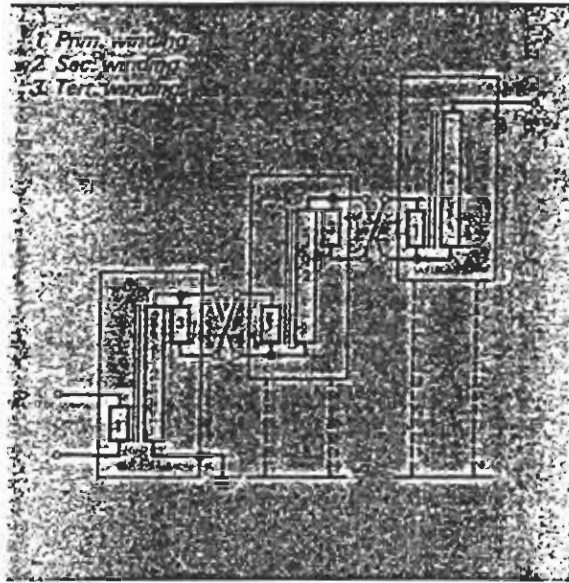
Σχήμα 6. Διάγραμμα σύνδεσης

Τεχνικά δεδομένα

Μετασχηματιστές με μεγαλύτερη μόνωση και μεγαλύτερη μονωτική βάση για δριμύτερες εξωτερικές συνθήκες μπορούν να προσφερθούν εάν ζητηθεί.



Σχήμα 7. Τρία στάδια διαδοχικών εξωτερικού σχεδιασμού



Σχήμα 8. Τρία στάδια διαδοχικών

Μετασχηματιστής κατά διαδοχής (σε σειρά)

Για τάσεις εξόδου μεγαλύτερες από 600 [kV] δύο ή τρεις μετασχηματιστές είναι συνδεδεμένοι κατά διαδοχή (σε σειρά). Οι μετασχηματιστές οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι για αυτόν τον σκοπό είναι εξοπλισμένοι με σταθεροποιητικά τυλίγματα και ενσωματωμένο αντιδραστήρα αντιστάθμισης. Οι μετασχηματιστές που βρίσκονται στο ανώτερο στάδιο είναι πάνω σε μονωμένες βάσεις οι οποίες είναι διαθέσιμες τόσο για εξωτερικές όσο και για εσωτερικές χρήσεις. Επίσης είναι εξοπλισμένοι με την απαραίτητη εξωτερική ηλεκτροστατική προστασία της δεξαμενής καθώς και με το ηλεκτρόδιο κορυφής έτσι ώστε να αποφύγουμε την επίδραση της μερικής εκφόρτισης από εξωτερικές εκφορτίσεις. Οι

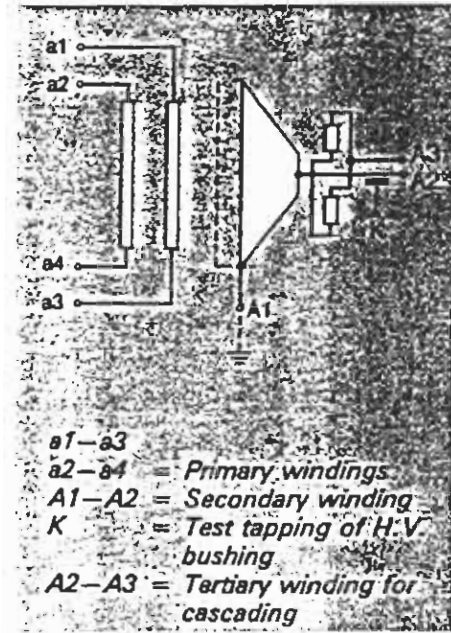
μετασχηματιστές κατά διαδοχή που ένα ρεύμα που κυμαίνεται στο 1 [A] είναι διαθέσιμο με μεταβλητή τάση εξόδου που κυμαίνεται από 600 έως 1800 [kV].

Πίνακας 2 (Κατά διαδοχή)

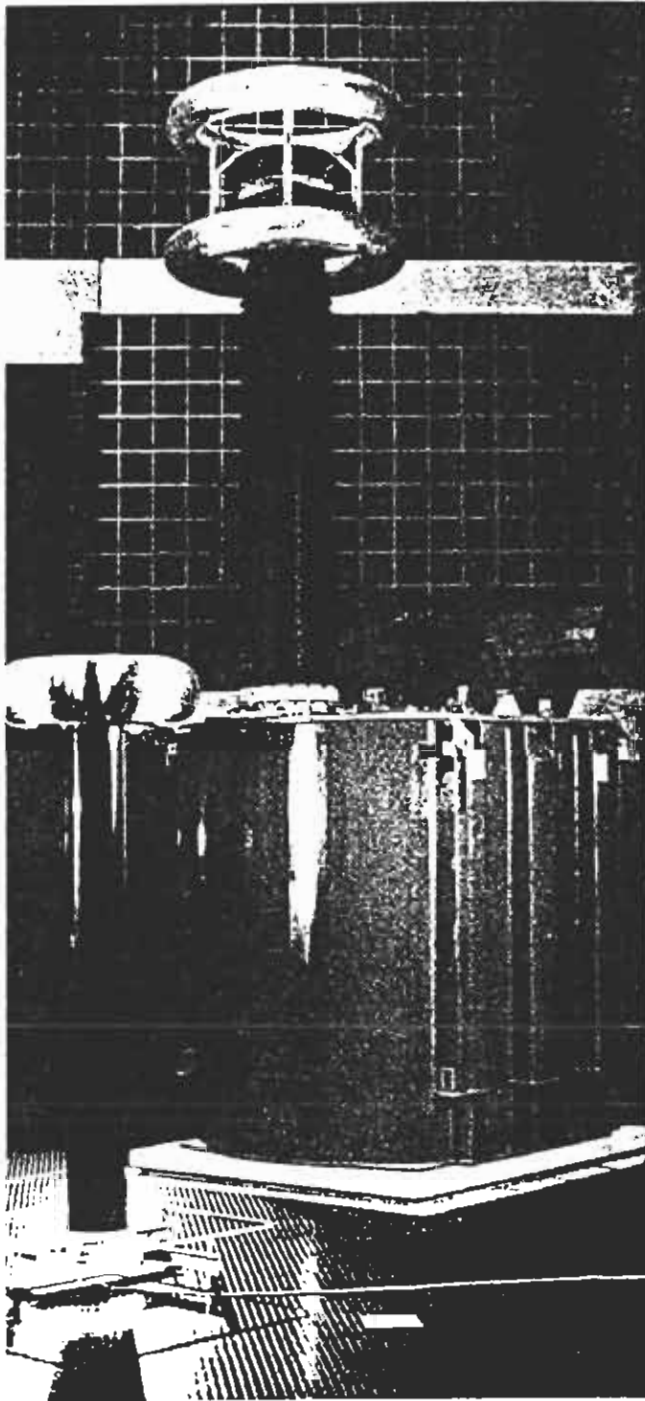
Rated voltage kV	Rated current cont. 5 min/h A	Number of stages	Approx. dimensions (mm)	Approx. weight (kg)	Code number
600	1	2	2700	1000	IT-600-2
800	1	2	3100	1150	IT-800-2
1000	1	2	3700	1350	IT-1000-2
1200	1	2	4300	1550	IT-1200-2
1500	1	2	5500	2100	IT-1500-2
1800	1	2	6500	2400	IT-1800-2

Πίνακας 3 (Μεμονωμένοι μετασχηματιστές διαβαθμιστής)

Rated voltage kV	Rated current cont. 5 min/h A	Insp. volt. at 50 Hz (kV)	Approx. dimensions (mm)	Approx. weight (kg)	Code number
250	2	274	2180	1180	IT-250-2
350	2	374	2460	1420	IT-350-2
450	2	474	2780	1650	IT-450-2
550	2	574	3120	1900	IT-550-2
650	2	674	3480	2150	IT-650-2



Σχήμα 9. Διάγραμμα σύνδεσης



Σχήμα 10. Μετασχηματιστής δοκιμής. Τύπος TB 500-1

AC τάση, σύστημα δοκιμής, λογικό διάγραμμα

Αυτό το λογικό διάγραμμα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να δίνει περισσότερες πληροφορίες για το εσωτερικό του συστήματος. Όλες οι απαραίτητες συσκευές απεικονίζονται. Ωστόσο μερικές, μπορεί να έχουν παραληφθεί πράγμα που εξαρτάται ανάλογα την εφαρμογή.

Οι συνδέσεις που φαίνονται εδώ εξυπηρετούν την λειτουργία του συγκεκριμένου παραδείγματος, και δεν είναι οι ίδιες πάντοτε οι σχεδιάσεις των καλωδίων.

000 - Αντικείμενο υπό δομική

141 - Σφαιρικό διάκενο.

152 - Μετασχηματιστής δοκιμής

161 - Αντιδραστήρας αντιστάθμισης

162 - Φίλτρο

163 - Ρυθμιστικός μετασχηματιστής

164 - Διακόπτης κυκλώματος

165 - Χειριστήριο ελέγχου

171 - AC διαιρέτης τάσης

172 - AC βολτόμετρο μέγιστης τάσης

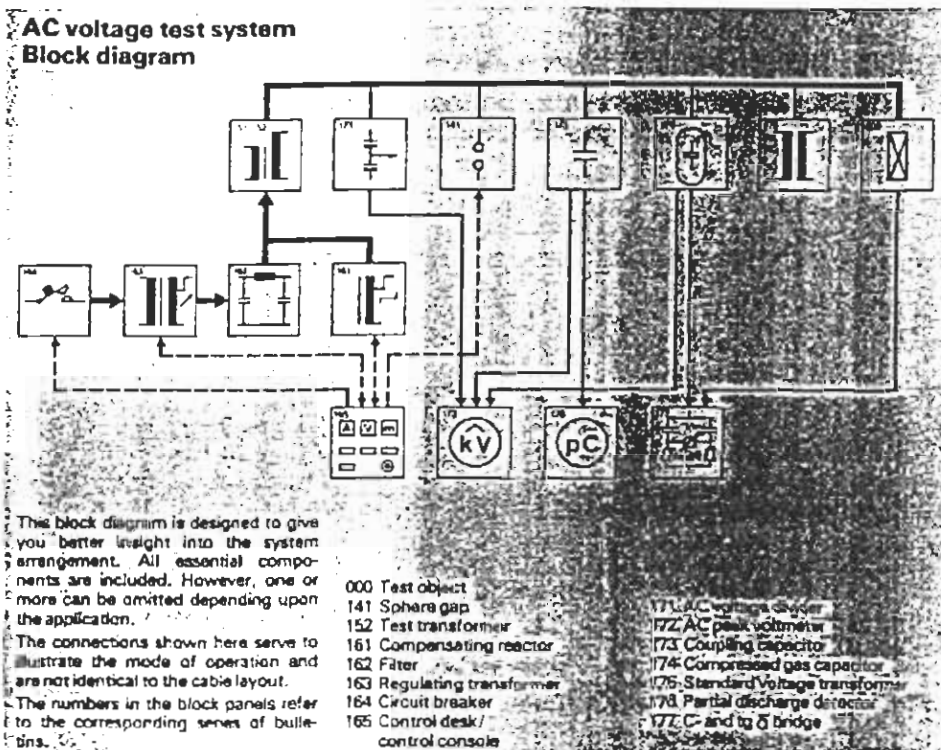
173 - Πυκνωτής σύζευξης

174 - Συμπιεσμένος πυκνωτής με διηλεκτρικό αέριο

175 - Κυρίως μετασχηματιστής τάσης

176 - Ανιχνευτής μερικής εκφόρτωσης

177 - Γέφυρα



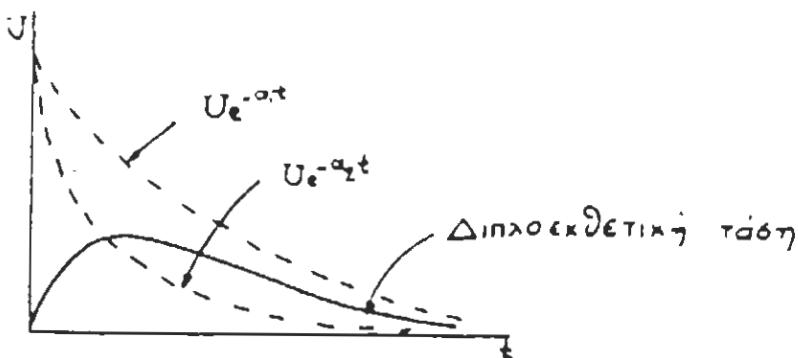
Κεφάλαιο 2

Γεννήτρια κρουστικής τάσης

Εισαγωγή - Κρουστικές τάσεις

Κάθε μονόφορη τάση με μικρή διάρκεια μπορεί να χαρακτηρισθεί σαν κρουστική τάση. Οι πιο ενδιαφέρουσες κρουστικές τάσεις είναι αυτές που παράγονται στα εργαστήρια με κρουστικές γεννήτριες για διηλεκτρική δοκιμές. Η μορφή των κρουστικών αυτών τάσεων πλησιάζει τη μορφή μιας διπλοεκθετικής τάσης που έχει αναλυτική έκφραση:

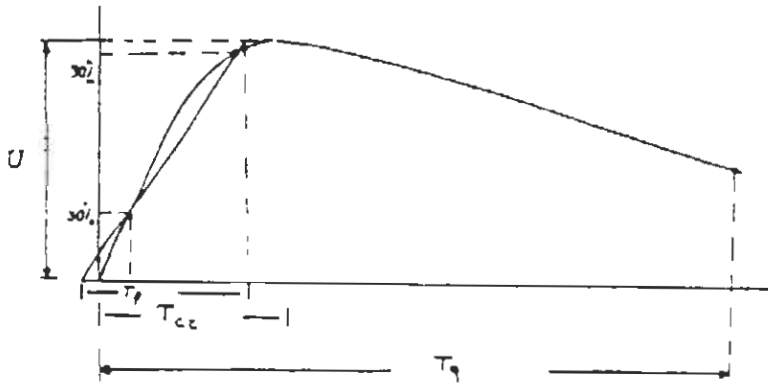
$$V(t) = U[e^{\alpha_1 t} + e^{\alpha_2 t}]$$



Σχήμα 1. Διπλοεκθετική κρουστική τάση

Μια διπλοεκθετική τάση, από την άποψη καταπόνησης των ηλεκτρικών μονώσεων χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες παραμέτρους (σχήμα 2)

- Εύρος, U
- Διάρκεια μετώπου T_f ή T_{ce}
- Διάρκεια ουράς, T_q



Σχήμα 2. Παράμετροι διπλοεκθετικής τάσης

Το ουσιαστικό χαρακτηριστικό του μετώπου μιας κρουστικής τάσης είναι όχι τόσο η διάρκεια αλλά η κλίση, δηλαδή πόσο γρήγορα η τάση παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή της. Η ουρά καθορίζεται με το χρόνο T_q που η τάση έχει τιμή μεγαλύτερη από το 50% του εύρους της, επειδή για την ανάπτυξη της διάσπασης συμβάλλει, συνήθως το μέρος εκείνο της τάσης που υπερβαίνει

μια ορισμένη τιμή. Επειδή το μέτωπο έχει κατά κανόνα πολύ μικρότερη διάρκεια από την ουρά, ο χρόνος T_q μετριέται από την αρχή της τάσης. Μία κρουστική τάση με μέτωπο T_{cr} και ουρά T_4 συμβολίζεται με T_{cr}/T_q [μs].

Οι κύριες ηλεκτρικές καταπονήσεις της μόνωσης ενός δικτύου προέρχονται από τρεις πηγές:

- την κανονική τάση λειτουργίας
- τις ατμοσφαιρικές υπερτάσεις
- τις υπερτάσεις χειρισμών

Για τον έλεγχο της μόνωσης σε ατμοσφαιρικές υπερτάσεις έχει τυποποιηθεί η κρουστική τάση με διάρκεια μετώπου $T_q = 1,2$ [μs] και διάρκεια ουράς $T_q = 50$ [μs].

Για τον έλεγχο σε υπερτάσεις χειρισμών δεν υπάρχει τυποποιημένη μορφή, γιατί η μορφή αυτή εξαρτάται από το μήκος του διακένου. Επειδή όμως τα διάκενα για υπερυψηλές τάσεις είναι ~ 5 [m] και για το μήκος αυτό το πιο χρήσιμο μέτωπο είναι γύρω στα 250 [μs], αναφέρεται συχνά σαν τυποποιημένη τάση χειρισμών η τάση με διάρκεια μετώπου $T_{cr} = 250$ [μs] και διάρκεια ουράς $T_q = 2500$ [μs].

Ισοδυναμία πραγματικών με εργαστηριακές κρουστικές καταπονήσεις

Οι ηλεκτρικές καταπονήσεις που εμφανίζονται στα δίκτυα από εσωτερικά ή ατμοσφαιρικά αίτια, έχουν συνήθως ανώμαλη μορφή ενώ ο έλεγχος των μονώσεων γίνεται με τις ομαλές διπλοεκθετικές τάσεις που παράγονται από τις κρουστικές γεννήτριες. Επειδή σκοπός των δοκιμών είναι ο έλεγχος της ικανότητας της μόνωσης να αντέχει τις πραγματικές καταπονήσεις, είναι απαραίτητη η γνώση της ισοδυναμίας μεταξύ πραγματικών και εργαστηριακών καταπονήσεων. Η ουσία της ισοδυναμίας αυτής είναι πως οι εργαστηριακές και οι πραγματικές καταπονήσεις δημιουργούν για την εξεταζόμενη μόνωση τον ίδιο κίνδυνο διάσπασης.

Για τις ατμοσφαιρικές υπερτάσεις (κεραυνών) έχει ορισθεί, σαν τάση δοκιμής η κρουστική 1,2/50 [μ s] γιατί η μέση τιμή πολλών καταγραφέντων ρευμάτων κεραυνού κατέληξε περίπου σε αυτή τη μορφή.

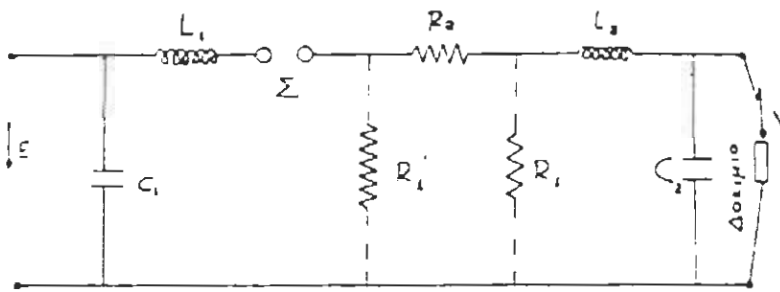
Για τις υπερτάσεις χειρισμών η ισοδυναμία γίνεται περισσότερο πολύπλοκη γιατί εκτός από την ανωμαλία της μορφής τους, απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στη σχεδίαση των μονώσεων για την αντοχή τους σε τέτοιες υπερτάσεις. Με δοκιμές έχουν καθορισθεί ορισμένες βασικές αρχές της ισοδυναμίας αυτής.

Κρουστικές γεννήτριες

Κρουστικές γεννήτριες κατασκευάζονται συνήθως πολυβάθμιες αλλά μπορούν και μονοβάθμιες

Η μονοβάθμια κρουστική γεννήτρια

Το κύκλωμα μιας μονοβάθμιας κρουστικής γεννήτριας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3. Κύκλωμα μονοβάθμιας κρουστικής γεννήτριας. (Η αντίσταση R_1 δείχνεται στις δύο πιθανές θέσεις, πλευρά γεννήτριας R_1 ή πλευρά φορτίου R_1). C_1 χωρητικότητα φόρτισης, C_2 χωρητικότητα μετώπου, L_1 εσωτερική αυτεπαγωγή, L_2 εξωτερική αυτεπαγωγή, R_1 αντίσταση ουράς, R_2 αντίσταση μετώπου

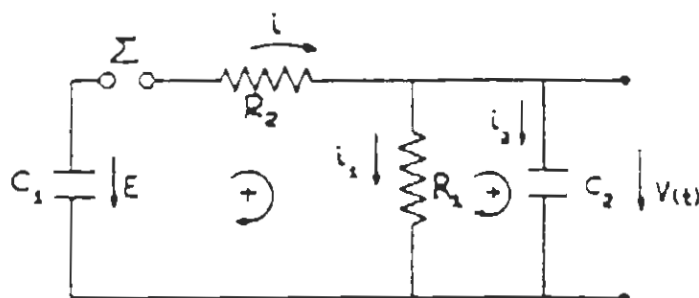
Για να λειτουργήσει η γεννήτρια χρειάζεται μία πηγή συνεχούς τάσης, E , με την οποία φορτίζεται ο πυκνωτής, C_1 . Όταν ο C_1 φορτισθεί στη τάση E , δημιουργείται ένας σπινθήρας στον σπινθηριστή Σ , συνήθως με την βοήθεια ενός *trigtron* που είναι

ενσωματωμένο σε μία από τις σφαίρες τον σπινθηριστή. Με τον σπινθήρα αυτό συνδέεται ο πυκνωτής C_1 , στο υπόλοιπο κύκλωμα. Επειδή η αντίσταση R_2 είναι κατά κανόνα πολύ μικρότερη από την R_1 ο πυκνωτής C_2 θα φορτισθεί, δια μέσω της R_2 με μία σταθερά χρόνου περίπου $R_2 C_2$. Κατά την διάρκεια της φόρτισης του C_2 σχηματίζεται το μέτωπο της κρουστικής τάσης και αυτό δικαιολογεί για τα R_2, C_2 ονόματα αντίσταση μετώπου και χωρητικότητα μετώπου.

Στη συνέχεια οι πυκνωτές C_1, C_2 εκφορτίζονται μέσω της αντίστασης R_1 με μία σταθερά χρόνου περίπου ίση με $(C_1+C_2)R_1$. Κατά την εκφόρτιση των δυο πυκνωτών σχηματίζεται η ουρά της κρουστικής τάσης. Επειδή συνήθως $C_1 \gg C_2$ και $R_1 \gg R_2$, η ουρά της κρουστικής τάσης διαρκεί πολύ περισσότερο από το μέτωπο. Η περιγραφή της γεννήτριας που έγινε πιο πάνω είναι πολύ απλουστευμένη. Κατ' αρχήν οι δυο φάσεις, φόρτιση του C_2 μέσω της R_2 και εκφόρτιση των C_1 και C_2 μέσω της R_1 αλληλοκαλύπτονται. Έπειτα αγνοήθηκε ο ρόλος των αυτεπαγωγών L_1 και L_2 που είναι σημαντικός (και ενοχλητικός). Οι αυτεπαγωγές L_1, L_2 δεν τοποθετούνται εσκεμμένα στη γεννήτρια αλλά είναι παράσιτες και κατά συνέπεια αναπόφευκτες. Η L_1 είναι αλληλένδετη με τα εσωτερικά στοιχεία της γεννήτριας και εξαρτάται από τη γεωμετρική διάταξη και τις διαστάσεις της γεννήτριας. Η L_2 περιλαμβάνει την αυτεπαγωγή του εξωτερικού κυκλώματος με το οποίο συνδέεται η γεννήτρια με το δοκίμιο και

εξαρτάται από το μήκος της διάταξης και την διατομή των αγωγών σύνδεσης. Επειδή η παρουσία των L_1 , L_2 είναι ενοχλητική για την λειτουργία του συστήματος καταβάλλεται προσπάθεια μείωσης τους με τη χρήση αγωγών σύνδεσης μεγάλης διατομής (συχνά ταινίες χαλκού) και με την κατασκευή των διαστάσεων, τόσο της γεννήτριας όσο και των εξωτερικών συνδέσεων όσο το δυνατόν μικρό.

Η αντίσταση ουράς R_1 μπορεί να τοποθετηθεί σε μία από τις δυο θέσεις που δείχνονται στο Σχ. 1, είτε προς την πλευρά της γεννήτριας είτε προς τη πλευρά του δοκιμίου.



Σχήμα 2. Απλουστευμένο κύκλωμα μονοβάθμιας κρουστικής γεννήτριας

Από τις σταθερές του κυκλώματος της γεννήτριας (Σχ. 1), οι τιμές των L_1 και C_2 είναι κατά προσέγγιση μόνο γνωστές. Το ίδιο ισχύει και για το L_2 . Ο λόγος είναι ότι τα μεν L_1 , L_2 είναι παράσιτες επαγωγές που μόνο κατά προσέγγιση μπορούν να εκτιμηθούν, το δε C_2 περιέχει και τις παράσιτες χωρητικότητες του δοκιμίου και του εξωτερικού κυκλώματος, που είναι επίσης άγνωστες. Έτσι η

προσφυγή σε ακριβείς αναλυτικές μεθόδους για τον καθορισμό της $V(t)$ είναι άσκοπη. Για τον λόγο αυτό γίνεται μία ακόμα απλοποίηση θεωρώντας κατ' αρχήν το κύκλωμα της γεννήτριας απαλλαγμένο από αυτεπαγωγές (Σχ. 2). Με την απλοποίηση αυτή όταν με το βραχυκύκλωμα τον σπινθηριστή ο πυκνωτής C_1 , φορτισμένος στη τάση E , εκφορτιστεί μέσα στο κύκλωμα των R_1 , R_2 , C_2 , θα ισχύουν οι σχέσεις:

$$\frac{I}{C_1} \int i dt + iR_2 + i_1 R_1 = E$$

$$-L_1 R_1 + \frac{I}{C_2} \int i_2 dt = 0$$

$$i = i_1 + i_2 \quad (1)$$

από την επίλυσή τους και την σχέση $V(t) = i_1 R_1$ προκύπτει:

$$V(t) = \frac{E}{R_2 C_2 (\alpha_2 - \alpha_1)} [e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}] \quad (2)$$

με

$$\alpha_{1,2} = \frac{-(C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_1) \pm \sqrt{(C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_1)^2 - 4C_1 C_2 R_1 R_2}}{2C_1 C_2 R_1 R_2}$$

από τη σχέση (2.2) φαίνεται πως η τάση που παράγεται από μία κρουστική γεννήτρια έχει (κατά προσέγγιση) διπλοεκθετική μορφή. Από τη σχέση $dV(t)/dt=0$ προκύπτει ο χρόνος t_1 , στον οποίο το $V(t)$ γίνεται μέγιστο. Ο χρόνος αυτός είναι:

$$t_1 = \frac{\ln(a_2/a_1)}{a_2 - a_1} \quad (3)$$

και δίνει (κατά προσέγγιση) τη πραγματική διάρκεια του μετώπου της τάσης. Αν η τιμή t_1 αντικατασταθεί στη σχέση (2), προκύπτει το V_{max} και έτσι καθορίζεται ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας από τη σχέση:

$$n = \frac{V_{max}}{E} = \frac{e^{-a_1 t_1} - e^{-a_2 t_1}}{R_2 C_2 (a_2 - a_1)} \quad (4)$$

Είναι γενικά επιθυμητό, η κρουστική τάση που παράγεται από μία κρουστική γεννήτρια να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο τη διπλοεκθετική μορφή και να μην περιέχει ταλαντώσεις και κυρίως στο μέτωπο της ή κοντά στη κορυφή της. Αιτία τέτοιων ταλαντώσεων είναι η παρουσία των αντεπαγωγών L_1 , L_2 που στη διατύπωση της σχέσης (2) παραλείφθηκαν. Επειδή ο καθορισμός της τάσης $V(t)$ είναι πολύπλοκος όταν ληφθούν υπ' όψη τα L_1 , L_2 , μπορούν να καθορισθούν κατά προσέγγιση οι συνθήκες για αποφυγή ταλαντώσεων. Αυτές είναι:

$$R_2 \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

όπου

$$L=L_1+L_2 \text{ και } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Από πρακτικές παρατηρήσεις συμπεραίνονται τα εξής:

– Ο χρόνος μετώπου είναι:

$$T_1 \cong 2 \div 3 R_2 C_2 \quad (6)$$

– Ο χρόνος ουράς είναι:

$$T_2 \cong 0,7 R_1 C_1 \quad (7)$$

– Ο βαθμός απόδοσης της κρουστικής γεννήτριας, όταν η F βρίσκεται προς την πλευρά της γεννήτριας (επειδή δεν διαρρέει ρεύμα την R_2) είναι:

$$\frac{V}{E} = n \cong \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (8)$$

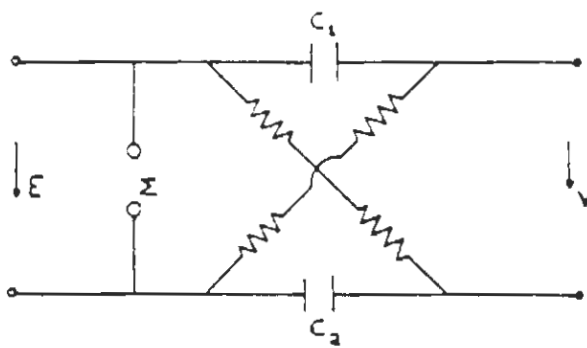
– Ο βαθμός απόδοσης της κρουστικής γεννήτριας όταν η R βρίσκεται στη πλευρά τον φορτίου είναι:

$$n \cong \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (9)$$

Από τις σχέσεις 8 και 9 φαίνεται ότι όσο πιο μεγάλη είναι η χωρητικότητα C_1 τόσο στοιβαρότερη γίνεται η γεννήτρια από πλευράς βαθμού απόδοσης. Μία γεννήτρια χαρακτηρίζεται εκτός από την τάση φόρτισης E (σε [kV]) και από την ενέργεια $1/2C_1 E^2$ (σε [kWs]).

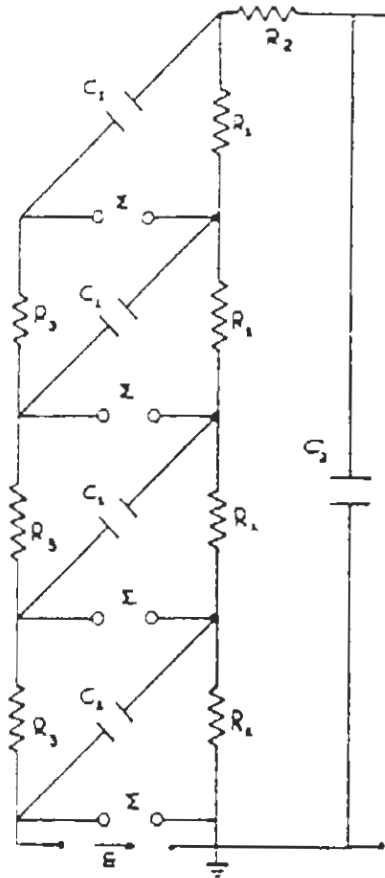
Πολυβάθμιες κρουστικές γεννήτριες

Η πολυβάθμια κρουστική γεννήτρια βασίζεται στην αρχή πως περισσότεροι από έναν πυκνωτές μπορούν να φορτιστούν σε παράλληλη σύνδεση και να εκφορτισθούν αφού συνδεθούν σε σειρά. Ο πρώτος που χρησιμοποίησε αυτή την αρχή ήταν ο καθηγητής Erwin Marx. Το αρχικό κύκλωμα τον Marx φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχήμα 3. Αρχικό κύκλωμα Marx για διπλασιασμό της τάσης

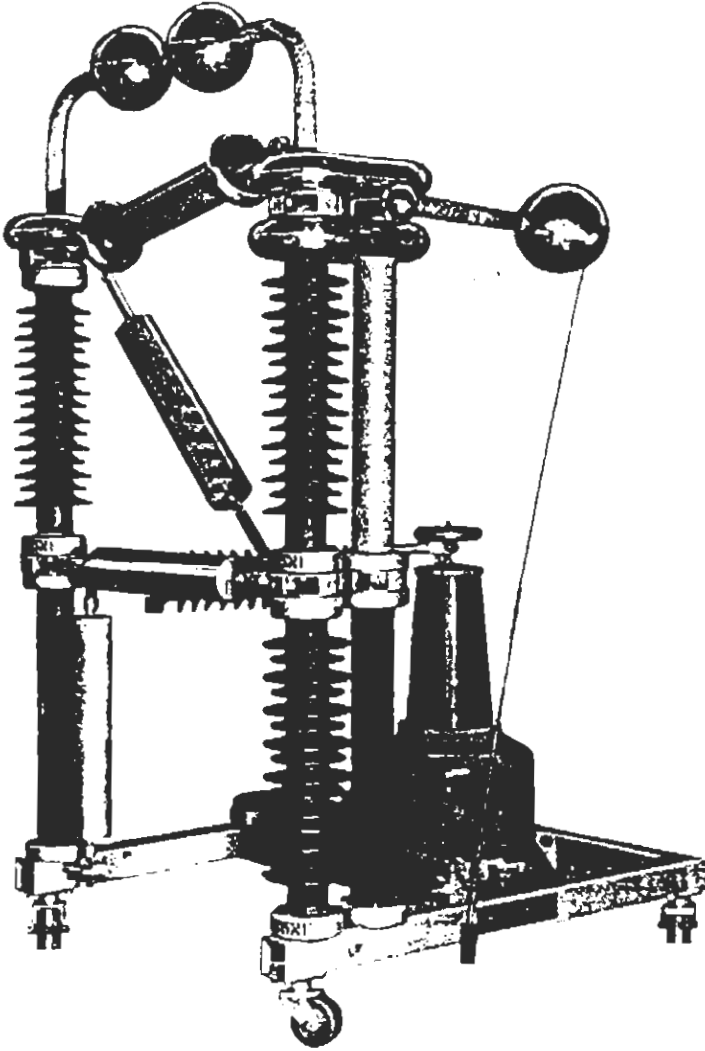
Η τάση φόρτισης E εφαρμόζεται ταυτόχρονα και στους δυο πυκνωτές C_1, C_2 που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα. Όταν ο σπινθηριστής Σ βραχυκυκλωθεί οι δυο πυκνωτές συνδέονται σε σειρά και οι τάσεις τους αθροίζονται. Έτσι στην έξοδο B_1, B_2 της γεννήτριας εμφανίζεται τάση $V \cong 2E$. Από το αρχικό αυτό κύκλωμα διπλασιασμού της τάσης του Σχ.3 μέχρι το κύκλωμα μιας σύγχρονης κρουστικής γεννήτριας που φαίνεται στο Σχ. 5 μεσολάβησαν πολλά στάδια.



Σχήμα 4. Συνδεσμολογία πολυβάθμιας κρουστικής γεννήτριας

Στο σχήμα 4 οι πυκνωτές C_1 φορτίζονται παράλληλα όλοι με τη τάση E . Στη φάση φόρτισης των πυκνωτών, οι αντιστάσεις R_1 μαζί με τις R_3 χρησιμεύουν για να περιορίσουν το ρεύμα φόρτισης και επομένως την απαιτούμενη ισχύ του φορτιστή συνεχούς τάσης. Όταν οι σπινθηριστές Σ βραχυκυκλωθούν, όλοι οι πυκνωτές συνδέονται σε σειρά. Μέσα από το κύκλωμα που σχηματίζεται από τους πυκνωτές C_1 συνδεδεμένους σε σειρά με την R_2 , ρέει το ρεύμα που φορτίζει τον πυκνωτή C_2 . Η σταθερά φόρτισης του C_2 θα είναι περίπου ίση με $C_2 R_2$. Οι πυκνωτές C_1 συνδεδεμένοι σε σειρά σχηματίζουν την χωρητικότητα φόρτισης. Η συνολική χωρητικότητα φόρτισης κατά την λειτουργία της γεννήτριας θα είναι $C_{1/\eta}$ όπου η ο αριθμός των πυκνωτών που συνδέονται σε σειρά. Κάθε ένα από τα επιμέρους κυκλώματα, που σχηματίζονται από ένα πυκνωτή C_1 , μία αντίσταση R_1 και ένα σπινθηριστή Σ , αποτελούν μία βαθμίδα της πολυβάθμιας κρουστικής γεννήτριας.

Τεχνικό φυλλάδιο κρουστικής γεννήτριας



Σχήμα 5. DC. Σύστημα δοκιμής 400 [kV]

Εφαρμογές

Το Haefely Multi Test Set είναι ένα ευέλικτο σύστημα με τμηματικά εξαρτήματα παγκοσμίως ανταλλάξιμα τα οποία συναρμολογούνται για όλους τους κύριους τύπους τάσεων:

- AC τάση 50/60 [Hz] μέχρι και 80 [kV] R.M.S.
- DC τάση μέχρι και 400 [kV]
- Κρουστική τάση μέχρι και 400 [kV]

Βιομηχανικές εφαρμογές

Βιομηχανικές δοκιμές σε μονωτήρες, μονώσεις, πυκνωτές, συστήματα διακοπών για σταθμό μετασχηματισμού, μετασχηματιστές οργάνου, καλώδια και σε μετασχηματιστές διανομής.

Δοκιμές σε μονωτικά υλικά και εξαρτήματα με AC, DC και κρουστική τάση

Ωφέλιμες εφαρμογές

Δοκιμές πεδίων από καλώδια και τελείως συναρμολογουμένων διακοπών.

Δοκιμές συντηρήσεων για εγκατεστημένα συστήματα

Εκπαιδευτικές και ερευνητικές εφαρμογές

Επίδειξη με AC, DC και κρουστικές τάσεις

Παραγωγή και μέτρηση συστήματα υψηλών τάσεων. Εκπαίδευση στο εργαστήριο πάνω σε τεχνολογία υψηλών τάσεων. Εμπειρίες πάνω σε μονωτήρες και σε ειδικά διαμορφωμένα ηλεκτρόδια.

Κεφάλαιο 3

Κρουστικές γεννήτριες ρεύματος

Γενικά-Εξομοίωση ρεύματος κεραυνού

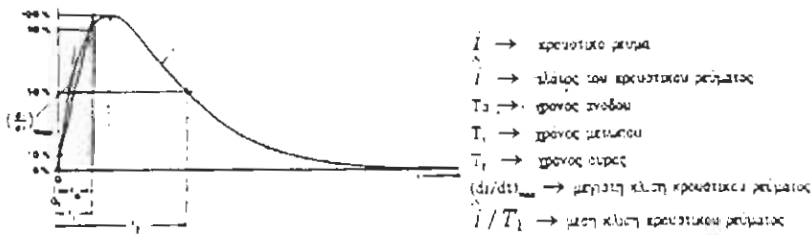
Ο κεραυνός είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και η πιστή αναπαραγωγή του στο εργαστήριο είναι πολύ δύσκολη και δαπανηρή. Εκείνο που ενδιαφέρει είναι ο καλύτερος, όσο το δυνατόν, προσδιορισμός των συνιστωσών του πλήγματος του κεραυνού και των παραμέτρων που αντιπροσωπεύουν κάθε μια συνιστώσα.

Η εξομοίωση κάθε συνιστώσας του πλήγματος του κεραυνού χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- το εύρος του ρεύματος
- την μέγιστη κλίση του μετώπου
- την ειδική ενέργεια $SE = \int i^2 dt$ και
- το φορτίο που μεταφέρεται $\int i dt$

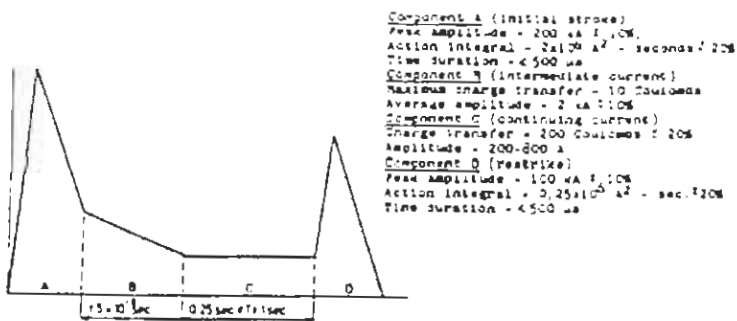
Κάθε μία από τις παραμέτρους είναι υπεύθυνη για συγκεκριμένες συνέπειες του πλήγματος σε μια εγκατάσταση, γι' αυτό και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν εξομοιώνεται το ρεύμα του κεραυνού στο εργαστήριο. Οι περισσότερες απ' αυτές τις παραμέτρους

εξομοιώνονται κάθε μία χωριστά, σχετικά εύκολα με κρουστικές γεννήτριες, αλλά η εξομοίωση της πλήρους διαδικασίας του πλήγματος είναι πιο δύσκολη υπόθεση και απαιτεί εκτεταμένες και δαπανηρές εγκαταστάσεις. Ο ορισμός των παραμέτρων του κρουστικού ρεύματος γίνεται με τη βοήθεια του σχήματος (1)



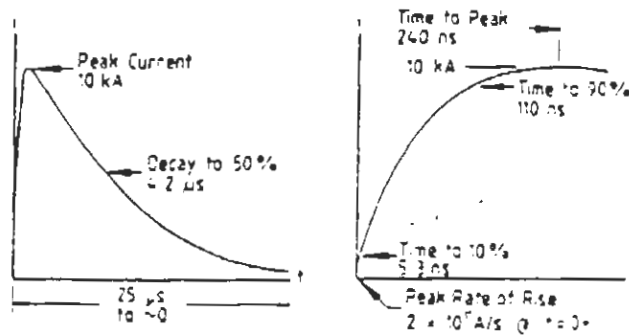
Σχήμα 1: Ορισμός κρουστικού ρεύματος

Οι συνέπειες του πλήγματος του κεραυνού μπορούν να χωρισθούν σε άμεσες και έμμεσες. Η εξομοίωση του ρεύματος του κεραυνού για τις άμεσες συνέπειες φαίνεται στο σχήμα (2)



Σχήμα 2: Κυματομορφές ρεύματος κεραυνού για εξομοίωση επιδράσεων από άμεσα πλήγματα

Οι κυματομορφές του Σχ.2 είναι κατάλληλες για εξομοίωση του ρεύματος του κεραυνού για θέματα πιστοποίησης και ελέγχου των συνεπειών από άμεσα πλήγματα κεραυνών.



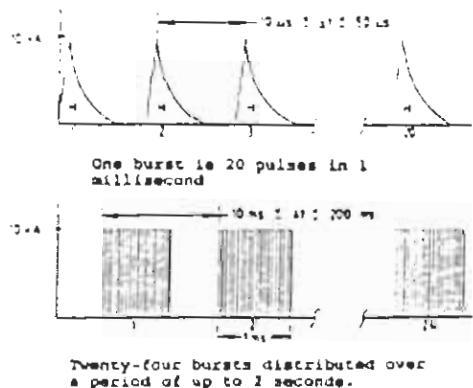
Σχήμα 3: Κυματομορφή για εξομοίωση έμμεσων επιδράσεων από πλήγματα κεραυνών

Η κυματομορφή του Σχ. 3 είναι κατάλληλη για την εξομοίωση των επιδράσεων των κεραυνών και των αστραπών στις εγκαταστάσεις που οφείλονται στη μεγάλη κλίση di/dt , του μετώπου του ρεύματος.

Οι προαναφερθείσες κυματομορφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για δοκιμές στο εργαστήριο και για αναλυτικούς υπολογισμούς, λαμβάνονται δε υπόψη με τις στατιστικές τιμές των παραμέτρων τους (εύρος ρεύματος-SE-φορτίο- di/dt) ώστε να καλύπτουν τους παρατηρηθέντες κεραυνούς με πιθανότητα 99%. Αυτές οι τρεις παράμετροι είναι υπεύθυνες για τις άμεσες συνέπειες. Η μέγιστη κλίση που εμφανίζεται ~ 200

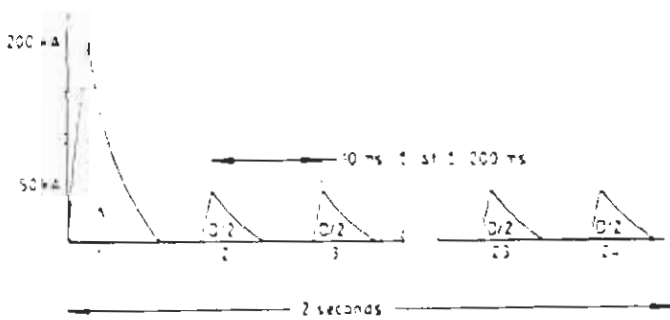
[kA/ μ S], είναι δύσκολο να επιτευχθεί και για $I_{max}=100$ [kA] (λόγοι οικονομικοί και τεχνικοί). Αν θεωρηθεί ότι είναι γραμμική η συμπεριφορά όσον αφορά την μαγνητική ζεύξη, αυτή η δυσκολία μπορεί να παρακαμφθεί κάνοντας δοκιμές με το $di/dt= 200$ [kA/ μ S] και χρησιμοποιώντας μικρότερες τιμές I_{max} του ρεύματος.

Μία άλλη κυματομορφή ρεύματος είναι η συνιστώσα H (Σχ.3), η οποία εμφανίζει παλμούς με μεγάλη μετώπου αλλά με διάρκεια και εύρος αρκετά μικρά (25 [μ A], 10 [kA]). Τέτοιοι παλμοί παρατηρήθηκαν τυχαία διασπαρμένοι κατά την διάρκεια των άλλων συνιστωσών. Παρόλο που αυτοί οι παλμοί δεν είναι ικανοί να δημιουργήσουν φυσικές καταστροφές των διατάξεων, είναι επικίνδυνοι για τις ηλεκτρονικές διατάξεις. Η εξομοίωση αυτής της συνιστώσας γίνεται 24 ακολουθίες παλμών, των 20 παλμών η κάθε μια, κατανεμημένες σε χρονική περίοδο 1-2 [s] όπως φαίνεται στο Σχ.4. Ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ των ενάρξεων δύο διαδοχικών ακολουθιών πρέπει να είναι 10-50 [μ s] (Σχ.4)



Σχήμα 4: Εξομοίωση της ακολουθίας παλμών τύπου συνιστώσας H

Ένας τυπικός κεραυνός περιέχει περισσότερα από ένα ακόλουθα πλήγματα, μια αυστηρή εκδοχή των οποίων αντιπροσωπεύεται από την συνιστώσα D. Στην πραγματικότητα οι κεραυνοί εμφανίζουν μέχρι και 24 ακόλουθα πλήγματα τυχαία κατανομημένα σ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου. Για τον σχεδιασμό της προστασίας μιας εγκατάστασης έναντι άμεσων συνεπειών είναι επαρκές να θεωρηθεί ένα πρώτο πλήγμα (A) και ένα ακόλουθο πλήγμα (D). Για τον σχεδιασμό της προστασίας μιας εγκατάστασης έναντι έμμεσων συνεπειών είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη μια εξομοίωση του φαινομένου που να περιλαμβάνει όλες τις προαναφερθείσες συνιστώσες, επειδή η πολλαπλή φύση του φαινομένου μπορεί να επάγει μια σειρά διαδοχικών παλμών στις εγκαταστάσεις, που θα έχει σαν αποτέλεσμα απώλεια πληροφοριών σε ηλεκτρονικά συστήματα και κυματομορφή ευαίσθητων συστημάτων ή συσκευών. Μία εξομοίωση ενός πολλαπλού πλήγματος φαίνεται στο Σχ.5



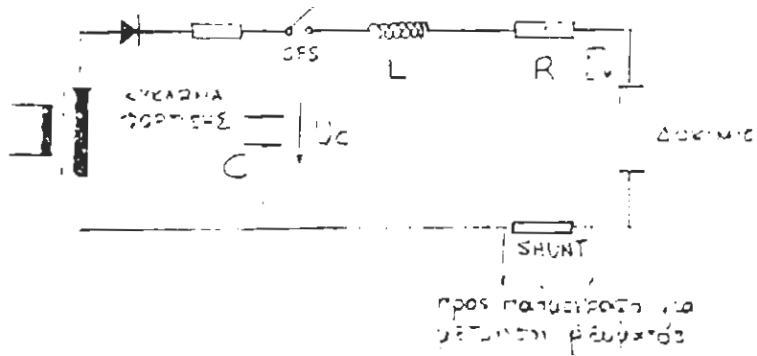
Σχήμα 5: Εξομοίωση πολλαπλού πλήγματος για υπολογισμό άμεσων και έμμεσων συνεπειών

Οι διαφορετικές μορφές των συνιστωσών του ρεύματος A, B, C και D απαιτούν και διαφορετικά κυκλώματα δοκιμών. Παρόλα αυτά, όλα τα κυκλώματα βασίζονται στην αρχή μιας σχετικά αργής αποθήκευσης ενέργειας και μιας ταχείας εκφόρτισης. Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευθεί είτε σε χωρητικότητες είτε σε αυτεπαγωγές. Η επιλογή της διάταξης αποθήκευσης εξαρτάται από την απαιτούμενη μορφή του παλμού, την αντίδραση του δοκιμίου και το μήκος του τόξου. Φυσικά το οικονομικό στοιχείο είναι σοβαρότατος παράγοντας.

Από διάφορους ερευνητές έχουν προταθεί και κατασκευασθεί κυκλώματα ώστε να εξομοιώνεται ένα πολλαπλό πλήγμα ενός κεραυνού. Πριν την παράθεση αυτών των κυκλωμάτων, θα παρουσιασθεί ένα απλό κύκλωμα παραγωγής κρουστικού ρεύματος.

Βασικό κύκλωμα γεννήτριας κρουστικού ρεύματος

Το σχήμα 6 δείχνει τη βασική συνδεσμολογία ενός κυκλώματος C-L-R με το κύκλωμα φόρτισης. Οι γεννήτριες κρουστικού ρεύματος χαρακτηρίζονται συνήθως από την τάση φόρτισης, U_c και την αποθηκευμένη ενέργεια $W=1/2CU_c^2$.



Σχήμα 6. Διάταξη παραγωγής κρουστικού ρεύματος

Η διαφορική εξίσωση για το κύκλωμα του σχήματος 6 είναι:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot i = 0$$

και για

$$t=0, i=0, \frac{di}{dt} = \frac{U_c}{L}$$

όπου: C: χωρητικότητα φόρτισης

i: κρουστικά ρεύματα

L: επαγωγή

R: αντίσταση

t: χρόνος

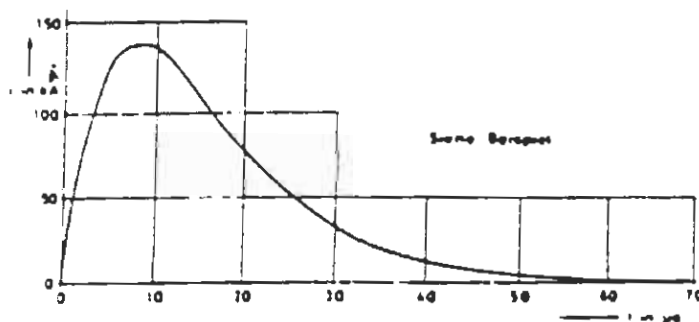
U_c : τάση φόρτισης

Ανάλογα με τις παραμέτρους του κυκλώματος προκύπτει η επιθυμητή μορφή του κρουστικού ρεύματος.

Παράδειγμα 1

Για το κύκλωμα του σχήματος 6 όταν $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ προκύπτει:

$$\frac{T1}{T2} = 0,263$$



Σχήμα 7. Κρουστικό ρεύμα $\approx 8/20$ [μs]

Για το ρεύμα ισχύει:

$$i = i_0 e^{-t/\tau}$$

όπου

$$L_0 = \frac{Uc}{L}, \tau = \frac{2L}{R}$$

Το μέγιστο συμβαίνει για $t=\tau$ και

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\max} = \frac{Uc}{L}$$

Για το φορτίο ισχύει

$$Q = \int_0^{\infty} i dt = Uc \cdot C$$

Για την ειδική ενέργεια

$$SE = \int_0^{\infty} i^2 dt = \frac{Uc^2 C}{4} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

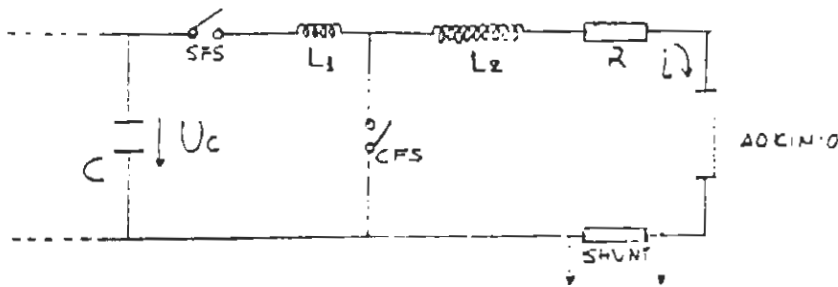
για $C=30$ [μF], $L=2,1$ [μH], $R=0,529$ [Ω] και $Uc=100$ [kV]

προκύπτει $\tau=7,94$ [μs] και $\hat{i}=139$ [kA].

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\max} = 47,6 [\text{kA}/\mu\text{s}], Q = 3 [\text{As}], \int_0^{\infty} i^2 dt = 283 \cdot 10^3 [\text{A}^2\text{s}]$$

Παράδειγμα 2

Με τη εγκατάσταση μιας επιπλέον συνδεσμολογίας σπινθηριστή (CFS) στο κύκλωμα C-L-R μπορούν να επιτευχθούν ειδικές μορφές ρεύματος. Σε τέτοια κυκλώματα (σχ. 8) χωρίζεται η επαγωγή L σε δύο L_1 , L_2 με $L_1 \gg L_2$. Με πολύ μικρή τιμή της αντίστασης R (σχ. 8) μπορούν να παραχθούν κρουστικά ρεύματα μακράς διάρκειας, με σημαντική αυξημένα φορτία και ειδική ενέργεια αν η CFS κλείσει τη χρονική στιγμή που η $U_c=0$.



Σχήμα 8. Γεννήτρια κρουστικού ρεύματος με CFS

Το Σχ. 9 δείχνει το παραγόμενο ρεύμα από την διάταξη του σχημ.

8. Για το $i(t)$ ισχύει:

$$i = i_0 \sin \omega t \text{ για } 0 \leq t \leq \frac{\pi}{2\omega}$$

όπου

$$L_0 = \frac{U_C}{\omega(L_1 + L_2)} \text{ και } \omega = \sqrt{\frac{I}{C(L_1 + L_2)}}$$

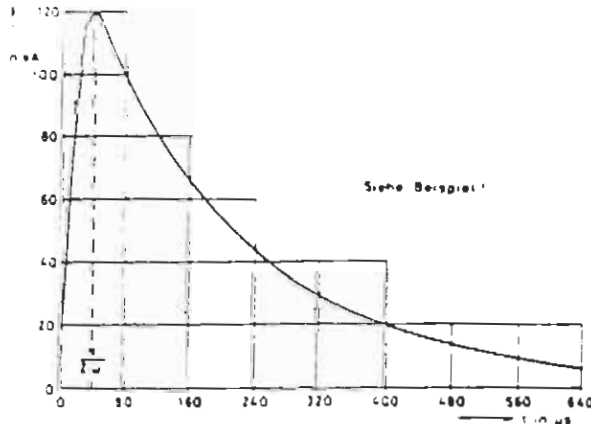
$$\text{και } i = i_0 e^{-t/\tau} \text{ για } t \geq \frac{\pi}{2\omega} \text{ με } \tau = \frac{L_2}{R}$$

$$\text{και } \left(\frac{di}{dt}\right)_{\max} = \frac{U_L}{L_1 + L_2} \text{ και } Q = \int_0^{\infty} i dt = U_L \cdot C + i_0 \cdot \tau$$

και

$$SE = \int_0^{\infty} i^2 dt = i_0^2 \left(\frac{\pi}{4\omega} + \frac{\tau}{2} \right)$$

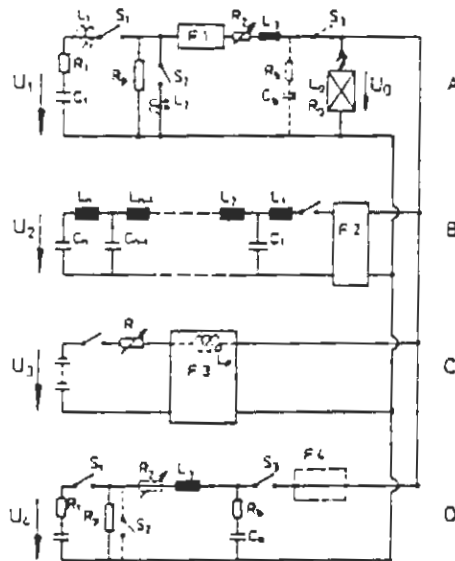
αν $C=30$ [μF], $L_2=20$ [μF], $R=100$ [$\text{m}\Omega$] και $U_L=100$ [kV] τότε προκύπτει $T_1=40$ [μs], $T_2=140$ [μs], $i_0=120$ [kA], $(di/dt)_{\max}=4,76$ [$\text{kA}/\mu\text{s}$], $Q=27$ [As], $SE=1,7210^6$ [A^2s]



Σχήμα 9. Κρουστικό ρεύμα ~40/140 [μs]

Κυκλώματα εξομοίωσης κρουστικού ρεύματος κεραυνού

Όπως προαναφέρθηκε η μορφή του ρεύματος του κεραυνού εξομοιώνεται, με αυτή του σχ. 2 Στο σχ. 10 παρουσιάζονται σχηματικά τα κυκλώματα για την παραγωγή των συνιστωσών A, B, C, D.



Σχήμα 10. Κυκλώματα για εξομοίωση των συνιστωσών του ρεύματος του κεραυνού όπως φαίνεται στο σχήμα 2

Κύκλωμα για την συνιστώσα A

Η συνιστώσα A είναι ένας πολύ γρήγορα αναρχόμενος παλμός με σχετικά αργή μείωση. Αυτό απαιτεί μια συνδυασμένη χωρητική και

επαγωγική αποθήκευση ενέργειας. Το μεγάλο εύρος των 200 [kA] επιτυγχάνεται σε περίπου 7 [μs] με την εκφόρτιση των πυκνωτών C_1 μέσω του διακόπτη S_1 (σχήμα 10A) στο δοκίμιο (R_o , L_o). Την κατάλληλη χρονική στιγμή ο διακόπτης S_2 κλείνει, ώστε να κλείσει το κύκλωμα S_2 - L_3 - L_o . Οι επαγωγές L_3 και L_o αποθηκεύουν ενέργεια. Λόγω της μεγάλης σχετικά χρονικής σταθεράς:

$$T = \frac{L_b}{(R_2 + R_o + R_{F1})}$$

όπου: $L_b = L_2 + L_3 + L_o$ το φορτίο

$$Q = \int i dt$$

καθώς και η

$$SE = \int i^2 dt$$

μπορούν να αυξηθούν αντιστοίχως.

Εξαιτίας της πολύ μικρής ταλάντωσης του κυρίου κυκλώματος C_1 , L_3 , L_o , το φορτίο

$$Q = U_1 \frac{\sqrt{L_a C}}{(R_2 + R_o + R_{F1})}$$

που αποδίδεται, αντιστοιχεί σε πολλαπλάσιο του C_1U_1 (L_α η απεπαγωγή του κυρίου κυκλώματος $L_\alpha=L_1+L_3+L_0$). Ομοίως η ειδική ενέργεια

$$SE = \frac{U_1^2 C_1 L_b}{2L_0} (R_2 + R_0 + R_{F1})$$

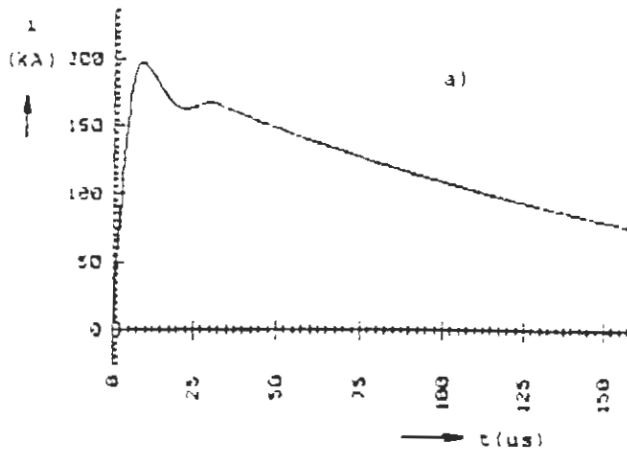
είναι μεγαλύτερη όταν υπάρχει ο διακόπτης S_2 , παρά όταν δεν υπάρχει π.χ. $SE=U_1^2 C_1/2R_\alpha$, όπου ($R_\alpha=R_1+R_2+R_{F1}+R_0$). Αν απαιτείται μια αύξηση, της κλίσης, π.χ. 100 [kA/μs] μπορεί να προστεθεί ένα βοηθητικό κύκλωμα R_b , C_b , S_3 (Σχ. 1). Για δοκίμια με σχετικά μεγάλη επαγωγή, για να παραχθεί η συγκεκριμένη μορφή παλμού, απαιτείται αντιστοίχως μια μεγάλη τάση φόρτισης U_1 . Αυτό προκύπτει από την συνθήκη της μέγιστης δυνατής κλίσης που μπορεί να παραχθεί και είναι:

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\max} = \frac{U_1}{L_1 + L_2 + L_0} = 140 [kA/\mu A]$$

Αν υποθεθεί $L_0= 10$ [μH] και $L_1+L_2= 4$ [μH] (Σχ. 10) τότε απαιτείται $U_1 \approx 2$ [MV].

Μια λιγότερο δύσκολη απαίτηση είναι ο χρόνος μετώπου, ο οποίος δίνεται 6,4 [μs]. Σ' αυτή την περίπτωση η απαιτούμενη τάση φόρτισης μειώνεται αντίστοιχα σε 600 [kV] και η ενέργεια της γεννήτριας σε 360 [kJ]. Πιο εύκολο είναι να ικανοποιηθούν μόνο οι απαιτήσεις για δυο παραμέτρους, δηλ. $I_{\text{peak}}= 200$ [kA] και ειδική

ενέργεια $S_1 E = 2 \cdot 10^6 [A^2 S]$. Αμέσως μετά το κλείσιμο του διακόπτη S_1 , μια τάση με απότομη κλίση και εύρος $U_0 = U_1 L_0 / (L_1 + L_3 + L_0)$ φθάνει στο δοκίμιο L_0 . Για $L_0 > L_1 + L_3$ αυτή γίνεται τόσο υψηλή που είναι πιθανή μια καταστροφή των κυκλωμάτων Β και C (σχ. 10). Γι αυτό το λόγο αυτά τα κυκλώματα προστατεύονται με Low-pass φίλτρα F_2 και F_3 . Επιπλέον, ίσως να είναι απαραίτητο να προστατευθεί ο διακόπτης S_2 , από υπέρρευμα λόγω της συνιστώσας Β και σε μερικές περιπτώσεις λόγω της συνιστώσας C, χρησιμοποιώντας το στοιχείο προστασίας F_1 (σχ. 10Α). Στο σχήμα 11 φαίνεται η υπολογισθείσα κυματομορφή της συνιστώσας Α.



Σχήμα 11. Υπολογισθείσα κυματομορφή συνιστώσας Α

Κυκλώματα για την συνιστώσα Β

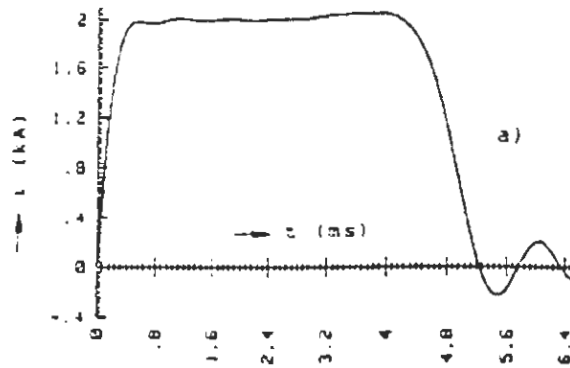
Ο παλμός Β, συγκρινόμενος με τον παλμό Α, έχει πολύ μικρότερο εύρος και πολύ μεγαλύτερη διάρκεια. Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος παραγωγής της συνιστώσας Β φαίνεται στο κύκλωμα του σχήματος 10Β. Μια τέτοια γεννήτρια μπορεί να παράγει ικανοποιητική κλίση μετώπου (n φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι ένα απλό κύκλωμα, n= αριθμός των στοιχείων), έτσι το πλήρες φορτίο ρέει στο δοκίμιο μέσα στο προβλεπόμενο χρόνο και με σχεδόν σταθερή πυκνότητα ρεύματος. Η προστασία του κυκλώματος Β από την τάση U_0 γίνεται μέσω του φίλτρου F_2 . Η διάρκεια του παλμού είναι:

$$TD \approx 2 \left(n + 1 \cdot \sqrt{\frac{LC}{n}} \right)$$

όπου L και C είναι η ολική επαγωγή και χωρητικότητα, n ο αριθμός των βαθμίδων της γεννήτριας. Το φορτίο είναι $Q=CU$ και το ρεύμα

$$I = \frac{U}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Στο σχήμα 12 φαίνεται η υπολογισθείσα κυματομορφή της συνιστώσας Β.



Σχήμα 11. Υπολογισθείσα κυματομορφή συνιστώσας R

Κύκλωμα για την συνιστώσα C

Μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία είναι επαρκής πηγή για την συνιστώσα C του ρεύματος. Πρέπει να θεωρηθεί ότι η τάση της μπαταρίας είναι αρκετά μεγάλη για να καλύψει όλες τις πτώσεις τάσης συμπεριλαμβανόμενης της τάσης του τόξου. Είναι απαραίτητη μια μπαταρία ~1000 [V], ώστε να μπορεί να διατηρήσει ένα τόξο 50 [mm]. Το κύκλωμα του ρεύματος είναι σχετικά απλό.

Για μεγαλύτερα μήκη τόξου, το τσοκ στο F_3 (σχήμα 10γ) μπορεί να σχεδιασθεί σαν πηνίο αποθήκευσης. Σ' αυτή την περίπτωση το κύκλωμα πρέπει να εφοδιαστεί με επιπλέον στοιχεία όπως διακόπτη έναρξης, διακοπτική δίοδο κλπ. Το πηνίο αποθήκευσης μπορεί να δουλέψει σαν μια πηγή σταθερού ρεύματος με το πλεονέκτημα ότι η παραγόμενη τάση προσαρμόζεται ταχέως στη τάση του τόκου. Το πηνίο στο F_3 αποτελεί ταυτόχρονα και το

βασικό στοιχείο προστασίας έναντι της υψηλής τάσης U_0 . Όταν χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί ισχύος (θυρίστορες, GTO's κλπ). Είναι πιθανόν να δημιουργηθούν παλμοί ρεύματος με διάρκεια από μερικές δεκάδες ms έως 1 [s].

Κύκλωμα για την συνιστώσα D

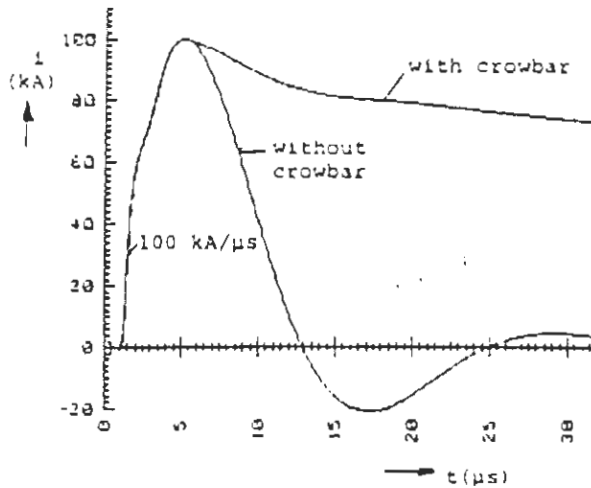
Για την συνιστώσα D, απαιτείται μια μέση κλίση 100 [kA/μs], αλλά αυτή η κλίση πρέπει να διατηρηθεί για περίπου $\leq 0,25$ [μs]. Για να διατηρηθεί αυτή η κλίση σ' ένα δοκίμιο με επαγωγή 10 [μH] και μια αυτεπαγωγή της γεννήτριας περίπου 4 [μH/MV], θα χρειαστεί μια γεννήτρια ~2 [MV]. Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, αυτή η ακριβή λύση παρακάμπτεται χρησιμοποιώντας ένα κύκλωμα reaking. Το χαμηλής ενέργειας reaking κύκλωμα δημιουργεί την απαραίτητη κλίση για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ το κυρίως ρεύμα των 100 [kA] παράγεται από το βασικό κύκλωμα C₁-L₀.

Εάν απαιτείται μια μη περιοδική κυματομορφή και ειδική ενέργεια

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 0,25 \cdot 10^6 [A^2 s]$$

αυτό επιτυγχάνεται, όπως και για τη συνιστώσα A, με τη χρήση ενός crowbar διακόπτη (Σχ. 10 D). Η συνιστώσα D μπορεί να παραχθεί με την μισή γεννήτρια που παράγει την συνιστώσα A, μιας και η κυματομορφή D δεν χρειάζεται να εφαρμοσθεί αμέσως

μετά τις άλλες συνιστώσες. Το σχήμα 13 παρουσιάζει την υπολογισθείσα κυματομορφή για την συνιστώσα D.



Σχήμα 13. Κυματομορφή D με $di/dt = 100 \text{ [kA/}\mu\text{s]}$, $SE = 0,25 \cdot 10 \text{ [A}^2\text{s]}$ και για το $L_0 = 10 \text{ [mH]}$

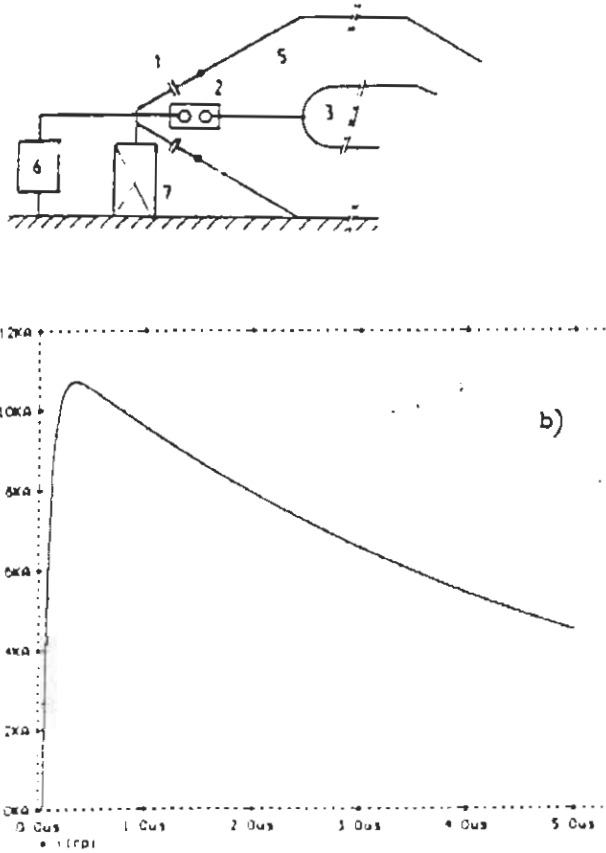
Κύκλωμα για την συνιστώσα H

Το κύκλωμα για την συνιστώσα H είναι διαφορετικό από τα υπόλοιπα εξαιτίας της απαίτησης για μικρό χρόνο μετώπου ($\sim 100 \text{ [ns]}$). Για την διάρκεια του μετώπου καθοριστικό ρόλο παίζει η αντίδραση του ίδιου του δοκιμίου. Επίσης η μέγιστη τιμή του ρεύματος εξαρτάται από την χαρακτηριστική αντίδραση, επειδή $I = U/Z$ όπου U η τάση φόρτισης και Z η χαρακτηριστική αντίδραση του δοκιμίου και του ομοαξονικού καλωδίου σύνδεσης.

Στο σχήμα 14α φαίνεται ένα απλοποιημένο κύκλωμα παραγωγής της συνιστώσας H, για να δοκιμάζεται η συμπεριφορά της

ατράκτου ενός αεροπλάνου. Η κρουστική γεννήτρια ρεύματος αποτελείται από πολλούς πυκνωτές (1), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να αποτελούν τμήμα του ομοαξονικού καλωδίου επιστροφής (5). Το διάκενο (2) τοποθετείται κοντά στο εμπρός τμήμα της ατράκτου, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος γεφύρωσης του διακένου καλύτερα είναι να χρησιμοποιηθεί τύπου αερίου υπό πίεση. Η θερματική αντίδραση (7) εμποδίζει οποιασδήποτε ανακλάσεις.

Στο σχήμα 14β φαίνεται η υπολογισθείσα κυματομορφή για την συνιστώσα Η. το συγκεκριμένο κύκλωμα πρέπει να είναι ικανό να τροφοδοτήσει παλμούς κάθε 10-50 [μ s]. Η ικανοποίηση αυτής της απαίτησης οδηγεί σε πολύ δαπανηρές διατάξεις.



Σχήμα 14. Κύκλωμα και παραγόμενη κυματομορφή για την συνιστώσα Η

Γενικώς, είναι πολύ δύσκολο να εξομοιωθούν πλήρως οι ιδανικές παράμετροι του κεραμικού πλήγματος. Η δυσκολία είναι κυρίως οικονομική. Για το λόγο αυτό, στους διάφορους κανονισμούς, αναλόγως με τις δοκιμές που πρέπει να γίνουν σε στοιχεία ενός συστήματος προτείνεται η χρήση συγκεκριμένων κυματομορφών, που να ικανοποιούν μερικές από τις παραμέτρους του κερανού κάθε φορά. Έτσι είναι εφικτές οι δοκιμές με την μικρότερη δυνατή δαπάνη.

Κεφάλαιο 4

Υπολογισμός διαστάσεων εργαστηρίου υψηλών τάσεων

A. Υπολογισμός ονομαστικής τάσης M/Σ

Από τις κανονισμούς η απαιτούμενη τάση δοκιμής για εναλλασσόμενες τάσεις είναι 1,5-1,7 φορές την ονομαστική του υπό δοκιμή M/Σ.

B. Υπολογισμός ονομαστικής τάσης της κρουστικής γεννήτριας

B1. Υπολογισμός για κρουστικές τάσεις κεραυνών

Από τους πίνακες IEC βρίσκεται για την συγκεκριμένη τάση του δικτύου η απαιτούμενη BTL αυτή πρέπει να αντιστοιχεί στο ~0,1%. Πιθανότητα διάσπασης. Δηλαδή:

$$U_{50\% (I-36)} = U_{BTL}$$

(για κεραυνούς $\sigma \cong 2\%$)

Επειδή όμως στο εργαστήριο πρέπει να παράγονται τάσεις ώστε να αντιστοιχούν και σε πολύ μεγάλες πιθανότητες η μέγιστη τάση που πρέπει να παράγεται θα είναι:

$$U_{50} (1+36) = U_{max1} \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) μπορεί να υπολογισθεί η

$$U_{max1} = U_{BIL} \frac{1+36}{1-36}$$

Οι κρουστικές γεννήτριες, όταν παράγουν κρουστικές τάσεις κεραυνών (1,2/50 [μs]) έχουν απόδοση ~90%.

Συνεπώς η ονομαστική τάση της γεννήτριας πρέπει να είναι τουλάχιστον:

$$\frac{U_{max}}{0,9} = U_i$$

B2. Υπολογισμός για υπερτάσεις χειρισμών

Από τους πίνακες της IEC βρίσκεται για την συγκεκριμένη τάση του δικτύου η απαιτούμενη στάθμη μόνωσης για κρουστικές τάσεις χειρισμών SIL, αν δεν αναφέρεται μπορεί να γίνει δεκτό ότι:

SIL= 0,83 BIL και αυτή η τάση να αντιστοιχεί σε πιθανότητα ~0,1%. Δηλαδή:

$$U_{50\%} (I-36) = U_{S.I.1} (4)$$

(Για χειρισμούς $\delta \cong 5\%$)

Επειδή στο εργαστήριο πρέπει να παράγονται τάσεις που να αντιστοιχούν και σε πολύ μεγάλες πιθανότητες έως 99%. Η μέγιστη τάση που πρέπει να παράγεται θα είναι:

$$U_{50} (I+36) = U_{max2} (5)$$

και έτσι υπολογίζεται και σε αυτή την περίπτωση η:

$$U_{max2} = U_{S.I.1} \frac{I+36}{I-36}$$

Στην περίπτωση παραγωγής κρουστικών τάσεων χειρισμών ο βαθμός απόδοσης στην καλύτερη περίπτωση είναι ~80% οπότε η ονομαστική τάση της γεννήτριας θα είναι:

$$\frac{U_{max2}}{0,8} = U_2$$

Η επιλογή της ονομαστικής τάσης της γεννήτριας γίνεται με βάση τη μεγαλύτερη τάση από τις δυο που προκύπτουν.

Γ. Υπολογισμός των διαστάσεων ενός εργαστηρίου υψηλών τάσεων

Γ1. Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις κεραυνών

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται από μια κρουστική γεννήτρια εμφανίζεται στο υψηλότερο σημείο της. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος διάσπασης του αέρα μεταξύ του ανώτερου άκρου της γεννήτριας και της οροφής του εργαστηρίου, θα πρέπει να υπολογισθεί κατάλληλα το ύψος του εργαστηρίου (d_1). Η μέγιστη τάση που είναι δυνατόν να εμφανισθεί στο ανώτερο άκρο της γεννήτριας κατά την διάρκεια δοκιμών με κρουστικές τάσεις κεραυνών θα είναι ίση με U_1 (όπως ορίσθηκε προηγουμένως).

Για την τάση αυτή (U_1) η πιθανότητα διάσπασης του διακένου d_1 θα πρέπει πρακτικά να είναι μηδέν. Δηλαδή:

$$U_{50\%}(d_1) = \frac{U_1}{1-36} \quad (6) \quad \text{με } \sigma \cong 2\%$$

Η αντοχή του αέρα ως διηλεκτρικών, μεταβάλλεται περίπου γραμμικά όταν καταπονιέται από κρουστικές τάσεις κεραυνών (1,2/50 [μs]) και η απαιτούμενη μέγιστη πεδιακή ένταση είναι 5,3 [kV/cm]. Επομένως το μήκος του διακένου είναι:

$$d_1 = \frac{U_1 [kV]}{(1-36)} \cdot \frac{1}{5,3 [kV/cm]} \text{ σε } [cm]$$

Γ2. Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις χειρισμών

Με το ίδιο σκεπτικό που εφαρμόσθηκε για τον υπολογισμό σε κρουστικές τάσεις κεραυνών, σ' αυτή την περίπτωση ισχύει:

$$U50\% (d_2) = \frac{U_2}{1-36} \quad (6) \text{ με } \sigma \cong 2\% \quad (7)$$

Η τάση διάσπασης U50% διακένου αέρα όταν καταπονιέται από κρουστικές τάσεις χειρισμών δίνεται από τον τύπο:

$$U50\% = \frac{1350\delta^{0,33}}{1,31+2,11/\delta} \quad (8)$$

όπου δ σε [m] και U50% σε [kV] οπότε υπολογίζεται το μήκος διακένου d_2 που αντιστοιχεί στη τάση U50% (d_2). Συγκρίνοντας τα μήκη d_1 και d_2 επιλέγεται το μεγαλύτερο. Από πίνακες κατασκευαστών επιλέγεται η κατάλληλη γεννήτρια και το απαιτούμενο ύψος του εργαστηρίου πρέπει να είναι:

$$h_{\text{εργ}} = h_{\text{γενν}} + d_{\text{max}}$$

Παράδειγμα

Υπολογισμός για κρουστικές τάσεις κεραυνών

Από τους πίνακες IEC βρίσκεται για την συγκεκριμένη τάση του δικτύου η απαιτούμενη BIL αυτή πρέπει να αντιστοιχεί στο ~0,1%. (Πιθανότητα διάσπασης)

Υλικά 170 [kV] → μέχρι 750 [kV]

Βαθμό $n = 0,9$ για κεραυνό $S = 0,02 = 2\%$.

$$U_N = \frac{750}{0,9} = 833,3 [kV]$$

Επειδή όμως στο εργαστήριο πρέπει να παράγονται τάσεις ώστε να αντιστοιχούν και σε πολύ μεγάλες πιθανότητες η μέγιστη τάση που πρέπει να παράγεται θα είναι:

$$U_{max} = U_{BIL} \frac{(1+3S)}{(1-3S)} = 750 \frac{(1+3 \cdot 0,02)}{(1-3 \cdot 0,02)} \Rightarrow U_{max} = 846 [kV]$$

Οι κρουστικές γεννήτριες, όταν παράγουν κρουστικές τάσεις κεραυνών (1,2/50 [μs]) έχουν απόδοση ~90%. Συνεπώς η ονομαστική τάση της γεννήτριας πρέπει να είναι τουλάχιστον

$$U_1 = \frac{U_{max1}}{0,9} = \frac{846}{0,9} \Rightarrow U_1 = 940 [kV]$$

Υπολογισμός για υπερτάσεις χειρισμών

Από τους πίνακες της IEC βρίσκεται για την συγκεκριμένη τάση του δικτύου η απαιτούμενη στάθμη μόνωσης για κρουστικές τάσεις χειρισμών SIL, αν δεν αναφέρεται μπορεί να γίνει δεκτό ότι SIL=0,83 BIL και αυτή η τάση να αντιστοιχεί σε πιθανότητα ~0,1%.

Υλικά 170 [kV] → 1,93,25=617 [kV]

Με βαθμό n=0,8 για χειρισμούς S= 0,05= 5%

$$U_n = \frac{617,5}{0,8} = 772 [kV]$$

$$U_{SIL} = 0,83 \cdot 750 = 622,5 [kV]$$

Επειδή στο εργαστήριο πρέπει να παράγονται τάσεις που να αντιστοιχούν και σε πολύ μεγάλες πιθανότητες έως 99%. Η μέγιστη τάση που πρέπει να παράγεται θα είναι:

$$U_{max2} = U_{SIL} \cdot \frac{(1+3S)}{(1-3S)} = 622,5 \cdot \frac{(1+3 \cdot 0,05)}{(1-3 \cdot 0,05)} \Rightarrow U_{max2} = 842 [kV]$$

Στην περίπτωση παραγωγής κρουστικών τάσεων χειρισμών ο βαθμός απόδοσης, στην καλύτερη περίπτωση είναι ~80%, οπότε η ονομαστική τάση της γεννήτριας θα είναι:

$$U_2 = \frac{U_{\max,2}}{0,8} \Rightarrow U_2 = 1052,5 [kV]$$

Η επιλογή της ονομαστικής τάσης της γεννήτριας γίνεται με βάση τη μεγαλύτερη τάση από τις δύο που προκύπτουν.

Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις κεραυνών

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται από μια κρουστική γεννήτρια εμφανίζεται στο ψηλότερο σημείο της. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος διάσπασης του αέρα μεταξύ του ανώτερου άκρου της γεννήτριας και της οροφής του ανωτέρου άκρου της γεννήτριας και της οροφής του εργαστηρίου, θα πρέπει να υπολογισθεί κατάλληλα το ύψος του εργαστηρίου d_1 .

Η μέγιστη τάση που είναι δυνατόν να εμφανισθεί στο ανώτερο άκρο της γεννήτριας κατά την διάρκεια δοκιμών με κρουστικές τάσεις κεραυνών θα είναι ίση με τη U_1 . Για την τάση αυτή (U_1) η πιθανότητα διάσπασης του διακένου d_1 θα πρέπει πρακτικά να είναι μηδέν.

Υλικά 765 [kV] → μέχρι 2400 [kV]

με βαθμό $n=0,9$ με $S=2\%=0,02$

$$U_N = \frac{2400}{0,9} = 2667 [kV]$$

$$U50(1-3S) = 2400 \Rightarrow U50(1+2S) = 2400(1+5S) \Rightarrow$$

$$U50(1+2S) = 2640$$

$$U_N = \frac{2640}{0,9} = 2933,3 [kV]$$

Η αντοχή του αέρα ως διηλεκτρικού, μεταβάλλεται περίπου γραμμικά όταν καταπονείται από κρουστικές τάσεις κεραυνών (1,2/50 [μs]) και η απαιτούμενη μέγιστη πεδιακή ένταση είναι 5,3 [kV/cm]. Επομένως:

$$\delta = \frac{2640}{(1-2S) \cdot 530} = 5,19 [m] \text{ με } \sigma = 0,02 = 2\%$$

$$d_1 = 5,19 [m]$$

Υπολογισμός διακένου για δοκιμές σε υπερτάσεις χειρισμών

Με το ίδιο σκεπτικό που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό σε κρουστικές τάσεις κεραυνών, σ' αυτήν την περίπτωση ισχύει:

Υλικά 765 [kV] → 1550 [kV]

με βαθμό $n=0,8$ με $\sigma=0,05=5\%$

$$U_x = \frac{1580}{0,8} = 1937,5 [kV]$$

$$U_{50}(1-3S) = 1550 \Rightarrow U_{50}(1+2S) = 1550(1+5S) = 1937,5 [kV]$$

$$U_x = \frac{1937,5}{0,8} = 2422 [kV]$$

Η τάση διάσπασης U50% διακένου αέρα όταν καταπονείται από κρουστικές τάσεις χειρισμών δίνεται ως εξής:

$$\frac{U_{50\%}}{1-2S} = \frac{1350\delta^{0,33}}{1,31+2,11/\delta}$$

$d_2 = 13,25$ [m]

όπου δ σε [m] και U50% σε [kV]

Συγκρίνοντας τα μήκη d_1 και d_2 επιλέγεται το μεγαλύτερο. Από πίνακες κατασκευαστών επιλέγεται η κατάλληλη γεννήτρια και το απαιτούμενο ύψος του εργαστηρίου πρέπει να είναι:

$$d_2 > d_1 \Rightarrow 13,25 > 5,19$$

Διαλέγουμε γεννήτρια 3200 [kV] με ύψος 16 [m] άρα το ύψος του κτιρίου είναι:

$$h_{εργ.} = h_{γεν.} + d_{max} = 16 + 13,25 = 29,25 [m]$$

Κεφάλαιο 5

Γείωση

Για την προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και των ατόμων που χειρίζονται αυτές, καθώς και για την λειτουργία των εγκαταστάσεων, γίνεται ευρεία χρήση των γειώσεων δηλαδή διατάξεων από ηλεκτρόδια που είναι βυθισμένα μέσα στο έδαφος. Για να πληρεί κάποια γείωση τον προορισμό της, πρέπει η αντίσταση που παρουσιάζεται προς τη γη να μην υπερβαίνει κάποια τιμή που ορίζεται από τις συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα, στα δίκτυα Χ.Τ. της ΔΕΗ μια αντίσταση γείωσης $R_g \leq 2$ [Ω] θεωρείται ικανοποιητική, ενώ για τις οικιακές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις η αντίσταση γείωσης θεωρείται καλή όταν $R_g \leq 20$ [Ω]. Η ιδανική περίπτωση θα ήταν $R_g = 0$ [Ω] πράγμα όμως αδύνατο.

Η αντίσταση των γειώσεων εξαρτάται από την μορφή και τις διαστάσεις των ηλεκτροδίων, από το βάθος μέσα στο έδαφος που θα εγκατασταθούν και από την ειδική αντίσταση του εδάφους που περιβάλλει τα ηλεκτρόδια (βλέπε πιν. 1).

Πίνακας 1

<u>ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ</u>		
<u>Τύπος νερού ή εδάφους</u>	<u>Ειδική αντίσταση (Ω.μ)</u>	
Νερά ωκεανών	0.1	- 0.5
Υπόγεια νερά, νερά πηγών και πηγαδιών	10	- 150
Νερά λιμνών και ποταμών	100	- 400
Βραχίονα νερά	800	- 1200
Ευφρασιμμένο νερό	1000	- 4000
Αποσταγμένο νερό		250000
Αργίλος (άσπη)	25	- 70
Λιμνώδη άσπη	40	- 300
Εσποχόστα, θαλασσοή εδάση.		
καλλιτερονημενα εδαση	50	- 250
Λιμνος	1000	- 1000
Πετρωδη εδαση	1000	- 10000

Η μορφή των μεταλλικών ηλεκτροδίων γείωσης (γειωτών), μπορεί να είναι: Μια ή περισσότερες κάθετοι ράβδοι μια ή περισσότερες ταινίες, δακτύλιος, δίσκος, πλάκα, πλέγμα, σφαίρα (βλέπε πίνακα 2).

Για κάθε τύπο γειωτή αποδεικνύεται θεωρητικά μια μαθηματική σχέση, από την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την αντίσταση γείωσης R_g (βλεπε πιν. 2)

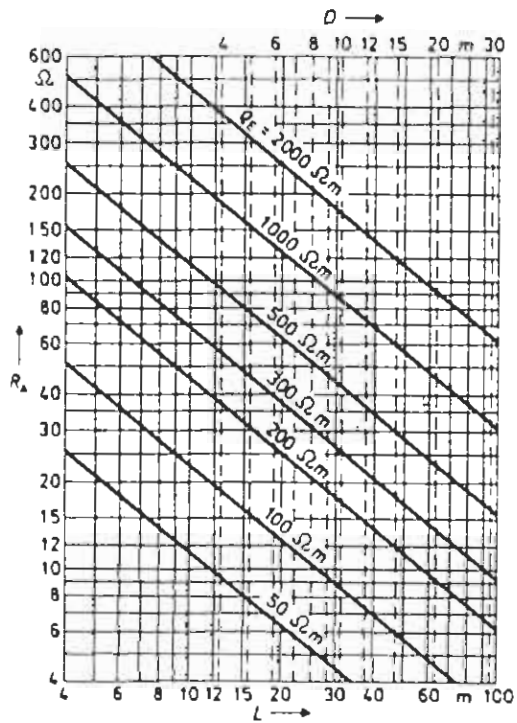
Ανάλογα με το βάθος εγκατάστασης των γειωτών γίνεται διάκριση σε επιφανειακούς γειωτές (γειωτές ταινίας, πλέγματος) και σε βαθείς γειωτές (γειωτές ράβδου). Τα υλικά κατασκευής των γειωτών μπορεί να είναι γαλβανισμένος ή επιχαλκομένος χάλυβας, χαλκός, μόλυβδος. Η ειδική αντίσταση του εδάφους δεν παραμένει σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου ανάλογα με την υγρασία του, τη θερμοκρασία του και

ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε άλατα. Τέλος και η αντίσταση γείωσης δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται και αυτή ανάλογα τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν όπως βλέπουμε και στο σχήμα 3.

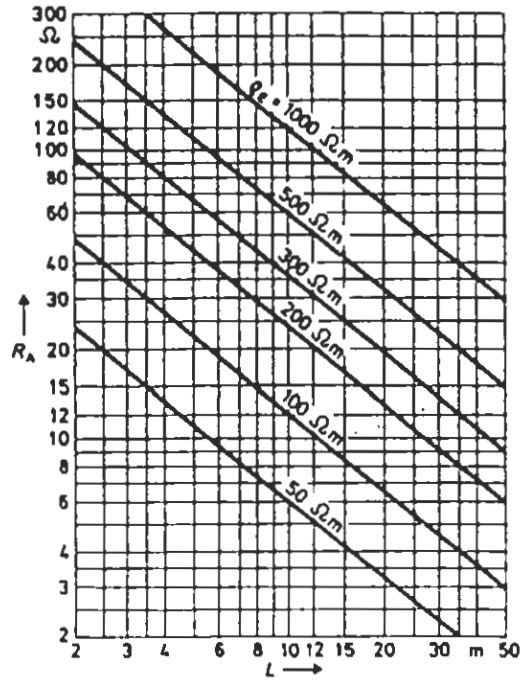
Πίνακας 2

ΤΥΠΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΥ	ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ	ΚΑΤΩΜΗ	ΤΥΠΟΣ
επιφανειακή σφαίρα			$R = \frac{\rho}{4\pi}$
υπόγεια σφαίρα			$R = \frac{\rho}{4\pi} \cdot \left(1 + \frac{2z}{r}\right)$ 1)
επιφανειακή πλάκα			$R = \frac{\rho}{2\pi}$ 2)
υπόγεια πλάκα			$R = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \left(1 + \frac{2z}{r}\right)$ 2)
επιφανειακή κατακόρυφη ράβδος			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{r} + 0.72\right)$ 3)
υπόγεια κατακόρυφη ράβδος			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{r} + 0.72\right)$ 3)
επιφανειακή ταινία			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 4)
υπόγεια ταινία			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 4)
δύο επιφανειακές ταινίες			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 5)
δύο υπόγειες ταινίες			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 5)
επιφανειακός δακτύλιος			$R = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{4L}{r} + 0.72\right)$ 6)
υπόγειος δακτύλιος			$R = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{4L}{r} + 0.72\right)$ 6)
δύο υπόγειες ταινίες			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 7)
τρεις υπόγειες ταινίες			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 8)
τέσσερις υπόγειες ταινίες			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 9)
έξι υπόγειες ταινίες			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 10)
οκτώ υπόγειες ταινίες			$R = \frac{\rho}{L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{b} + 0.72\right)$ 11)
υπόγεια πλέγμα			$R = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{L}$ 12)

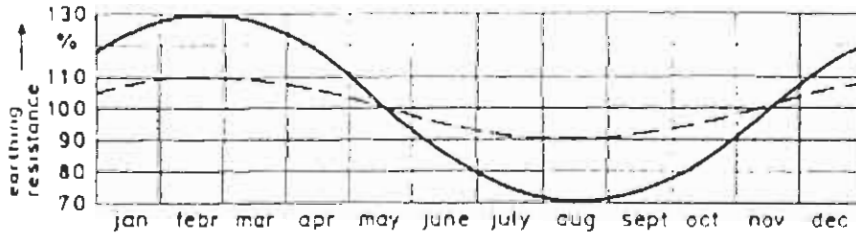
1) 0 < z < r 2) z > r 3) 0 < z < 2r 4) z > 2r 5) z < r 6) z > r 7) z < r 8) z > r 9) z < r 10) z > r 11) z < r 12) z > r



Σχήμα 1. Αντίσταση γείωσης R_A οριζόντιου επιφανειακού γειωτή (ταινίας, πλέγμα) σε ομογενές έδαφος. L : μήκος ηλεκτροδίου, d : διάμετρος ηλεκτροδίου, D : διάμετρος του κύκλου που δημιουργεί το ηλεκτρόδιο, ρ_e : ειδική αντίσταση εδάφους.



Σχήμα 2. Αντίσταση γείωσης R_A ενός κατακόρυφου (βαθιού) γειωτή σε ομογενές έδαφος



Σχήμα 3. Αντίσταση γείωσης σε σχέση με τους μήνες. Μηνιαία μεταβολή της αντίστασης γείωσης

Μέτρηση αντίσταση γείωσης (R_A)

Για την μέτρηση αντίσταση γείωσης θα χρησιμοποιήσουμε υπόγειο πλέγμα (πίνακας 2)

$$R_A = \frac{\rho_\epsilon}{2D} \cdot \frac{\rho_\epsilon}{L}$$

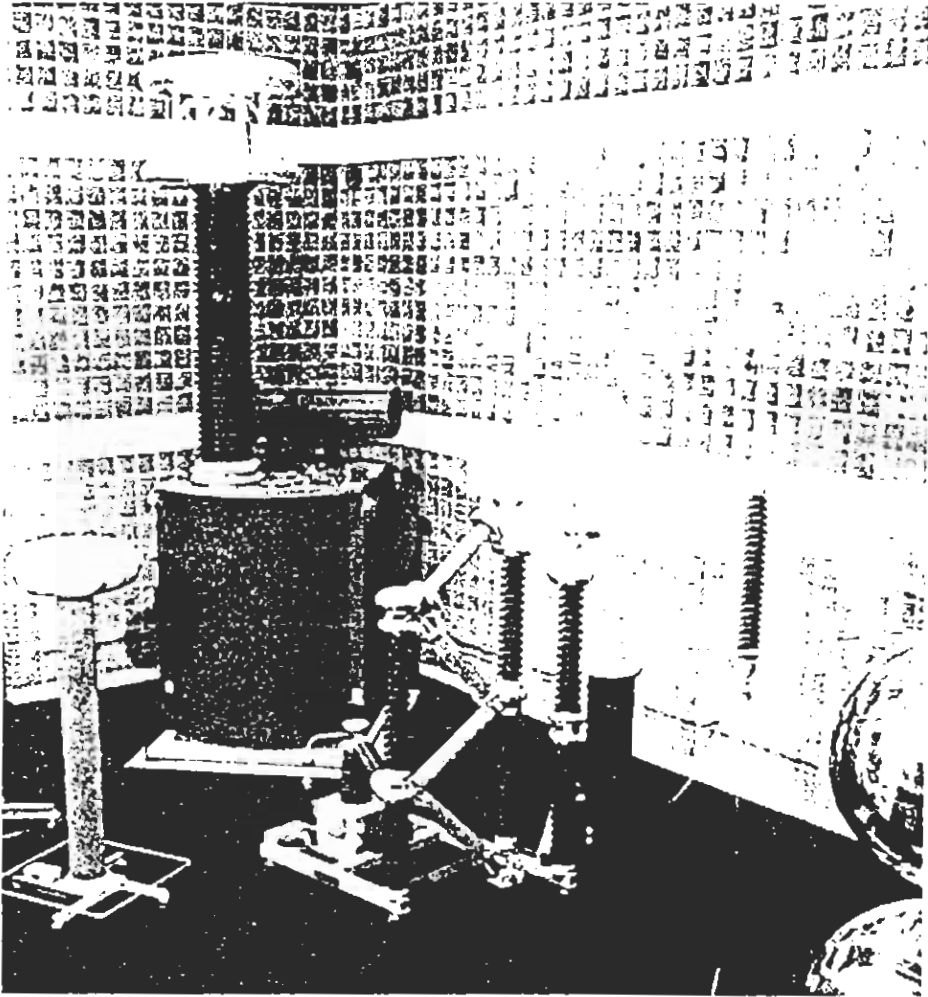
όπου: ρ = ειδική αντίσταση εδάφους (έδαφος καλλιεργημένο άρα
 $\rho_\epsilon = 100$ [Ωm])

D = διάμετρος του κύκλου που δημιουργεί το ηλεκτρόδιο [m]

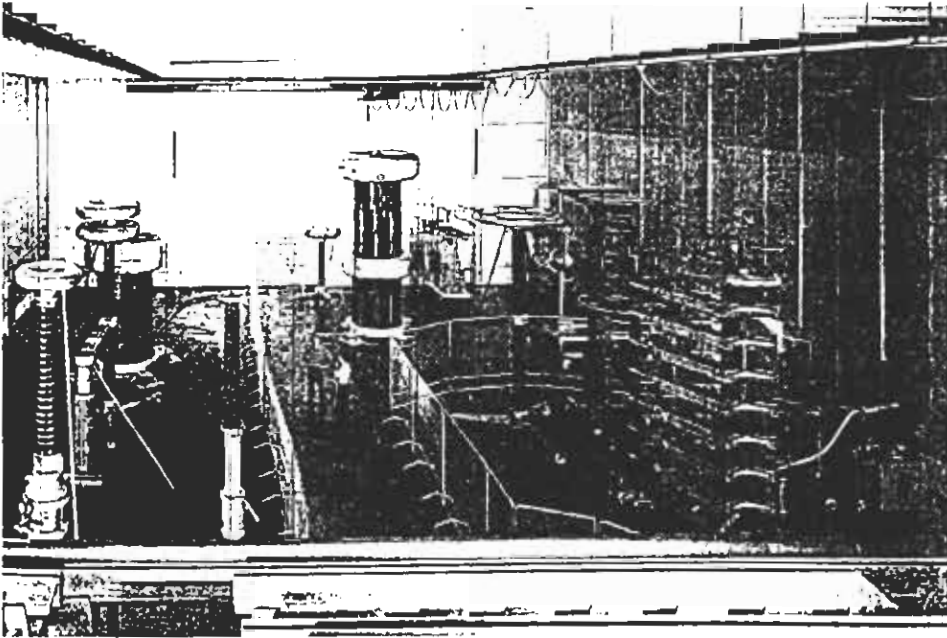
L = Μήκος ηλεκτροδίων [m]

Άρα:

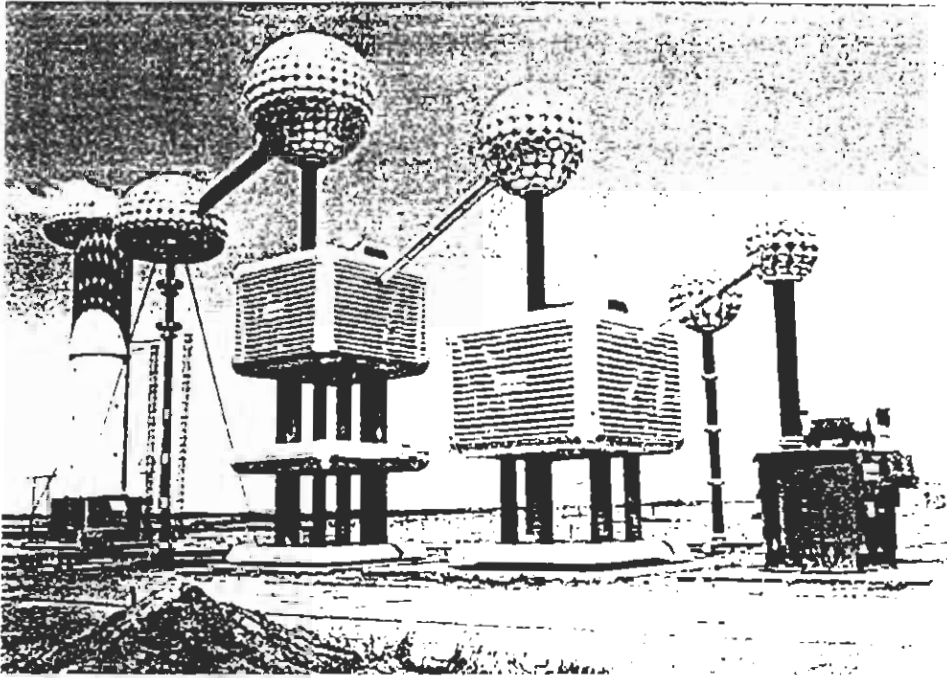
$$R_A = \frac{100}{2 \cdot 20} \cdot \frac{100}{60} = 4,17 [\Omega]$$



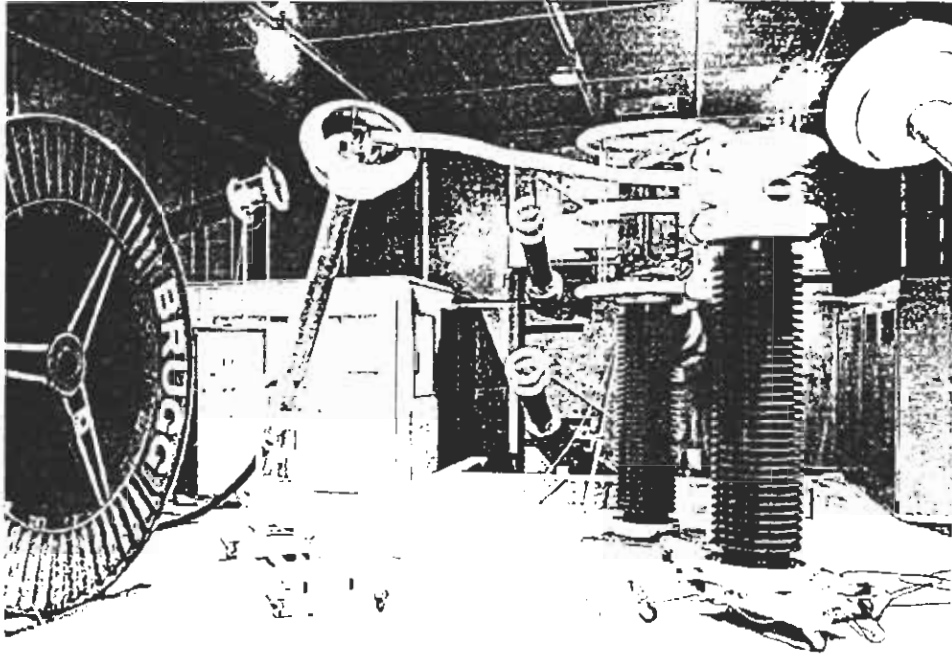
AC και DC συστήματα δοκιμής



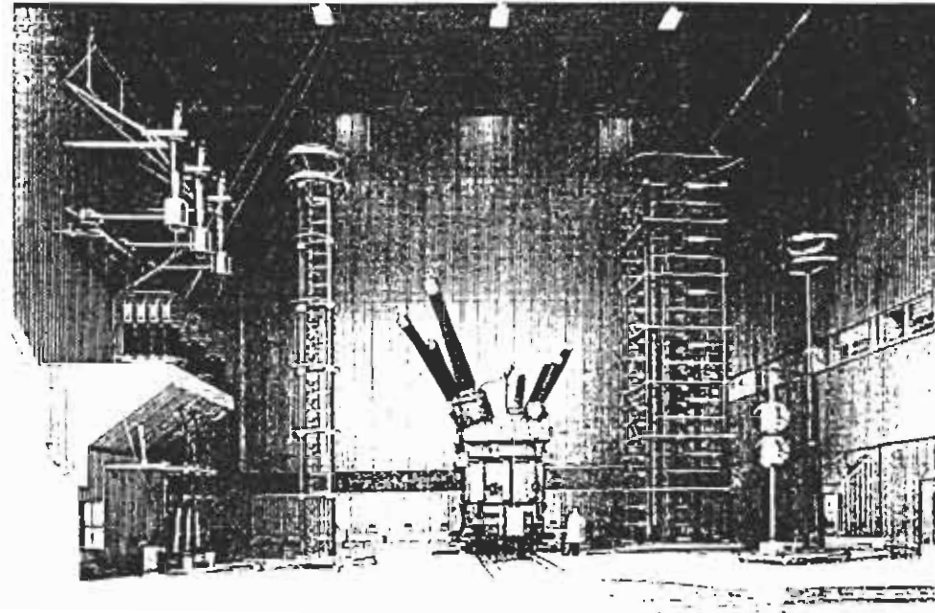
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων σε Πανεπιστήμιο (Courtesy ETH, Ζυρίχη)



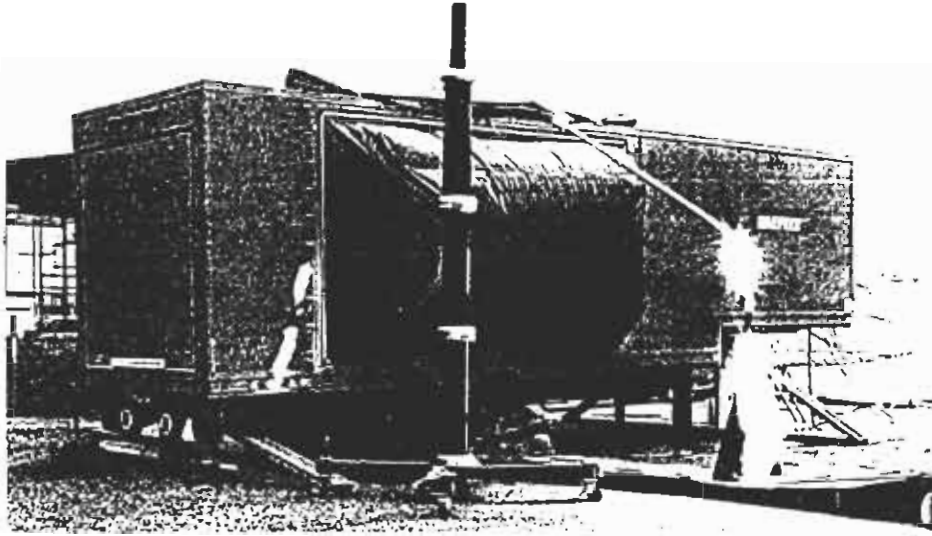
Εξωτερικό εργαστήριο υψηλών πεδίων



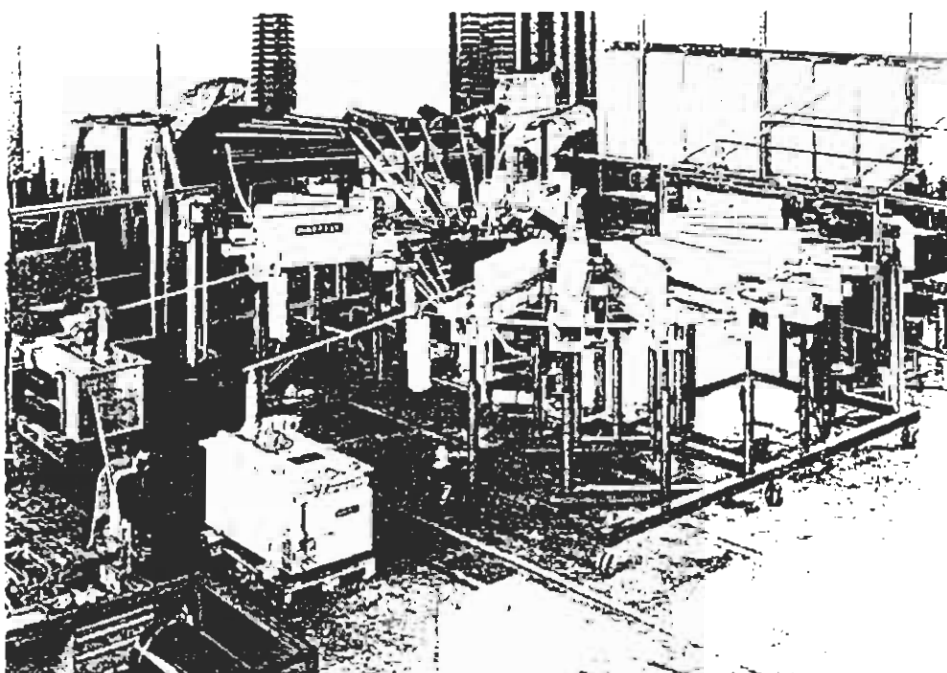
Εργαστήριο XLPE-καλώδια σε τάση 220 [kV] (Courtesy Kabelwerke, Brugg)



Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων για Μ/Σ ισχύος (Courtesy Jeumont Schneider, Lyon)



Κινητή κρουστική γεννήτρια τάσης για αεροσκάφη



Διπλή κρουστική γεννήτρια ρεύματος 2X100 [kV], 2X100 [kJ]

Βιβλιογραφία

1. Τεχνολογία Υψηλών Τάσεων, Ελευθερία Πυργιώτη
2. Δοκιμές και μετρήσεις Υψηλών Τάσεων, Ελευθερία Πυργιώτη
3. Τεχνικό φυλλάδιο της ASEA Haefely για Μ/Σ Υψηλής Τάσης
4. Τεχνικό φυλλάδιο της ASEA Haefely για κρουστικές γεννήτριες
5. Τεχνικό φυλλάδιο της ASEA Haefely για συστήματα δοκιμής
6. Μετρήσεις αντίστασης γείωσης, Ελευθερία Πυργιώτη
7. Υπολογισμός διαστάσεων εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων, της Ελληνικής επιτροπής Cigre

