



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

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Της

ΚΟΡΟΜΠΙΛΗ ΑΣΗΜΕΝΙΑΣ

A.M.03102257

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010



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

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΚΟΡΟΜΠΙΛΗ ΑΣΗΜΕΝΙΑ

A.M.03102257

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....
Κων/νος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....

Ασημένια Κορομπίλη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Copyright © Κορομπίλη Ασημένια , 2010
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	26
§ 1 Ισχύς κανονισμών	26
a) Πεδίο ισχύος	26
§ 2 Ορισμοί	26
a) Γενικοί ορισμοί	26
b) Ορισμοί διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή	27
c) Τεχνικοί ορισμοί	27
§ 3 Κανονικές συνθήκες λειτουργίας	28
a) Κλιματικές συνθήκες	28
§ 4 Τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας	29
a) Θερμική αντοχή μονωτικών υλικών	29
b) Υπερθέρμανση	32
c) Διηλεκτρική αντοχή μετασχηματιστή	33
d) Γείωση	35
§ 5 Δοκιμές	36
a) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή	36
b) Δοκιμή υπερθέρμανσης	39
c) Παρατήρηση	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	40
§ 1 Ισχύς κανονισμών	40

a) Πεδίο ισχύος	40
§ 2 Ορισμοί	40
a) Γενικοί ορισμοί	40
b) Σχέσεις πτώσης τάσης	42
§ 3 Κανονικές συνθήκες λειτουργίας	43
§ 4 Τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας	43
a) Ονομαστικές τιμές	43
b) Κλάση	44
c) Μερική εκκένωση τόξου	47
§ 5 Δοκιμές	47
a) Δοκιμές τύπου	47
b) Δοκιμές σειράς	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	51
§ 1 Ισχύς κανονισμών	51
a) Πεδίο ισχύος	51
§ 2 Ορισμοί	51
a) Στοιχεία διάταξης	51
b) Ηλεκτρικοί ορισμοί	53
§ 3 Κανονικές συνθήκες λειτουργίας	53
§ 4 Τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας	53
a) Τεχνικές τιμές μέτρησης	53
b) Ταλαντώσεις	54
c) Χειρισμός ταλαντώσεων λόγω βραχυκυκλώματος στο πρωτεύον	54
d) Εξαρτήματα	55
§ 5 Δοκιμές	55
a) Δοκιμές τύπου	56

b) Δοκιμές σειράς	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010 στα πλαίσια των εκπαιδευτικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κύριο Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο και τον καθηγητή κύριο Περικλή Μπούρκα για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και τις πολύτιμες συμβουλές που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της άψογης συνεργασίας μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία μίας ηλεκτροτεχνικής κατασκευής, θα πρέπει να εναρμονίζονται τα επιμέρους στοιχεία της, καθώς και η κατασκευή στο σύνολό της, με τις απαιτήσεις των κατά περίπτωση κανονισμών κατασκευής και προδιαγραφών δοκιμής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρατίθενται αναλυτικά οι κανονισμοί λειτουργίας και οι προδιαγραφές δοκιμών των μετασχηματιστών μέτρησης.

Συγκεκριμένα, στην εισαγωγή παρατίθεται το σκεπτικό για την κατανόηση ορισμένων γενικών κανόνων αξιολόγησης του ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού και στη συνέχεια αναφέρονται σε γενικές γραμμές τα είδη των δοκιμών, οι οποίες πρέπει να διεξαχθούν σε κάθε ηλεκτροτεχνική κατασκευή, με σκοπό τον έλεγχο της αξιοπιστίας της. Κατόπιν περιγράφονται οι εργαστηριακές διατάξεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση αυτών των δοκιμών. Τέλος, δίνονται γενικές πληροφορίες σχετικά με τις εφαρμογές τους στην περίπτωση μετασχηματιστή μέτρησης και παρατίθενται δύο παραδείγματα διεξαγωγής δοκιμών.

Στα κεφάλαια 1-3 περιγράφονται αναλυτικά οι κανονισμοί λειτουργίας και οι προδιαγραφές των δοκιμών. Ειδικά, κάθε κεφάλαιο παρουσιάζει τις εξής ίδιες ενότητες:

§ 1: Ισχύς κανονισμών, όπου παρουσιάζεται η περιοχή ισχύος του κανονισμού,

§ 2: Ορισμοί, όπου παρατίθεται η ορολογία, η οποία χρησιμοποιείται στο υπόλοιπο κεφάλαιο,

§ 3: Κανονικές συνθήκες λειτουργίας, όπου περιγράφονται οι κλιματικές και άλλες συνθήκες, οι οποίες προϋποτίθενται για την κανονική λειτουργία του μετασχηματιστή μέτρησης,

§ 4: Τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας, όπου παρουσιάζονται οι οριακές τιμές των διαφόρων μεγεθών του μετασχηματιστή (τάση, ρεύμα, κ.τ.λ.), οι οποίες πρέπει να πληρούνται κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών στο μετασχηματιστή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η κανονική λειτουργία και αξιοπιστία του,

§ 5: Δοκιμές, όπου περιγράφονται οι διαδικασίες των δοκιμών (εφαρμογή διαφόρων μορφών τάσεων, υπό διαφορετικές θερμοκρασίες, κ.τ.λ.).

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στους γενικούς κανονισμούς λειτουργίας και στις γενικές προδιαγραφές δοκιμών, οι οποίες ισχύουν για όλους τους μετασχηματιστές μέτρησης.

Το δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται ειδικότερα στους επιπρόσθετους κανονισμούς λειτουργίας και προδιαγραφές δοκιμών, οι οποίες ισχύουν για τους επαγωγικούς και χωρητικούς, αντίστοιχα, μετασχηματιστές τάσης για διατάξεις μέτρησης.

Τέλος, αναφέρεται η βιβλιογραφία, η οποία χρησιμοποιήθηκε για αυτή τη διπλωματική εργασία και αποτελείται από τον αντίστοιχο γερμανικό κανονισμό κατά VDE 0414.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

§ 1

Δοκιμές της ικανότητας μόνωσης των ηλεκτροτεχνικών κατασκευών υψηλών τάσεων

a) Γενικά περί δοκιμών ποιοτικού ελέγχου σε ηλεκτροτεχνικές κατασκευές υψηλών τάσεων

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία μίας ηλεκτροτεχνικής κατασκευής, θα πρέπει να εναρμονίζονται τα επιμέρους στοιχεία της (διακόπτες, πίνακες, μετασχηματιστές, καλώδια, κ.τ.λ.), καθώς και η κατασκευή στο σύνολό της, με τις απαιτήσεις των κατά περίπτωση κανονισμών κατασκευής και προδιαγραφών δοκιμής (DIN, VDE, IEC, ASM, προδιαγραφές της ΔΕΗ, κ.τ.λ.). Στην παρούσα εισαγωγή παρατίθεται ένα σκεπτικό, το οποίο πιστεύεται ότι διευκολύνει στην κατανόηση ορισμένων γενικών κανόνων αξιολόγησης του ηλεκτροτεχνικού εξοπλισμού, οι οποίοι προβλέπονται αναλυτικά στους κανονισμούς και στις προδιαγραφές.

Η αξιοπιστία μίας ηλεκτροτεχνικής κατασκευής διασφαλίζεται όταν ανταπεξέλθει με επιτυχία, πριν διατεθεί σε χρήση, δοκιμές υπό λειτουργικές συνθήκες, οι οποίες αντιστοιχούν σε μελλοντικές μέγιστες καταπονήσεις της στο δίκτυο. Οι δοκιμές αυτές, οι οποίες συνήθως αποτελούν την τελευταία φάση της παραγωγικής διαδικασίας, προβλέπονται στις προδιαγραφές (IEC, VDE, κ.τ.λ.) και διακρίνονται σε δοκιμές τύπου και δοκιμές σειράς.

Οι *δοκιμές τύπου* γίνονται σε διεθνώς αναγνωρισμένα εργαστήρια ή σε εργαστήριο του κατασκευαστή (όσες είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν σε αυτό) και αφορούν συνήθως (εκτός αν ορίζεται διαφορετικά με σύμβαση) ένα τυχαίο δείγμα, ακριβώς ίδιο με τα έτοιμα προς διάθεση προϊόντα (π.χ. για παραγωγή μετασχηματιστών 20 kV/400 kVA δοκιμές τύπου σε έναν μετασχηματιστή). Οι δοκιμές τύπου χαρακτηρίζονται ως καταστρεπτικές, γιατί, παρά την επιτυχή διεξαγωγή τους, μπορεί να γίνουν αιτία πρόκλησης μελλοντικών βλαβών. Για το λόγο αυτό η προμήθεια εξοπλισμού, με την προϋπόθεση της πραγματοποίησης των δοκιμών αυτών από τον προμηθευτή, έχει νόημα μόνο σε περιπτώσεις μεγάλου αριθμού τεμαχίων (π.χ. 100 τεμαχίων από τους παραπάνω μετασχηματιστές), όπως συμβαίνει με την προμήθεια εξοπλισμού από τη ΔΕΗ. Σε διαφορετική περίπτωση, θα πρέπει να αρκείται κανείς στην επιβεβαίωση της ποιότητας μέσω πιστοποιητικών εργαστηριακών δοκιμών, τα οποία βεβαίως δεν μπορούν να υποκατασταθούν από διαφημιστικά φυλλάδια ή άλλα έντυπα.

Οι *δοκιμές σειράς* πραγματοποιούνται σε όλα ανεξαιρέτως τα τεμάχια (π.χ. σε όλους τους παραπάνω μετασχηματιστές). Οι δοκιμές αυτές δεν είναι καταστρεπτικές και για αυτό θα πρέπει να πραγματοποιούνται παρουσία του αγοραστή. Η ΔΕΗ πραγματοποιεί όλες τις δοκιμές σειράς στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, τον οποίο προμηθεύεται. Για μικρές προμήθειες εξοπλισμού (όπως συμβαίνει συνήθως σε ιδιωτικούς υποσταθμούς μέσης τάσης) και σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατόν να γίνουν οι παραπάνω δοκιμές παρουσία του αγοραστή (π.χ. προμήθεια ενός μετασχηματιστή 20 kV/400 kVA προέλευσης εξωτερικού), θα πρέπει να επιβεβαιώνεται η ποιότητα με πιστοποιητικά διεθνώς αναγνωρισμένου εργαστηρίου.

Οι δοκιμές τύπου και δοκιμές σειράς δεν είναι ίδιες για κάθε ηλεκτροτεχνική κατασκευή, αλλά εξαρτώνται από το είδος της (μετασχηματιστής, καλώδιο, αποζεύκτης, διακόπτης ισχύος, κ.τ.λ.), τα ονομαστικά στοιχεία της (ονομαστική τάση, ονομαστικό ρεύμα, κ.τ.λ.) και τις συνθήκες λειτουργίας, τις οποίες πρόκειται να αντιμετωπίσει αυτή στο δίκτυο (π.χ. για αποζεύκτες εξωτερικού χώρου προβλέπεται στις προδιαγραφές, ως δοκιμή τύπου, η εξακρίβωση της ικανότητας μόνωσης υπό βροχή – ο έλεγχος αυτός δεν έχει νόημα για αποζεύκτες εσωτερικού χώρου).

Το σκεπτικό για την αναζήτηση των δοκιμών, οι οποίες χρειάζεται να πραγματοποιηθούν σε μία ηλεκτροτεχνική κατασκευή, πηγάζει από την ανάγκη να δοθεί μία απάντηση στα παρακάτω ερωτήματα, όταν βέβαια αυτά έχουν νόημα για την προς έλεγχο κατασκευή (σε ένα μονωτήρα δεν έχει π.χ. νόημα η δοκιμή βραχυκύκλωσης, η οποία όμως ενδιαφέρει ιδιαίτερα σε έναν μετασχηματιστή μέσης τάσης, κ.τ.λ.):

- 1) Πως θα επιβεβαιωθεί το ονομαστικό ρεύμα;
- 2) Πως θα επιβεβαιωθεί η διηλεκτρική αντοχή της κατασκευής;
- 3) Ποιες είναι οι απαιτήσεις σε μηχανική αντοχή;
- 4) Αντέχει η κατασκευή το βραχυκύκλωμα μέχρι να γίνει διακοπή του από το μέσο προστασίας του δικτύου;
- 5) Ποιες είναι οι ειδικές απαιτήσεις, οι οποίες πρέπει να χαρακτηρίζουν την κατασκευή;

Η απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα δίνεται από τις διάφορες προδιαγραφές με συγκεκριμένες δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές για τα τέσσερα πρώτα ερωτήματα είναι αντίστοιχα:

- 1) Η δοκιμή υπερθέρμανσης (ή δοκιμή ανύψωσης της θερμοκρασίας)
- 2) Οι διηλεκτρικές δοκιμές
- 3) Η δοκιμή μηχανικής αντοχής
- 4) Η δοκιμή βραχυκύκλωσης

Σε ότι αφορά την τελευταία ερώτηση, οι δοκιμές οι οποίες χαρακτηρίζονται ως «ειδικές» περιλαμβάνονται επίσης στις προδιαγραφές, ανάλογα με την περίπτωση. Έτσι, π.χ. η μέτρηση των απωλειών ενός μετασχηματιστή, ο έλεγχος της ποιότητας βαφής (ή της επιψευδαργύρωσης) ενός πίνακα εξωτερικού χώρου, κ.τ.λ. αποτελούν, κατά το παραπάνω σκεπτικό, «ειδικές» δοκιμές, γιατί αναφέρονται σε συγκεκριμένες ειδικές απαιτήσεις, οι οποίες καθορίζονται από το είδος της κατασκευής.

Η *δοκιμή υπερθέρμανσης* αφορά την εξακρίβωση του ονομαστικού ρεύματος (μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας) μίας κατασκευής. Η τιμή αυτή δεν μπορεί να είναι τυχαία, θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε προδιαγεγραμμένες τιμές, ανάλογα με την κατασκευή (π.χ. για διακόπτες πινάκων μέσης τάσης: 200 A, 400 A, 600 A, 1000 A, κ.τ.λ.). Η δοκιμή υπερθέρμανσης γίνεται σε

συνθήκες χαμηλής τάσης, γιατί, λόγω των μετρήσεων θερμοκρασίας που γίνονται από τον χειριστή πλησίον του δοκιμίου, δεν πρέπει να υπάρχει υψηλή τάση σε αυτό (π.χ. μέτρηση της θερμοκρασίας ανά ώρες στις επαφές ενός διακόπτη). Η δοκιμή υπερθέρμανσης διαρκεί συνήθως αρκετές ώρες (στους μετασχηματιστές η διάρκεια της δοκιμής είναι της τάξης των 24 ωρών και στους διακόπτες της τάξης των 4 ωρών περίπου) και θεωρείται ότι είναι επιτυχής, όταν η θερμοκρασία δεν υπερβεί ένα συγκεκριμένο κατά τις προδιαγραφές όριο. Η θερμοκρασία αυτή είναι κατά VDE 0670 για π.χ. χάλκινες επαφές μέσα σε μονωτικό λάδι 80°C (με μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας ως προς το περιβάλλον 40°C). Η δοκιμή υπερθέρμανσης είναι δοκιμή τύπου.

Οι *διηλεκτρικές δοκιμές* αποσκοπούν στη διαπίστωση της διηλεκτρικής αντοχής της κατασκευής, ανάλογα με την ονομαστική της τάση. Οι τιμές της ονομαστικής τάσης των διαφόρων κατασκευών είναι τυποποιημένες (π.χ. στο τριφασικό δίκτυο των 50 Hz: 500 V, 6.6 kV, 15 kV, 20 kV, κ.τ.λ.). Οι μετρήσεις που γίνονται αφορούν κυρίως τον έλεγχο της μονωτικής ικανότητας (διηλεκτρικής αντοχής) έναντι υπερτάσεων, οι οποίες εκδηλώνονται κατά τη λειτουργία της κατασκευής στο δίκτυο. Οι διηλεκτρικές δοκιμές αποσκοπούν δηλ. στην επιβεβαίωση της ονομαστικής τάσης, ανάλογα με την οποία μπορεί να καταπονείται η κατασκευή σε κεραυνικές υπερτάσεις και τάσεις χειρισμών, χωρίς να προκαλείται από αυτές μείωση της διηλεκτρικής αντοχής της. Η δοκιμή υπό κρουστικές τάσεις είναι δοκιμή τύπου, ενώ η δοκιμή με εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας (50 Hz) δοκιμή τύπου και σειράς. Στην κατασκευή εγκαταστάσεων στον αέρα, οι οποίες έχουν ονομαστική τάση άνω των 1000 V, ενδιαφέρει ιδιαίτερα η τήρηση ορισμένων αποστάσεων μεταξύ αγωγών και αγωγών προς γη. Ενδιαφέρουν επίσης οι αποστάσεις προστασίας από τοιχεία, μεταλλικά πλέγματα και γενικά μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. αποστάσεις προστασίας των ρευματοφόρων μερών ενός υποσταθμού, αποστάσεις προστασίας για την τοποθέτηση του πλέγματος σε ένα πεδίο δοκιμών ή σε έναν υπαίθριο υποσταθμό, κ.τ.λ.).

Η *δοκιμή μηχανικής αντοχής* αφορά τη στιβαρότητα της κατασκευής, η οποία στην περίπτωση των επαφών των διακοπών σχετίζεται με την ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα, μετά από έναν αριθμό χειρισμών. Ένας διακόπτης, π.χ. με ονομαστικό ρεύμα 400 A, πρέπει να έχει μετά από 1000 πλήρεις κύκλους λειτουργίας την ίδια ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα (δηλ. 400A). Πρόκειται για μία δοκιμή τύπου, κατά την οποία ελέγχονται τυχόν παραμορφώσεις και αποσυναρμολογήσεις (ακατάλληλα ελατήρια σύσφιξης κ.τ.λ.) στις επαφές του διακόπτη. Η ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα, μετά τη δοκιμή αυτή, διαπιστώνεται με την πραγματοποίηση στη συνέχεια της δοκιμής υπερθέρμανσης. Η δοκιμή μηχανικής αντοχής στους διακόπτες προβλέπεται στις προδιαγραφές και ως δοκιμή σειράς, αλλά με πολύ μικρό αριθμό χειρισμών (10 κύκλοι χειρισμού), μετά από τους οποίους γίνεται οπτικός έλεγχος της στιβαρότητας των επαφών.

Η *δοκιμή βραχυκύκλωσης* δίνει πληροφορίες για τη δυναμική και τη θερμική καταπόνηση της κατασκευής από το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Η δοκιμή δηλ. ελέγχει την αντοχή στις μεγάλες δυνάμεις και θερμοκρασίες, οι οποίες αναπτύσσονται κατά το βραχυκύκλωμα, και μάλιστα για χρονικό διάστημα 1 s, μέχρι δηλ. να ενεργοποιηθούν τα μέσα προστασίας του δικτύου. Κατά τη δοκιμή μετρώνται το κρουστικό και το εναλλασσόμενο τμήμα του ρεύματος βραχυκύκλωσης – οι τιμές των ρευμάτων αυτών καθορίζονται και από την ισχύ του δικτύου στη θέση

βραχυκύκλωσης. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής, όταν μετά το πέρας της δεν έχουν αναιρεθεί το επίπεδο μόνωσης και η ικανότητα σε ονομαστικό ρεύμα (δηλ., στη συνέχεια πραγματοποιούνται στο συγκεκριμένο δοκίμιο οι διηλεκτρικές δοκιμές και η δοκιμή υπερθέρμανσης).

Όταν μία συσκευή υψηλής τάσης δεν ανταπεξέλθει επιτυχώς σε κάποια από τις προβλεπόμενες για αυτή δοκιμές τύπου και σειράς, τότε κρίνεται ακατάλληλη και η ζημιά για τον κατασκευαστή μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη, ως προς τη διαμόρφωση του κόστους και τις καθυστερήσεις σε άλλες προγραμματισμένες κατασκευές, όταν το προσωπικό παραγωγής ασχολείται με εργασίες επισκευής.

Επειδή της παραγωγής προηγείται μελέτη και κατασκευή δείγματος (το οποίο έχει υποστεί επιτυχώς τις δοκιμές τύπου και σειράς), είναι φυσικό οι τυχόν αποτυχημένες δοκιμές τύπου και σειράς να οφείλονται σε λάθη κατά την παραγωγική διαδικασία ή ακόμα σε ελαττώματα τα οποία μπορεί να έχουν οι πρώτες ύλες. Για αυτό το λόγο, προς ελαχιστοποίηση των βλαβών στην τελευταία φάση της παραγωγής, επιβάλλεται έλεγχος ποιότητας, τόσο στις πρώτες ύλες, όσο και στις διάφορες φάσεις της παραγωγής (δοκιμές πρώτων υλών και δοκιμές παραγωγής).

Οι *δοκιμές πρώτων υλών* είναι κυρίως δειγματοληπτικοί έλεγχοι οι οποίοι βασίζονται, λόγω των μεγάλων προς έλεγχο ποσοτήτων, σε κάποια μέθοδο πιθανοτήτων (π.χ. για παραγωγή μετασχηματιστών μερικές από τις δοκιμές πρώτων υλών είναι: ο έλεγχος των μονωτήρων, των μεταγωγέων τάσης, το πάχος των χρησιμοποιούμενων κατά περίπτωση μονωτικών χαρτίων, το μήκος, το σπείρωμα και το πάχος επιψευδαργύρωσης των χρησιμοποιούμενων κοχλίων, κ.τ.λ.).

Οι *δοκιμές παραγωγής* είναι μετρήσεις οι οποίες ελέγχουν την ποιότητα στις διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας, οπότε ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες για λάθη στην τελική συναρμολόγηση (π.χ. για παραγωγή μετασχηματιστών μερικές από τις δοκιμές παραγωγής είναι: ο έλεγχος των απωλειών σιδήρου πριν τοποθετηθούν τα πηνία, ο έλεγχος των επιμέρους πηνίων, η μέτρηση της σχέσης μετασχηματισμού και του τύπου ζεύξης πριν πληρωθεί ο μετασχηματιστής στο κενό με μονωτικό λάδι, κ.τ.λ.).

b) Εργαστηριακές μέθοδοι παραγωγής και μέτρησης διαφόρων μορφών τάσεων

Σκοπός των διηλεκτρικών δοκιμών σε μία ηλεκτροτεχνική κατασκευή είναι ο έλεγχος της διηλεκτρικής αντοχής, ώστε να ανταποκρίνεται η κατασκευή στις απαιτήσεις που καθορίζονται από το επίπεδο μόνωσης του δικτύου, τις υπερτάσεις χειρισμών και τις ειδικές συνθήκες στο περιβάλλον.

Οι διηλεκτρικές δοκιμές, οι οποίες προβλέπονται στις προδιαγραφές για τις διάφορες ηλεκτροτεχνικές κατασκευές, διακρίνονται, ως προς την τάση λειτουργίας U_N , σε δύο κατηγορίες:

α) Διηλεκτρικές δοκιμές για U_N μέχρι 1000 V.

β) Διηλεκτρικές δοκιμές για U_N πάνω από 1000 V.

Οι διηλεκτρικές δοκιμές για κατασκευές μέχρι 1000 V του δικτύου των 50 Hz (συχνά αναφέρεται ως βιομηχανική συχνότητα) γίνονται με εναλλασσόμενη τάση πολλαπλάσια της ονομαστικής, η οποία εφαρμόζεται μεταξύ ρευματοφόρων τμημάτων, καθώς και ρευματοφόρων τμημάτων προς γη. Ένας πίνακας π.χ. 9 ή 6 διευθύνσεων του δικτύου χαμηλής τάσης (3~, 380 V, 50 Hz) της ΔΕΗ ελέγχεται με τάση 2.5 kV επί 1 min.

Για τις κατασκευές υψηλών τάσεων προβλέπεται συνήθως στις προδιαγραφές έλεγχος της διηλεκτρικής αντοχής με υπερτάσεις χειρισμών και κεραυνών. Πρόκειται κυρίως:

α) για τη δοκιμή με εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας, η τιμή της οποίας είναι περίπου $2.5U_N$, και

β) τη δοκιμή με κρουστική τάση κεραυνικής μορφής, η μέγιστη τιμή της οποίας (U_K) είναι μερικές φορές μεγαλύτερη από την U_N .

Εκτός από τις παραπάνω βασικές δοκιμές προβλέπονται, ανάλογα με το είδος της κατασκευής, και άλλες διηλεκτρικές δοκιμές, όπως: η διεξαγωγή των παραπάνω δοκιμών σε μονωτήρες βαρέως τύπου υπό συνθήκες βροχής (οι μονωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιοχές, όπου συνήθως επικρατούν κακές καιρικές συνθήκες), η δοκιμή στάθμης θορύβου (λόγω μερικών εκκενώσεων) σε μετασχηματιστές, η μέτρηση της tgδ (η οποία γίνεται και κατά τις εργασίες συντήρησης, όπως π.χ. σε μετασχηματιστές μέτρησης και μετασχηματιστές του δικτύου μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας), κ.τ.λ.

Για να γίνουν οι δοκιμές που προαναφέρθηκαν, είναι απαραίτητο να υπάρχει στο εργαστήριο δυνατότητα παραγωγής και μέτρησης διαφόρων μορφών τάσης. Οι πιο συνηθισμένες μορφές τάσης, οι οποίες καθορίζονται από τους διάφορους κανονισμούς (IEC, VDE, κ.τ.λ.), είναι:

α) η εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας,

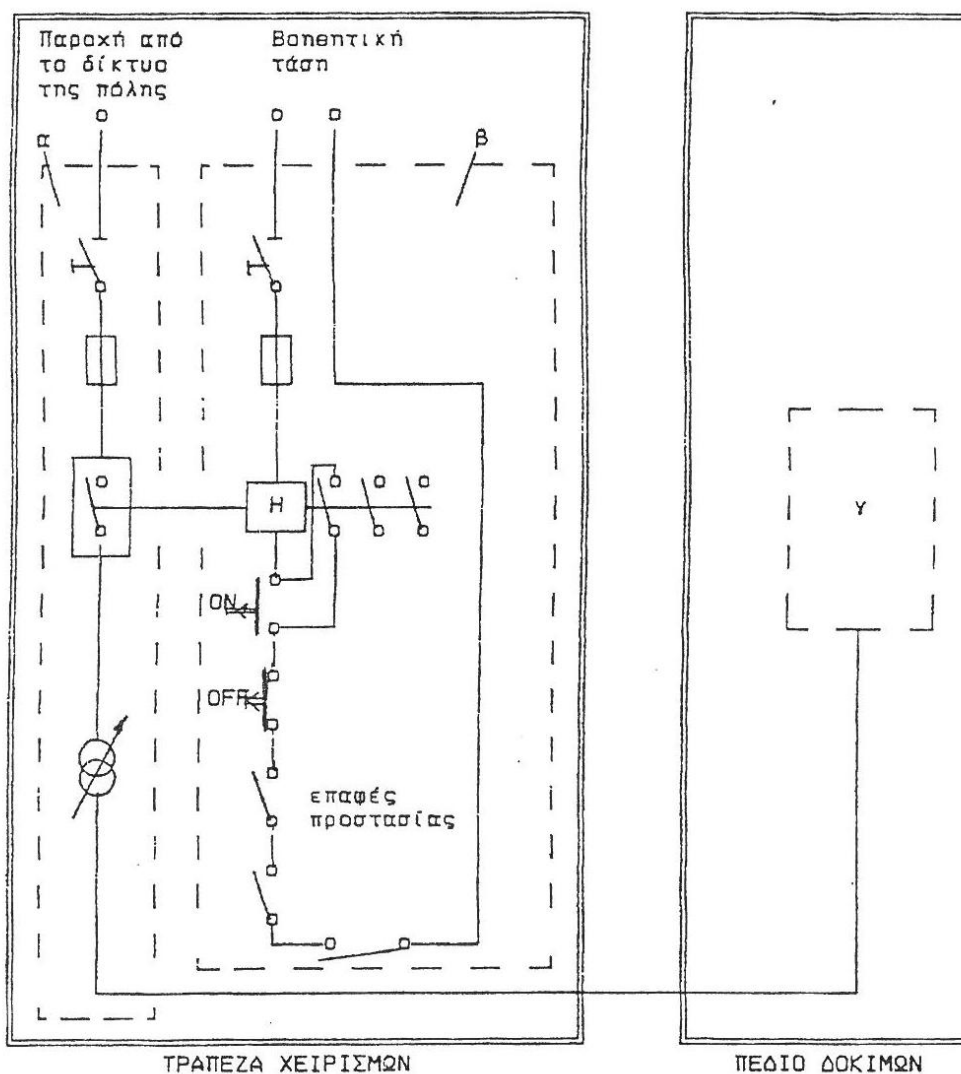
β) η συνεχής τάση, και

γ) η κρουστική τάση 1.2/50 μ s (κρουστική τάση κεραυνικής μορφής).

Στη συνέχεια της παρούσας εισαγωγικής παραγράφου εξετάζονται μέθοδοι παραγωγής και μέτρησης των παραπάνω τάσεων. Δίνονται επίσης στοιχεία για τη διεξαγωγή των διηλεκτρικών δοκιμών στις συνηθείς κατασκευές, όπως: μετασχηματιστές, πίνακες και διακόπτες. Περισσότερες πληροφορίες για τις διηλεκτρικές δοκιμές θα πρέπει να αναζητηθούν στις προδιαγραφές (VDE, IEC, GR, κ.τ.λ.).

1) Σχηματική διάταξη του βασικού κυκλώματος παραγωγής και μέτρησης διαφόρων μορφών υψηλής τάσης

Στο Σχήμα 1 δίνεται ένα μπλοκ διάγραμμα, το οποίο αφορά το κύκλωμα παραγωγής και μέτρησης υψηλών τάσεων ενός εργαστηρίου.



Σχηματική διάταξη του βασικού κυκλώματος παραγωγής και μέτρησης υψηλών τάσεων.

- α) Παροχή και ρύθμιση της χαμηλής τάσης.
- β) Κύκλωμα προστασίας.
- γ) κύκλωμα "παραγωγής-μέτρησης" της υψηλής τάσης και δοκίμιο.

Σχήμα 1

Σύμφωνα με αυτό το σχήμα, το κύκλωμα αποτελείται από:

- α) την παροχή και ρύθμιση της χαμηλής τάσης (α), (ασφαλειοαποξεύκτης, ρυθμιζόμενος μετασχηματιστής και αυτόματος διακόπτης),
- β) το κύκλωμα προστασίας (β),

γ) το κύκλωμα υψηλής τάσης (γ), (παραγωγή υψηλής τάσης, διάταξη μέτρησης και δοκίμιο).

Το κύκλωμα προστασίας επενεργεί, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, στον αυτόματο διακόπτη χαμηλής τάσης (προστασία υπερέντασης). Με άλλες επίσης βοηθητικές επαφές προστασίας (διακόπτες τέρματος στις πόρτες του πεδίου δοκιμών, διακόπτης κινδύνου της τράπεζας χειρισμών, κ.τ.λ.) διακόπτεται αμέσως η παροχή της τάσης προς το πεδίο δοκιμών.

Μέσω της τράπεζας χειρισμών (κύκλωμα παροχής και ρύθμισης της χαμηλής τάσης, κύκλωμα προστασίας) τροφοδοτείται, στο πεδίο δοκιμών, η διάταξη παραγωγής της υψηλής τάσης.

Το πεδίο δοκιμών χωρίζεται από τον υπόλοιπο χώρο του εργαστηρίου με κιγκλιδώματα γειωμένα, ύψους περίπου 2 m. Η είσοδος στο πεδίο δοκιμών είναι ασφαλής, γιατί όταν οι πόρτες του παραμένουν ανοιχτές, οι διακόπτες τέρματος στις πόρτες δεν επιτρέπουν την παροχή τάσης, για να κλείσει ο αυτόματος διακόπτης χαμηλής τάσης της τράπεζας χειρισμών. Επίσης, η είσοδος σε αυτό επισημαίνεται με ενδεικτικές πινακίδες, φωτεινές ενδείξεις και γενικές οδηγίες προστασίας.

Στο πεδίο δοκιμών υπάρχει γειωτής (συνήθως μία ράβδος γείωσης), για την προστασία έναντι ηλεκτροστατικών φορτίων κατά την είσοδο στο πεδίο δοκιμών (υπενθυμίζεται ότι σε περίπτωση διακοπής της τάσης σε έναν ιδανικό πυκνωτή, υπάρχει σε αυτόν τάση U_0/ϵ_r , προ της εκφόρτισής του. Συνιστάται η ανάρτηση της ράβδου γείωσης, επί ενός τερματοδιακόπτη (εκτός του πεδίου δοκιμών), ώστε να εξαρτάται και από αυτόν η παροχή τάσης προς το πηνίο του αυτόματου διακόπτη της τράπεζας χειρισμών (και επομένως και η παροχή τάσης προς το πεδίο δοκιμών).

Ένα παράδειγμα κανονισμού λειτουργίας ενός πεδίου δοκιμών αναφέρεται στην επόμενη σελίδα. Ο κανονισμός θα πρέπει να είναι αναρτημένος σε εμφανή θέση του εργαστηρίου.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ

1) Η είσοδος στο χώρο υψηλής τάσης

Το πεδίο δοκιμών χωρίζεται από τον χώρο χειρισμών με προσγειωμένα μεταλλικά πλέγματα, επί των οποίων υπάρχουν οι φωτεινές ενδείξεις λειτουργίας (λυχνία κόκκινου χρώματος: η εγκατάσταση είναι υπό υψηλή τάση, λυχνία πράσινου χρώματος: η εγκατάσταση δεν έχει υψηλή τάση).

Η πόρτα εισόδου στο πεδίο δοκιμών είναι εφοδιασμένη με ηλεκτρική επαφή (τερματοδιακόπτης). Με τον τρόπο αυτό υπάρχει αδυναμία παροχής τάσης στο πεδίο δοκιμών, όταν η πόρτα είναι ανοιχτή.

Ο φορητός γειωτής πρέπει να αναρτηθεί στον τερματοδιακόπτη (ανοικτή επαφή), που είναι εγκατεστημένος παραπλεύρως της πόρτας εισόδου προς το πεδίο δοκιμών. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει αδυναμία παροχής τάσης στο πεδίο δοκιμών, όταν ο γειωτής έχει ξεχαστεί σε μία θέση προσγείωσης της εγκατάστασης.

2) Αποστάσεις προστασίας ανάλογα με την τιμή της τάσης

[kV]	50	100	200	500
[m]	0.5	0.8	1.5	3.0

3) Η είσοδος στο πεδίο δοκιμών μετά από κάποια δοκιμή

Κατά την είσοδο στο πεδίο δοκιμών, μετά από κάποια δοκιμή, απαιτείται προσγείωση της εγκατάστασης μέσω φορητού γειωτή (κοντάρι γείωσης) κατά την παρακάτω σειρά:

- διακοπή της παροχής τάσης προς το πεδίο δοκιμών
- προσγείωση και στους δύο πόλους πυκνωτών υψηλής τάσης
- προσγείωση των μετασχηματιστών υψηλής τάσης

Προσοχή: Ο φορητός γειωτής επιτρέπεται να απομακρύνεται μόνο από το χειριστή, όταν όλοι οι παρευρισκόμενοι στο χώρο του εργαστηρίου βρίσκονται εκτός του πεδίου δοκιμών.

4) Η εκτέλεση των δοκιμών

α) Οι χειρισμοί γίνονται από ένα και μόνο υπεύθυνο άτομο, το οποίο έχει και την αποκλειστική ευθύνη.

β) Συζητήσεις, υποδείξεις, κ.τ.λ. απαγορεύονται κατά τη διάρκεια των χειρισμών, γιατί αποσπούν την προσοχή του χειριστή.

γ) Ο υπεύθυνος χειριστής να είναι έτοιμος, σε περίπτωση που παρατηρηθεί οποιαδήποτε ανωμαλία, να διακόψει την παροχή τάσης προς το πεδίο δοκιμών, χωρίς να αναζητήσει την αιτία.

2) Παραγωγή και μέτρηση εναλλασσόμενης υψηλής τάσης βιομηχανικής συχνότητας

Βασικό στοιχείο του κυκλώματος είναι ο μετασχηματιστής δοκιμών υψηλής τάσης (Μ/Σ) με πρωτεύον τύλιγμα τη χαμηλή τάση (συνήθως 220 V) και δευτερεύον την υψηλή τάση. Πρόκειται για ειδική κατασκευή, η οποία, εκτός των γενικών απαιτήσεων για κάθε μετασχηματιστή, πρέπει να έχει μεγάλη ισχύ βραχυκύκλωσης στο δευτερεύον (υψηλή τάση) και να μην εισάγει αρμονικές στην εναλλασσόμενη υψηλή τάση.

Στο σχήμα 2 δίνεται ένα απλοποιημένο κύκλωμα παραγωγής εναλλασσόμενης υψηλής τάσης, η μέτρηση της οποίας μπορεί να γίνει με μία από τις παρακάτω μεθόδους, δηλ.:

α) μέτρηση της τάσης του πρωτεύοντος (U_1),

β) μέτρηση της τάσης του δευτερεύοντος (U_2) σε έναν παλμογράφο, μέσω καταμεριστή τάσης (C_H , C_N),

γ) μέτρηση της τάσης του δευτερεύοντος (U_2) σε υπολογιστή (PC) μέσω A/D και καταμεριστή τάσης (C_H , C_N),

δ) μέτρηση με το όργανο μεγίστου (U),

ε) μέτρηση με το ηλεκτροστατικό βολτόμετρο,

στ) μέτρηση μέσω μετασχηματιστή τάσης (Μτ),

ζ) μέτρηση με τον σπινθηριστή σφαιρών (Σπ).

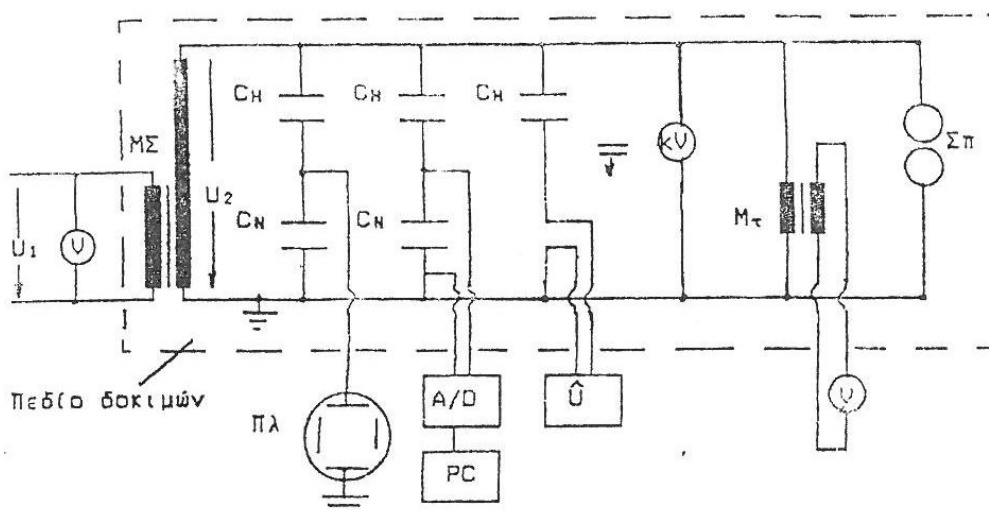
Η ακρίβεια των παραπάνω μεθόδων, η περιοχή τάσης όπου συνήθως εφαρμόζονται, καθώς και άλλοι συνδυασμοί για τη μέτρηση της υψηλής τάσης αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

α/α	Διάταξη Μέτρησης	Περιοχή Τάσης (όπου χρησιμοποιείται συνήθως η μέθοδος) kV	Ακρίβεια %
1	μέτρηση στο πρωτεύον του μετασχηματιστή	1-350	-
2	χωρητικός καταμεριστής και παλμογράφος	α) χρησιμοποιείται για ερευνητικούς σκοπούς β) χρησιμοποιείται σε δοκιμές όπου απαιτείται λήψη φωτογραφιών	

Μέθοδοι μέτρησης εναλλασσόμενης υψηλής τάσης

3	χωρητικός καταμεριστής και A/D μετατροπέας	χρησιμοποιείται για ερευνητικούς σκοπούς	
4	χωρητικός καταμεριστής και όργανο μεγίστου (ή ηλεκτροστατικό βολτόμετρο)	1-1500(3500)	1
5	ηλεκτροστατικό βολτόμετρο (κατά Starke και Schrader)	1-350	0.01-1
6	μέτρηση μέσω μετασχηματιστή τάσης	1-300	0.1
7	σπινθηριστής σφαιρών (Φ 2-200 cm)	1-2000	3
8	ωμικός καταμεριστής και όργανο μεγίστου (ή ηλεκτροστατικό βολτόμετρο)	1-150	1

Μέθοδοι μέτρησης εναλλασσόμενης υψηλής τάσης-Συνέχεια



Απλοποιημένο κύκλωμα παραγωγής και μέτρησης εναλλασσόμενης υψηλής τάσης.

M/Σ : Μετασχηματιστής υψηλής τάσης.

C_H : Πυκνωτής υψηλής τάσης.

C_N : Χωρητικό τετράπολο μέτρησης.

$\Pi\lambda$: Παλμογράφος.

A/D: Αναλογικός-ψηφιακός μετατροπέας σε συνδυασμό με ηλεκτρονικό υπολογιστή (PC).

U : Όργανο ένδειξης της μέγιστης τιμής (ή αντί αυτού ηλεκτροστατικό βολτόμετρο).

: Ηλεκτροστατικό βολτόμετρο.

$M\tau$: Μετασχηματιστής τάσης.

$\Sigma\pi$: Σπινθηριστής σφαιρών.

Σχήμα 2

Από τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιείται συνήθως στην πράξη το όργανο μεγίστου.

Η συσκευή των Starke και Schraeder έχει μεγάλη ακρίβεια, αλλά δεν διευκολύνει στις μετρήσεις ποιοτικού ελέγχου.

Ο παλμογράφος έχει εφαρμογή σε μετρήσεις διερεύνησης φαινομένων, σε περιπτώσεις που ενδιαφέρει η παρακολούθηση κυματομορφών (κυρίως η χρονική εκδήλωση των μερικών εκκενώσεων). Στην πράξη χρησιμοποιείται για τη λήψη παλμογραφημάτων (π.χ. παλμογραφήματα των διηλεκτρικών δοκιμών υπό κρουστική τάση).

Η μέθοδος μέτρησης μέσω A/D μετατροπέα έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια. Χρησιμοποιείται για ερευνητικούς σκοπούς (συνήθως μέχρι 100 kV). Έχει το πλεονέκτημα ότι οι μετρήσεις μπορούν να επεξεργαστούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ο σπινθηριστής σφαιρών είναι η πλέον ανακριβής μέθοδος, καταλαμβάνει χώρο στο εργαστήριο, βραχυκυκλώνει τη διάταξη μέτρησης και δυσκολεύει το έργο του χειριστή σε περιπτώσεις αυξομειώσεων της τάσης. Για την επιλογή της απαιτούμενης διαμέτρου (D) της σφαίρας ισχύει γενικά ότι:

$$D \text{ σε mm} > U \text{ σε kV}$$

Για την ακριβή μέτρηση μέσω σπινθηριστή σφαιρών υπάρχουν πίνακες τιμών d και U (όπου d η απόσταση μεταξύ των σφαιρών), οι οποίοι θα πρέπει να αναζητηθούν σε ειδική βιβλιογραφία.

Τέλος, η χρησιμοποίηση των ωμικών καταμεριστών περιορίζεται μέχρι τα 150 kV, γιατί η ανεπιθύμητη αυτεπαγωγή και χωρητικότητα που έχουν οι αντιστάσεις δημιουργεί προβλήματα στον καταμερισμό της τάσης.

3) Παραγωγή και μέτρηση υψηλών συνεχών τάσεων

Η παραγωγή υψηλών συνεχών τάσεων γίνεται συνήθως με ανόρθωση της εναλλασσόμενης υψηλής τάσης (απλή ανόρθωση, διπλή ανόρθωση, γέφυρα Greinacher, κ.τ.λ.). Τα ανορθωτικά στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα παραγωγής και μέτρησης συνεχών υψηλών τάσεων είναι κυρίως ξηρού τύπου. Παλαιότερα είχαν εφαρμογή μηχανικοί ανορθωτές, λυχνίες κενού και υδραργυρικοί ανορθωτές.

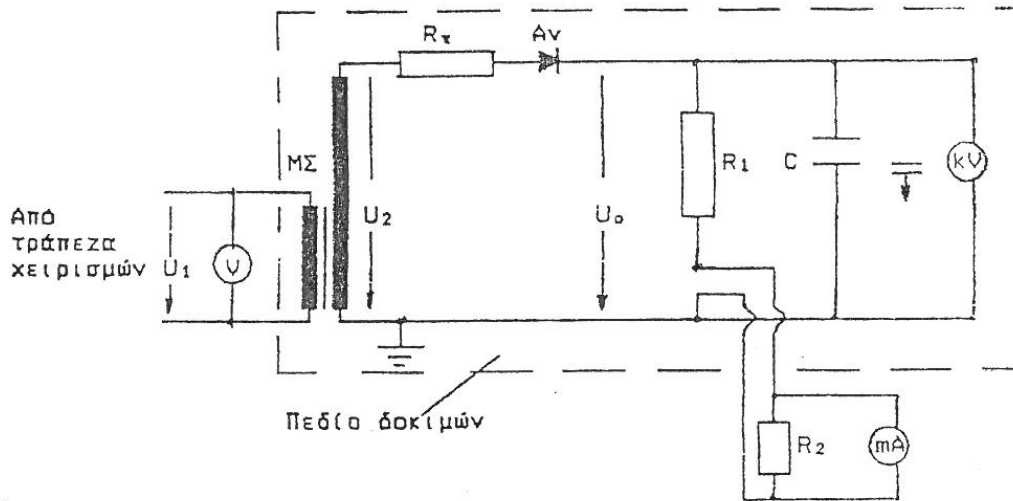
Στο Σχήμα 3 δίνεται ένα παράδειγμα απλής ανόρθωσης με δύο διαφορετικές μεθόδους μέτρησης της υψηλής συνεχούς τάσης (U_0).

Η συνήθως χρησιμοποιούμενη στην πράξη μέθοδος είναι του μιλλιαμπερομέτρου. Για τη μέση τιμή $U_{0μ}$ κατά την απλή ανόρθωση ισχύει η σχέση:

$$U_{0μ} = 0.45015 \cdot U_2$$

Η τιμή U_0 κατά την διπλή ανόρθωση είναι:

$$U_{0μ} = 0.9003 \cdot U_2$$



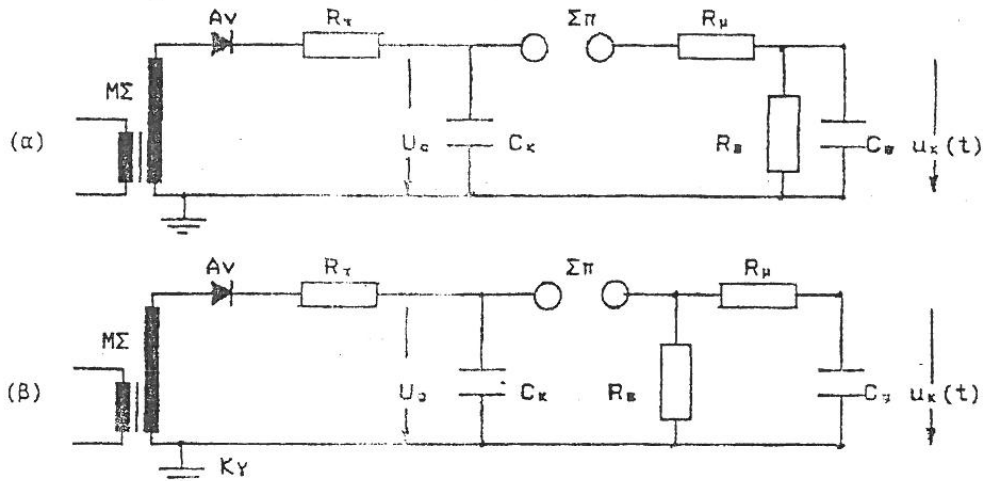
- Απλοποιημένο κύκλωμα παραγωγής και μέτρησης υψηλών συνεχών τάσεων.
- M/Σ : Μετασχηματιστής υψηλής τάσης.
- R_π : Αντίσταση προστασίας.
- Αν : Ανορθωτής.
- R₁ : Αντίσταση υψηλής τάσης.
- R₂ : Αντίσταση χαμηλής τάσης (shunt).
- mA : Μιλιαμπερόμετρο βαθμολογημένο σε kV.
- C : Πυκνωτής υψηλής τάσης (πυκνωτής εξομάλυνσης).
- : Ηλεκτροστατικό βολτόμετρο (συσκευή κατά τους Starke και Schröder).
- U₀ : Υψηλή συνεχής τάση.

Σχήμα 3

4) Παραγωγή και μέτρηση κρουστικών τάσεων

Οι παραγόμενες στο εργαστήριο υψηλές κρουστικές τάσεις προσομοιώνουν συνήθως τις υπερτάσεις από τους κεραυνούς (μορφή τάσης 1.2/50 μs). Παράγονται επίσης υπερτάσεις χειρισμών (ή υπερτάσεις ζεύξης), οι οποίες είναι της μορφής 250/2500 μs. Οι δύο παραπάνω μορφές τάσης είναι τυποποιημένες ως τάσεις δοκιμών. Άλλες μορφές κρουστικών τάσεων (όπως η 10/200 μs, η 100/2500 μs, κ.τ.λ.) χρησιμεύουν, εκτός από την 1.2/50 μs και την 250/2500 μs, για μετρήσεις διερεύνησης φαινομένων (κυρίως των μερικών εκκενώσεων).

Στο Σχήμα 4 δίνονται τα βασικά κυκλώματα μίας μονοβάθμιας γεννήτριας κρουστικών τάσεων (κύκλωμα α και κύκλωμα β, όπως αποκαλούνται στη βιβλιογραφία).



Βασικά κυκλώματα μονοβάθμιας γεννήτριας κρουστικών τάσεων (κύκλωμα α και κύκλωμα β).

M/Σ : Μετασχηματιστής υψηλής τάσης.

Κγ : Κρουστική γη.

Αν : Ανορθωτής.

R_{τ} : Αντίσταση προστασίας.

C_{κ} : Πυκνωτής κρούσης.

$\Sigma\pi$: Σπινθηριστής σφαιρών.

R_{μ} : Αντίσταση μετώπου.

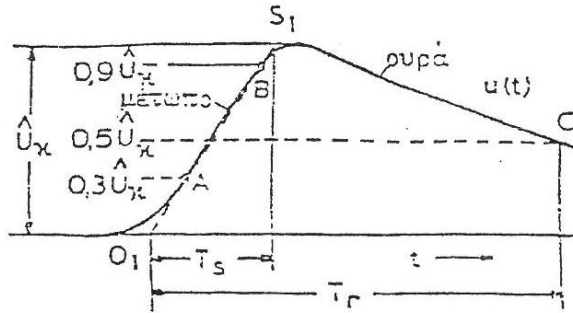
R_{ϵ} : Αντίσταση ουράς.

C_{ϕ} : Πυκνωτής φορτίου.

U_0 : Συνεχής υψηλή τάση.

Σχήμα 4

Σύμφωνα με το κύκλωμα α (ή το κύκλωμα β), ο πυκνωτής κρούσης (C_{κ}) φορτίζεται με συνεχή τάση και ακολούθως εκφορτίζεται μέσω του σπινθηριστή σφαιρών ($\Sigma\pi$) στο τμήμα εκφόρτισης (R_{μ} , R_{ϵ} και C_{ϕ}). Με αυτόν τον τρόπο παράγεται η κρουστική τάση $u_{\kappa}(t)$, η τυποποιημένη μορφή της οποίας δίνεται στο Σχήμα 5.



Χαρακτηρισμός των μεγεθών μίας κρουστικής τάσης.

\hat{U}_x : Μέγιστη τιμή

T_s : Διάρκεια μετώπου

T_r : Διάρκεια μισού εύρους της ουράς

Σχήμα 5

Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό, η κρουστική τάση χαρακτηρίζεται κατά τους κανονισμούς (VDE, IEC, κ.τ.λ.) από τη διάρκεια του μετώπου (T_s) και εκείνη του μισού εύρους της ουράς (T_r). Η τυποποιημένη κεραυνική υπέρταση μορφής τάσης 1.2/50 μs έχει δηλ.: $T_s = 1.2 \mu\text{s}$ και $T_r = 50 \mu\text{s}$.

Για τον υπολογισμό των στοιχείων της μονοβάθμιας γεννήτριας κρουστικών τάσεων της μορφής 1.2/50 μs , κατά το κύκλωμα (α) του Σχήματος 4, ισχύουν οι προσεγγιστικές σχέσεις:

$$T_s \cong 2.5 \frac{R_\mu R_\epsilon}{R_\mu + R_\epsilon} \frac{C_\varphi C_\kappa}{C_\varphi + C_\kappa}$$

$$\text{και } T_r = 0.72(R_\mu + R_\epsilon)(C_\varphi + C_\kappa)$$

Επίσης, για το κύκλωμα (β) του Σχήματος 4, ισχύουν οι σχέσεις:

$$T_s \cong 2.5 R_\mu \frac{C_\varphi C_\kappa}{C_\varphi + C_\kappa}$$

$$\text{και } T_r = 0.72 R_\epsilon (C_\varphi + C_\kappa)$$

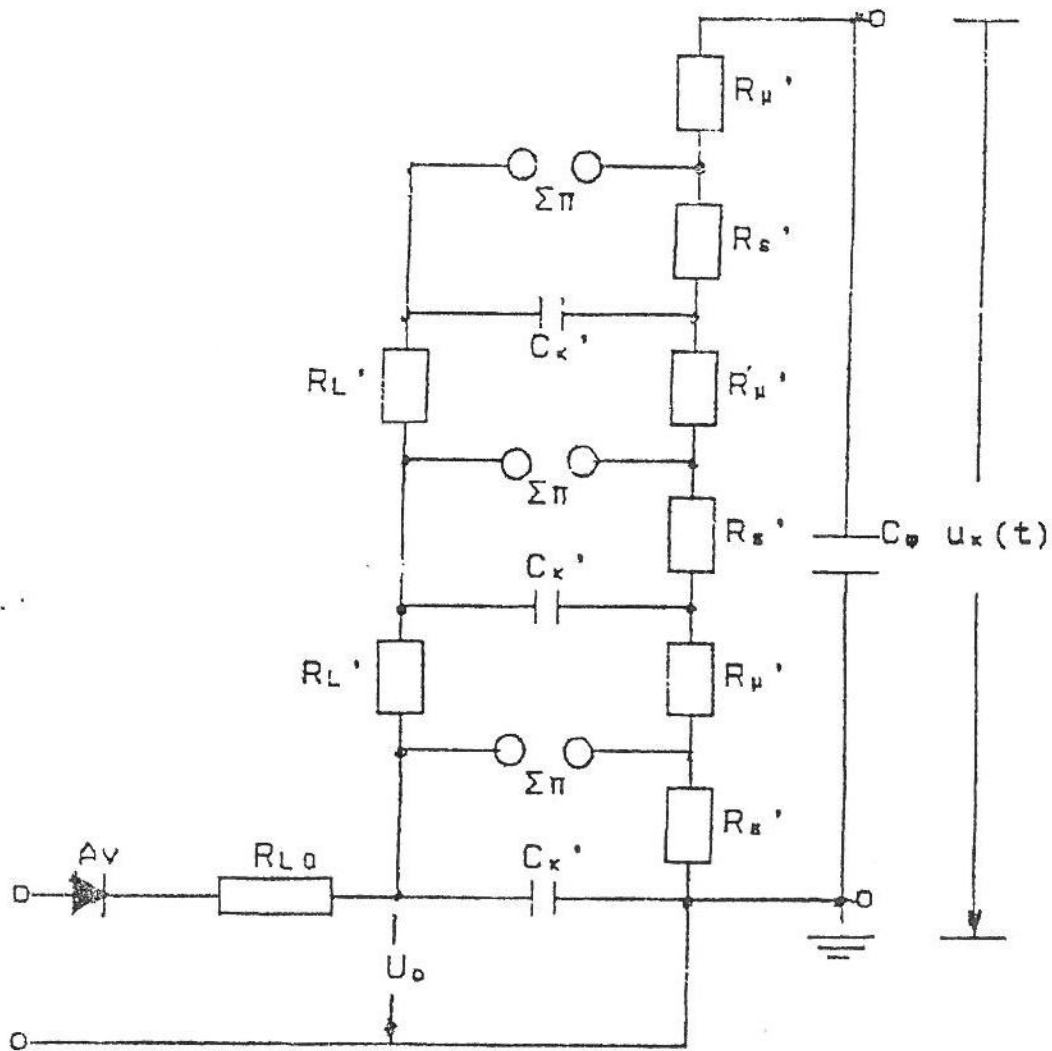
Ο συντελεστής χρησιμοποίησης (η) της μονοβάθμιας γεννήτριας δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{U_\kappa}{U_0} \leq \frac{C_\kappa}{C_\varphi + C_\kappa}$$

Η ενέργεια φόρτισης της γεννήτριας αυτής δίνεται από τη σχέση:

$$W_k = \frac{1}{2} C_k U_0^2$$

Για την παραγωγή υψηλών μέγιστων τιμών U_k χρησιμοποιούνται πολυβάθμιες γεννήτριες (Σχήμα 6).



Πολυβάθμια γεννήτρια κρουστικών τάσεων

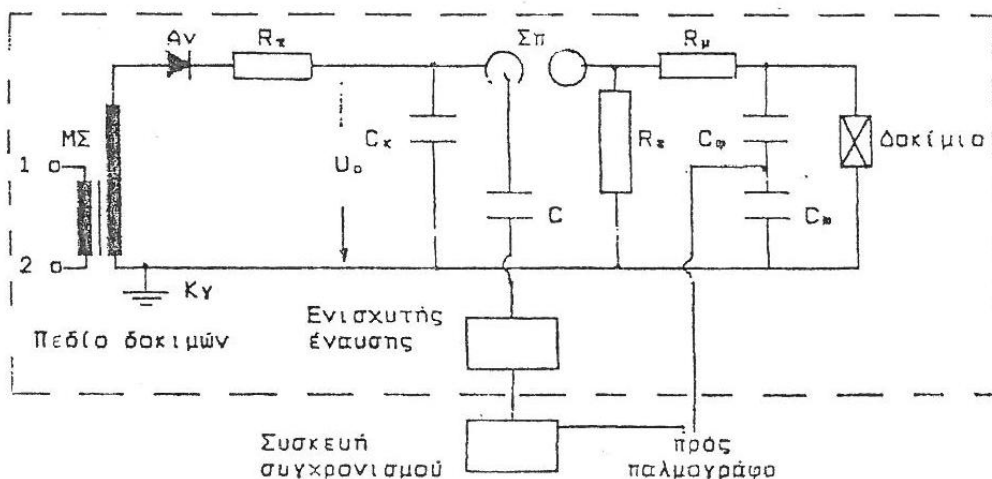
Σχήμα 6

Η αρχή λειτουργίας των γεννητριών αυτών στηρίζεται στην παράλληλη φόρτιση των πυκνωτών φόρτισης (C_k') όλων των βαθμίδων και ακολούθως στην εν σειρά εκφόρτισή τους, μέσω των αντίστοιχων σπινθηριστών σφαιρών ($\Sigma\pi$).

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης και η ενέργεια φόρτισης μίας πολυβάθμιας γεννήτριας κρουστικών τάσεων υπολογίζονται από το ισοδύναμο κύκλωμα της αντίστοιχης μονοβάθμιας. Έτσι για την πολυβάθμια γεννήτρια του σχήματος 6, η οποία αντιστοιχεί σε μονοβάθμια του κυκλώματος β, οι σχέσεις ισοδυναμίας είναι:

$$U_0 = \eta U_0' \quad R_\mu = \eta R_\mu' \quad C_k = \frac{1}{\eta} C_k' \quad R_\varepsilon = \eta R_\varepsilon'$$

Στο Σχήμα 7 δίνεται ένα απλοποιημένο κύκλωμα παραγωγής και μέτρησης κρουστικών τάσεων.



Απλοποιημένο κύκλωμα παραγωγής και μέτρησης κρουστικών τάσεων. 1,2: Από τράπεζα χειρισμών.

Σχήμα 7

Μέσω μίας συσκευής συγχρονισμού επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη έναυση της γεννήτριας και η εμφάνιση της κρουστικής τάσης στον παλμογράφο. Η έναυση αυτή στο κύκλωμα αυτό προκαλείται από ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο μέσα στη μία σφαίρα, με τη βοήθεια ενός ενισχυτή έναυσης και ενός πυκνωτή C. Μεταξύ του βοηθητικού αυτού ηλεκτροδίου και της σφαίρας δημιουργείται ένας μικρός σπινθήρας, με αποτέλεσμα να προκαλείται από τα παραγόμενα ιόντα η διάσπαση του διακένου των δύο σφαιρών (εννοείται ότι η απόσταση του διακένου των σφαιρών έχει ρυθμιστεί ανάλογα με την τάση φόρτισης του πυκνωτή C_k , ώστε να συμβεί η διάσπαση). Σε σύγχρονες γεννήτριες ο ενισχυτής έναυσης και ο πυκνωτής C έχουν

αντικατασταθεί από μία οπτική ίνα μεταξύ συσκευής έναυσης και ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος έναυσης, η οποία βρίσκεται μέσα στη σφαίρα.

Περισσότερες πληροφορίες για τις διάφορες δυνατότητες μέτρησης κρουστικών τάσεων (ακρίβεια μέτρησης, κ.τ.λ.) αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα. Για ερευνητικούς σκοπούς (όπως π.χ. μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων) έχουν εφαρμογή, αντί του κρουστικού παλμογράφου, A/D μετατροπείς σε συνδυασμό με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

α/α	Διάταξη Μέτρησης	Τάση kV	Ακρίβεια %
1	χωρητικός καταμεριστής με όργανο μεγίστου	1-1500	1-5
2	χωρητικός καταμεριστής με κρουστικό παλμογράφο		
3	ωμικός καταμεριστής με όργανο μεγίστου		
4	ωμικός καταμεριστής με κρουστικό παλμογράφο		
5	χωρητικός- ωμικός καταμεριστής με όργανο μεγίστου		
6	χωρητικός- ωμικός καταμεριστής με κρουστικό παλμογράφο		

Μέθοδοι μέτρησης κρουστικών τάσεων

c) Η τιμή της τάσης για τη δοκιμή με εναλλασσόμενη τάση (50 Hz, 1 min) και με κρουστική τάση

Κατά την πραγματοποίηση σε μία ηλεκτροτεχνική κατασκευή της δοκιμής με εναλλασσόμενη τάση (50 Hz επί 1 min) ή κρουστική τάση, ελέγχεται στην ουσία η διηλεκτρική αντοχή ενός πυκνωτή, η τιμή του οποίου ισοδυναμεί με τη συνολική χωρητικότητα της κατασκευής μεταξύ των σημείων εφαρμογής της τάσης. Η τάση δοκιμής καθορίζεται στις προδιαγραφές, από πίνακες τιμών, ανάλογα με την τάση λειτουργίας της κατασκευής, η οποία χαρακτηρίζεται ως ονομαστική τάση ή τάση σειράς. Στην περίπτωση της δοκιμής με κρουστική τάση εφαρμόζονται συνήθως 5 κρούσεις θετικής πολικότητας ανά φάση και 5 κρούσεις αρνητικής πολικότητας ανά φάση.

Το κριτήριο της επιτυχούς δοκιμής δεν είναι μόνο το να μη συμβεί η διάσπαση, αλλά και το ταυτόσημο των παλμογραφημάτων (που είναι μία ένδειξη ηλεκτροστατικής συμπεριφοράς της κατασκευής).

Η απαίτηση των προδιαγραφών για μεγαλύτερη τάση δοκιμής κατά την αρνητική πολικότητα (από ότι κατά τη θετική πολικότητα) εξηγείται από το φαινόμενο της πολικότητας.

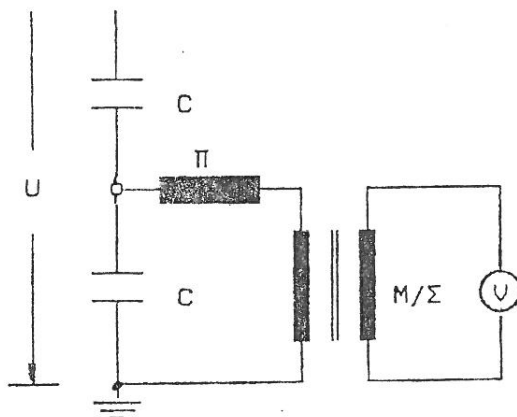
§ 2

Μετασχηματιστές μέτρησης

a) Γενικά περί μετασχηματιστών μέτρησης

Σκοπός των μετασχηματιστών μέτρησης είναι η παροχή τάσης και ρεύματος σε κυκλώματα μετρήσεων και προστασίας. Έτσι, διακρίνονται σε μετασχηματιστές έντασης και μετασχηματιστές τάσης. Η κατασκευή τους χαρακτηρίζεται στην πράξη από το σχήμα του σιδηροπυρήνα (δακτύλιος, μανδύας, πόλος), την περιέλιξη, (δύο περιελίξεις, ζυγός-περιέλιξη) και το περιβάλλον ηλεκτρομονωτικό μέσο (αέρας, ρητίνη, μονωτικό λάδι και SF₆). Οι μετασχηματιστές ρητίνης χρησιμοποιούνται σε τάσεις μέχρι 30 kV και οι ελαίου μέχρι 380 kV. Οι μετασχηματιστές μέτρησης με SF₆ έχουν ήδη εφαρμογές, λόγω των σημαντικών διηλεκτρικών και φυσικών ιδιοτήτων του αερίου αυτού, συγκριτικά προς τον αέρα και το μονωτικό λάδι.

Για μεγάλες τιμές της τάσης χρησιμοποιούνται χωρητικοί μετασχηματιστές μέτρησης. Στο Σχήμα 8 δίνεται η αρχή λειτουργίας των χωρητικών μετασχηματιστών.



Βασικό κύκλωμα του χωρητικού Μ/Σ μέτρησης.

C, C : χωρητικός καταμεριστής

Π : πηνίο

Μ/Σ : μετασχηματιστής τάσης (με πρωτεύον 10÷20kV)

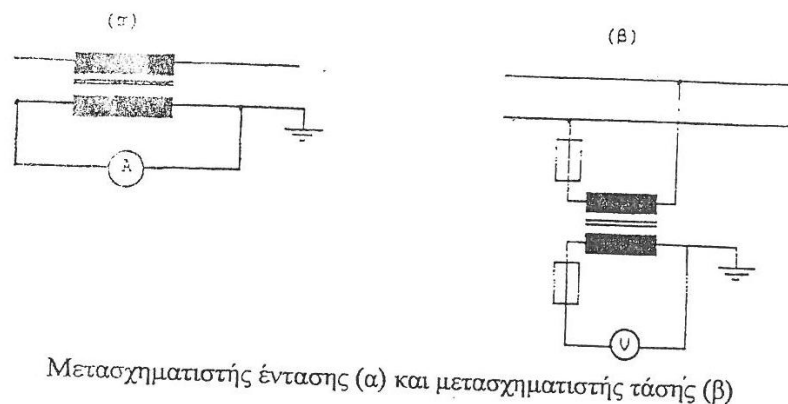
U : υψηλή τάση

Σχήμα 8

Όταν το πηνίο (Π) ρυθμιστεί σε κατάσταση συντονισμού, τότε η χωρητική αντίσταση του καταμεριστή αντισταθμίζει την επαγωγική αντίσταση του πηνίου Π και του μετασχηματιστή. Το μέγεθος και η φασική γωνία της μετρούμενης τάσης δεν εξαρτάται από το πηνίο.

b) Βασικά στοιχεία για το κύκλωμα στο δευτερεύον (χαμηλή τάση)

Στο Σχήμα 9 δίνεται το κύκλωμα ενός μετασχηματιστή έντασης (α) και ενός μετασχηματιστή τάσης (β).



Σχήμα 9

Παρατηρεί κανείς ότι το κύκλωμα του μετασχηματιστή τάσης ασφαλίζεται, ενώ το κύκλωμα του μετασχηματιστή έντασης δεν ασφαλίζεται. Αυτό συμβαίνει γιατί:

α) ο μετασχηματιστής τάσης κατασκευάζεται για να λειτουργεί πρακτικά στο κενό και για το λόγο αυτό προστατεύεται από τυχόν βραχυκύκλωμα στην έξοδό του.

β) ο μετασχηματιστής έντασης κατασκευάζεται για να λειτουργεί πρακτικά σε βραχυκύκλωμα, που σημαίνει ότι πρέπει να αποκλείεται η λειτουργία του στο κενό, λόγω της οποίας συντρέχουν λόγοι καταστροφής του από την υπέρμετρη τιμή του ρεύματος μαγνήτισης. Για αυτό, δεν πρέπει να τοποθετείται ασφάλεια στο κύκλωμά του, ή να λειτουργεί χωρίς το φορτίο του. Είναι επίσης φανερό, ότι επιβάλλεται, σε περίπτωση αφαίρεσης του φορτίου, η βραχυκύκλωση της εξόδου του μετασχηματιστή.

c) Γέφυρες μέτρησης μετασχηματιστών έντασης και τάσης

Οι διάφορες γέφυρες μέτρησης βασίζονται συνήθως στην σύγκριση του προς μέτρηση μετασχηματιστή με έναν πρότυπο μετασχηματιστή. Πρόκειται ουσιαστικά για μεθόδους αντιστάθμισης. Οι μετρήσεις μέσω των γεφυρών αφορούν κυρίως τα σφάλματα ρεύματος, τάσης και γωνίας. Η ακρίβεια μέτρησης με γέφυρες, οι οποίες έχουν κατασκευαστεί μόνο για μετρήσεις σε μετασχηματιστές έντασης και τάσης, είναι για σφάλματα έντασης και τάσης της τάξης $\pm 0.01\%$ και για σφάλματα γωνίας $\pm 0.3\%$. Η ακρίβεια της μέτρησης μέσω γεφυρών, οι

οποίες χρησιμεύουν και για άλλες μετρήσεις με τη μέθοδο της αντιστάθμισης (π.χ.: τάση, ένταση, χωρητικότητα, αυτεπαγωγή, κ.τ.λ.), είναι της τάξης $\pm 0.1\%$.

Με τη γέφυρα Schering γίνονται κυρίως μετρήσεις του συντελεστή απωλειών και της χωρητικότητας. Συντελεστής απωλειών 0.25-0.5% θεωρείται ιδανικός για τους μετασχηματιστές μέτρησης του δικτύου υψηλής και υπερυψηλής τάσης. Η χωρητικότητα των μετασχηματιστών αυτών είναι συνήθως 200-400 pF.

d) Διηλεκτρικές δοκιμές, μερικές εκκενώσεις, δοκιμή ανύψωσης της θερμοκρασίας και η αντοχή στο βραχυκύκλωμα

Η αξιοπιστία των μετασχηματιστών μέτρησης στο δίκτυο (και γενικά όλου του εξοπλισμού) διασφαλίζεται με δοκιμές ποιοτικού ελέγχου. Έτσι, εκτός από τις μετρήσεις των σφαλμάτων πραγματοποιούνται κυρίως: οι διηλεκτρικές δοκιμές, η δοκιμή ανύψωσης της θερμοκρασίας και η δοκιμή βραχυκύκλωσης.

Η πινακίδα ενός μετασχηματιστή μέτρησης δίνει τις βασικές πληροφορίες για το επίπεδο μόνωσης, τα ονομαστικά στοιχεία του και την κλάση ακριβείας του.

Η μέτρηση των μερικών εκκενώσεων μέσω ειδικών συσκευών αφορούν κυρίως την εμφάνιση της εκδήλωσης τους σε ένα όργανο μηδενισμού μίας γέφυρας, σε συνδυασμό με μετρήσεις μεγεθών, τα οποία τις χαρακτηρίζουν.

Μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων στην περιοχή των MHz γίνονται με συσκευές, οι οποίες είναι δέκτες του παραγόμενου θορύβου. Οι μερικές εκκενώσεις μπορούν επίσης να ανιχνευτούν με κρουστικές τάσεις, όπως γίνεται στη διερεύνηση των φαινομένων προ και κατά τη διάσπαση των στερεών μονωτικών (η μέθοδος όμως αυτή δεν προβλέπεται στις προδιαγραφές).

e) Μετρήσεις σε μετασχηματιστές μέτρησης, οι οποίοι ήδη λειτουργούν στο δίκτυο υψηλής και υπερυψηλής τάσης

Οι μετρήσεις αυτές διακρίνονται στην πράξη:

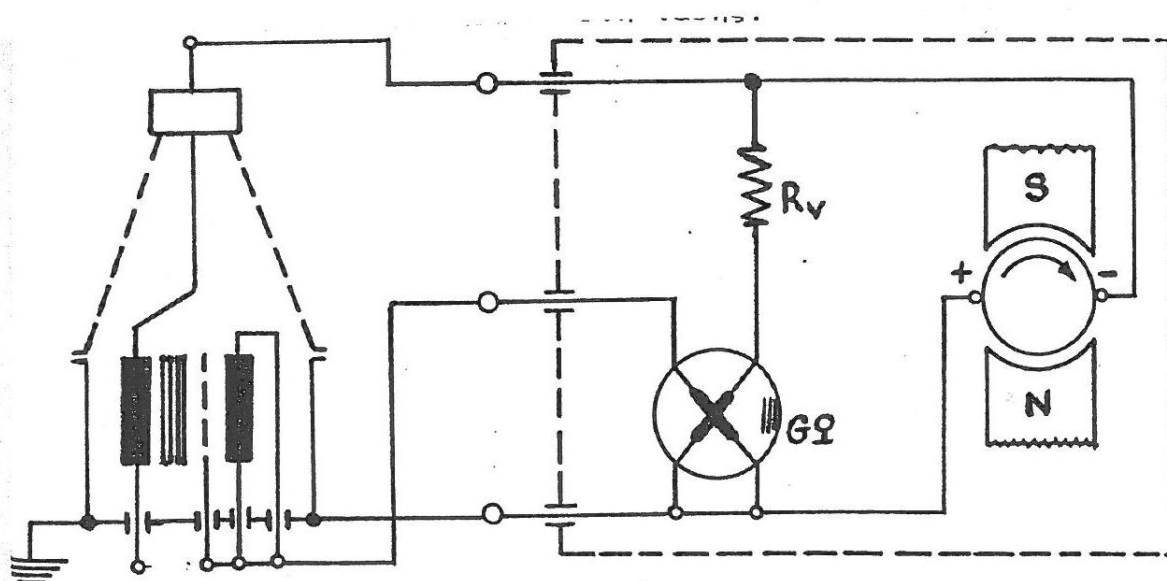
α) στις εργαστηριακές μετρήσεις (μετά από συντήρηση του μετασχηματιστή). Πρόκειται κυρίως για μέτρηση του συντελεστή απωλειών $\text{tg}\delta$, της χωρητικότητας και των μερικών εκκενώσεων, μετά από αφύγρανση των τυλιγμάτων και αλλαγή του μονωτικού ελαίου υπό συνθήκες κενού. Με τις μετρήσεις αυτές μπορούν να δοθούν πληροφορίες για τη μέγιστη υπολειπόμενη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή (αν δεχτεί κανείς ότι η μόνωσή τους αποτελείται κυρίως από χαρτί εντός μονωτικού ελαίου).

β) στις μετρήσεις στη θέση εγκατάστασης στο δίκτυο, οι οποίες αφορούν κυρίως την αντίσταση μόνωσης με Megger.

Παρακάτω εξετάζεται η μέθοδος μέτρησης της αντίστασης μόνωσης σε μετασχηματιστές μέτρησης με το Megger, η οποία εφαρμόζεται από τη ΔΕΗ.

1) Το κύκλωμα μέτρησης της αντίστασης μόνωσης με το Megger

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 η μέτρηση γίνεται με τη μέθοδο των τριών ακροδεκτών.



Σχήμα 10

Η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης γίνεται σε καθορισμένες τιμές τάσης και χρόνου, υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος 21°C. Για μετασχηματιστές μέτρησης του δικτύου π.χ. των 150 kV οι τιμές της συνεχούς τάσης για τη δοκιμή είναι: 1 kV, 2 kV, 3 kV, 4 kV και 5 kV. Για κάθε μία από τις παραπάνω τιμές της τάσης γίνονται μετρήσεις της αντίστασης μόνωσης στους χρόνους: 10 s, 15 s, 20 s, 30 s, 50 s, 60 s, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, 6 min, 7 min, 8 min και 10 min. Από το πηλίκο της αντίστασης στα 60 s ως προς εκείνη στα 30 s, καθώς και από το πηλίκο της αντίστασης στα 10 min ως προς εκείνη στο 1 min, δίνεται από τον επόμενο πίνακα η δυνατότητα αξιολόγησης του μετασχηματιστή μέτρησης.

$\frac{R_{60s}}{R_{30s}}$	$\frac{R_{10min}}{R_{1min}}$	Κατάσταση Μόνωσης
≥ 1.6	≥ 4	πολύ καλή
1.4-1.6	3-4	καλή
1.25-1.4	2-3	μέτρια
1.1-1.25	1.5-2	προβληματική
≤ 1.1	≤ 1.5	φτωχή
	≤ 1	επικίνδυνη

Τιμές για την κατάσταση μόνωσης του μετασχηματιστή μέτρησης

2) Σχόλια επί των αποτελεσμάτων μέτρησης της αντίστασης με το Megger

Κατά τη φόρτιση ενός πυκνωτή με συνεχή τάση ισχύουν οι σχέσεις, λόγω της αντίστασής του R για τις διεργασίες της πόλωσης:

$$u_c = U[1 - \exp(-t/RC)]$$

$$\text{και } i = C \frac{du_c}{dt} = \frac{U}{R} \exp(-t/RC)$$

Για την πλήρη φόρτιση (ή εκφόρτιση) του πυκνωτή απαιτείται ο χρόνος, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$t \approx 5\tau$$

όπου τ η σταθερά χρόνου, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\tau = RC$$

Η τιμή τ κατά την φόρτιση του πυκνωτή βρίσκεται από την τιμή 63% u και κατά την εκφόρτιση από την τιμή 37% u .

Αν υποθέσουμε ότι ο υπό εξέταση μετασχηματιστής είναι ο παραπάνω πυκνωτής, τότε από τη βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι η τιμή C είναι περίπου 200-400 pF. Ο συντελεστής απωλειών $\text{tg}\delta$ του πυκνωτή αυτού θεωρείται ως πολύ καλός όταν είναι περίπου 0.5%. Έτσι, η τιμή της αντίστασης R δίνεται από τη σχέση:

$$R = 1/(\text{tg}\delta \cdot 2\pi f C) = 10^6 \text{ k}\Omega \div 10^7 \text{ k}\Omega$$

Με τις τιμές αυτές της αντίστασης μόνωσης, η σταθερά χρόνου του μετασχηματιστή είναι:

$$\tau = RC = 1 \text{ s} \div 4 \text{ s}$$

Για το συνολικό χρόνο κατά τη φόρτιση (ή την εκφόρτιση) έχουμε επομένως:

$$t \approx 5\tau = 5 \text{ s} \div 20 \text{ s}$$

Η αύξηση της αντίστασης για $t > 20 \text{ s}$ και $U > 1 \text{ kV}$ μπορεί να αποδοθεί στο συνεχώς αυξανόμενο αριθμό των αιωρούμενων στο μονωτικό λάδι σωματιδίων, στο φαινόμενο της διάταξης τους μεταξύ των ηλεκτροδίων. Μπορεί δηλ. να υποθέσει κανείς, ότι το ισοδύναμο κύκλωμα του δοκιμίου κατά τη μέτρηση αποτελείται από τον πυκνωτή C, την αντίσταση λόγω των διεργασιών της πόλωσης και μία μεταβλητή αντίσταση λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων στο λάδι. Έτσι, η σταθερά χρόνου έχει ουσιαστικά δύο τιμές, εκ των οποίων η μία αφορά την περιοχή 10-60 s και η άλλη την περιοχή 1-10 min.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για το λόγο των αντιστάσεων ισχύει:

α) λόγω κυρίως των διεργασιών πόλωσης των διηλεκτρικών:

$$s = \frac{R_{60s}}{R_{30s}} = \frac{i_{30s}}{i_{60s}}$$

β) λόγω διάταξης των αιωρούμενων στο μονωτικό λάδι σωματιδίων (ανάλογα με την τιμή του πεδίου ή της τάσης):

$$m = \frac{R_{10min}}{R_{1min}} = \frac{u_{10min}}{u_{1min}}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης με το Megger στοχεύει στον έλεγχο της χαρακτηριστικής φόρτισης ενός μετασχηματιστή, ο οποίος έχει ήδη λειτουργήσει στο δίκτυο και επομένως έχει υποστεί γήρανση, ως προς τη χαρακτηριστική φόρτιση στην ιδανική του κατάσταση (δηλ. πριν καταπονηθεί στο δίκτυο). Έτσι, επειδή η καταπόνηση στο δίκτυο σημαίνει αύξηση του συντελεστή απωλειών $\text{tg}\delta$ (κυρίως λόγω εσωτερικών μερικών εκκενώσεων), οι τιμές των s και m μειώνονται ανάλογα με τη γήρανση του δοκιμίου.

Ένα παράδειγμα των βασικών δοκιμών ποιοτικού ελέγχου που αφορά τους μετασχηματιστές των υποσταθμών μέσης τάσης δίνεται ακολούθως:

a) Δοκιμές τύπου

1) Δοκιμή υπερθέρμανσης

2) Διηλεκτρικές δοκιμές

α) δοκιμή με κρουστική τάση 1.2/50 μ s (5 κρούσεις θετικής πολικότητας και 5 κρούσεις αρνητικής πολικότητας)

β) δοκιμή με εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας επί 1 min.

3) Διηλεκτρική αντοχή μεταξύ των πηνίων χαμηλής τάσης, υπό εναλλασσόμενη τάση 800 V, 100 Hz επί 1 min.

4) Δοκιμή βραχυκύκλωσης

5) Μέτρηση της ομάδας ζεύξης και της σχέσης μετασχηματισμού

6) Μέτρηση των ραδιοφωνικών παρεμβολών (πρόκειται για μέτρηση της στάθμης θορύβου λόγω μερικών εκκενώσεων).

b) Δοκιμές σειράς

1) Διηλεκτρική δοκιμή υπό εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας επί 1 min.

2) Διηλεκτρική αντοχή μεταξύ των πηνίων χαμηλής τάσης, υπό εναλλασσόμενη τάση 800 V, 100 Hz επί 1 min.

3) Μέτρηση των απωλειών και της σχετικής τάσης βραχυκύκλωσης του μετασχηματιστή

α) απώλειες σιδήρου

β) απώλειες χαλκού

γ) σχετική τάση βραχυκύκλωσης

4) Έλεγχος της μόνωσης

5) Οπτικός έλεγχος (ποιότητα βαφής, κατάσταση μονωτήρων, αφυγραντήρας, κ.τ.λ.).

Παράδειγμα μέτρησης των μερικών εκκενώσεων

σε ένα μετασχηματιστή μέτρησης του δικτύου των 150 kV, υπό κρουστική τάση 1.2/50 μ s

Προ της διεξαγωγής των μετρήσεων σε έναν μετασχηματιστή, το δοκίμιο έχει συντηρηθεί (αφύγραση των περιελίξεων υπό συνθήκες κενού και ακολούθως πλήρωση του μετασχηματιστή στο κενό με μονωτικό λάδι).

Ορισμένα χρήσιμα στοιχεία για το δοκίμιο είναι τα παρακάτω:

a) Διηλεκτρικές δοκιμές του δοκιμίου ήταν:

1) Δοκιμή υπό εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, 1 min: 325 kV

2) Δοκιμή υπό κρουστική τάση 1.2/50 μ s: 750 kV

b) Ονομαστική επιφόρτιση του δοκιμίου: 60 VA, κλάση 0.5.

Μετρήθηκαν:

a) Χωρητικότητα: C = 469 pF

b) Συντελεστής απωλειών: tg δ = 2.2 στα 90 kV

c) Ρεύμα διηλεκτρικής απορρόφησης: 13.3 mA.

Μέσω ενός πυκνωτή μέτρησης (σε σειρά με το δοκίμιο) έγιναν μετρήσεις των μερικών εκκενώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

§ 1

Ισχύς κανονισμών

a) Πεδίο ισχύος

1) Οι κανονισμοί ισχύουν για μετασχηματιστές μέτρησης συχνοτήτων 15-100 Hz, οι οποίοι λειτουργούν υπό τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι οποίες δίνονται στην § 3, με σκοπό να μπορούν να συνδεθούν σε αυτούς όργανα μέτρησης, μετρητές, ρελαί προστασίας ή άλλα παρόμοια όργανα.

2) Οι κανονισμοί δεν ισχύουν για εργαστηριακούς μετασχηματιστές.

§ 2

Ορισμοί

a) Γενικοί ορισμοί

1) Ο *μετασχηματιστής μέτρησης* είναι μια ηλεκτρική μηχανή, η οποία μετατρέπει μεγάλες τιμές ρεύματος ή τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος σε τέτοιες τιμές στο δευτερεύον τυλίγμα, έτσι ώστε αυτές να είναι κατάλληλες για τη σύνδεση του μετασχηματιστή με διάφορες διατάξεις – όργανα μέτρησης, μετρητές, ρελαί προστασίας ή άλλες παρόμοιες διατάξεις.

2) *Πρωτεύον τυλίγμα* είναι το τυλίγμα στο οποίο διοχετεύεται το προς μέτρηση ρεύμα ή στο οποίο εφαρμόζεται η προς μέτρηση τάση.

3) *Δευτερεύον τυλίγμα* είναι το τυλίγμα στο οποίο συνδέεται το όργανο μέτρησης, ο μετρητής, το ρελαί προστασίας ή άλλη παρόμοια διάταξη.

4) *Δευτερεύον κύκλωμα* είναι το εξωτερικό κύκλωμα, το οποίο τροφοδοτείται από το δευτερεύον τυλίγμα.

5) *Κλάση* είναι οι οριακές τιμές, εντός των οποίων πρέπει να βρίσκονται τα σφάλματα των μετρήσεων, όταν αυτές παίρνονται σύμφωνα με τους προβλεπόμενους κανονισμούς.

b) Ορισμοί διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή

1) *Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας* U_m είναι η πραγματική τιμή της μέγιστης τάσης, η οποία εμφανίζεται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και για την οποία ελέγχεται η διηλεκτρική αντοχή του μετασχηματιστή.

Παροδικές διαφοροποιήσεις της τάσης λόγω σφάλματος ή ξαφνικής αποκοπής μεγάλου φορτίου δεν λαμβάνονται υπόψη.

2) *Σειρά* είναι η τιμή μιας τυποποιημένης ονομαστικής τάσης, με σκοπό την επισήμανση του επιπέδου διηλεκτρικής αντοχής (επίπεδο μόνωσης).

3) *Επίπεδο διηλεκτρικής αντοχής (επίπεδο μόνωσης)* είναι ένα σύνολο ονομαστικών τάσεων διαφόρων μορφών, από τις οποίες ο μετασχηματιστής μπορεί να καταπονείται, χωρίς να προκαλείται μείωση της διηλεκτρικής αντοχής του.

c) Τεχνικοί ορισμοί

1) *Ονομαστική συχνότητα* είναι η συχνότητα στην οποία παίρνονται μετρήσεις στο μετασχηματιστή.

2) Θερμοκρασία

2.1) *Αύξηση θερμοκρασίας* είναι η διαφορά στη θερμοκρασία του μετασχηματιστή ή ενός τμήματός του στην αρχή και στο τέλος μιας διεργασίας.

2.2) *Διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος* είναι η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του μετασχηματιστή ή ενός τμήματός του και στη θερμοκρασία του μέσου το οποίο τον περιβάλλει, την ίδια χρονική στιγμή.

2.3) *Εξισορροπημένη διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος* είναι η διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος σε κατάσταση ισορροπίας, δηλ. όταν έχει εξισορροπηθεί η παραμένουσα και η διαχεόμενη θερμότητα.

Επειδή συνήθως η θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της μέτρησης μεταβάλλεται, δεν είναι καθοριστική για το αποτέλεσμα της μέτρησης η αύξηση της θερμοκρασίας του μετασχηματιστή αλλά η διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος.

3) Εξαρτήματα

3.1) Τα *εξαρτήματα μέτρησης* είναι αντιστάσεις ή άλλα παρόμοια μέσα, τα οποία είναι απαραίτητα για την ακρίβεια της μέτρησης.

3.2) Τα *εξαρτήματα προστασίας* είναι ωμικές αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία ή άλλα παρόμοια μέσα, τα οποία εξυπηρετούν στην προστασία του μετασχηματιστή έναντι υπερτάσεων ή ρευμάτων υψηλής τιμής έντασης.

§ 3

Κανονικές συνθήκες λειτουργίας

Ο μετασχηματιστής πρέπει να είναι κατά τέτοιο τρόπο κατασκευασμένος, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό τις παρακάτω κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

a) Κλιματικές συνθήκες

1) Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Μέγιστη θερμοκρασία 40°C

Μέγιστη μέση 24-ωρη θερμοκρασία

(μέγιστη τιμή των μέσων τιμών θερμοκρασίας κάθε 24-ώρου) 35°C

Χαμηλότερη θερμοκρασία

για εγκατάσταση του μετασχηματιστή σε εσωτερικό χώρο -5°C

για εγκατάσταση του μετασχηματιστή σε εξωτερικό χώρο -25°C

2) Σχετική υγρασία αέρα

για εγκατάσταση του μετασχηματιστή σε εσωτερικό χώρο μέχρι 70%

για εγκατάσταση του μετασχηματιστή σε εξωτερικό χώρο μέχρι 100%

3) Υψόμετρο

Οι κανονισμοί ισχύουν για εγκαταστάσεις μετασχηματιστών που βρίσκονται σε υψόμετρο μέχρι 1000m ως την επιφάνεια της θάλασσας. Για μεγαλύτερα υψόμετρα ισχύουν οι κανονισμοί οι οποίοι αναφέρονται στις § 4 b) 4) και § 4 c) 1).

4) Ατμοσφαιρικές συνθήκες

4.1) Ο περιβάλλον αέρας δεν πρέπει να έχει μεγάλες προσμίξεις σκόνης, καπνού, αερίων, ατμών ή αλμυρότητας.

4.2) Στην περίπτωση εγκατάσταση μετασχηματιστή σε εσωτερικό χώρο, πρέπει να αποφεύγεται η υγρασία στα μονωτικά υλικά, όταν αυτά απαιτούνται από το σύστημα εξαερισμού και θέρμανσης.

4.3) Στην περίπτωση εγκατάσταση μετασχηματιστή σε εξωτερικό χώρο, μπορεί να επιδρούν στη λειτουργία του μετασχηματιστή διάφορες κλιματικές συνθήκες όπως δροσιά, ομίχλη, βροχή,

χιόνι, πάγος, παγετός, άνεμος με ταχύτητα μέχρι 30m/s, η ακτινοβολία του ηλίου και οι απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας.

§ 4

Τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας

a) Θερμική αντοχή μονωτικών υλικών

Στην περίπτωση των μονωτικών υλικών πρέπει να τηρούνται οι σχετικοί κανονισμοί. Τα μονωτικά υλικά δεν πρέπει να υπόκεινται για μεγάλη χρονική διάρκεια σε θερμοκρασίες υψηλότερες από την μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία, η οποία αναφέρεται στον Πίνακα 1.

Τα διάφορα μονωτικά υλικά κατηγοριοποιούνται σε κλάσεις, σύμφωνα με τις ιδιότητες τους και τη χρήση τους. Τα υλικά που απαριθμούνται στις διάφορες κλάσεις των Πινάκων 1α και 1β μπορούν να ερμηνευθούν ως απλά παραδείγματα. Σε αυτά μπορούν να προστεθούν και άλλα υλικά, με την προϋπόθεση ότι έχει αποδειχθεί η μονωτική ικανότητά τους από την εμπειρία και από εργαστηριακά πειράματα, τα οποία έχουν εκτελεστεί σύμφωνα με αναγνωρισμένες προδιαγραφές.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι μπορεί να προκληθούν διαφοροποιήσεις στις ιδιότητες διαφόρων υλικών λόγω θερμικής επιρροής παρακείμενων μονωτικών υλικών.

1	2	3	4
A/A	Κλάση	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Θερμοκρασία υπό τις θερμότερες συνθήκες °C	Μονωτικά υλικά (Παραδείγματα)
1	Υ	90	Οργανικές ίνες όπως βαμβάκι, μετάξι, ρεγιόν, τεχνητό μετάξι, χαρτί, πετρελαιμένο πριονίδι κ.α., βερνίκι λαδιού για σύρμα Ανεπεξέργαστα
2	A	105	Οργανικές ίνες όπως βαμβάκι, μετάξι, ρεγιόν, τεχνητό μετάξι, χαρτί, πετρελαιμένο πριονίδι κ.α. Εμποτισμένα σε μονωτικό υγρό
3	A	105	Τροποποιημένο βερνίκι λαδιού για σύρμα Ανεπεξέργαστο
4	A	105	Μεμβράνη οξικής κυτταρίνης, εγχύσεις με βάση τις πολυολεφίνες (θερμικά σταθεροποιημένες) Ανεπεξέργαστα
5	E	120	Πλαστικοποιημένο χαρτί, πλαστικοποιημένο ύφασμα, λουστραρισμένο χαρτί, λουστραρισμένο ύφασμα, πετρελαιμένα υλικά με βάση τη φαινυλική, την πολυεστερική, την εποξική υγρή ρητίνη και την υγρή ρητίνη μελαμίνης με οργανικά υλικά, χαρτί εμποτισμένο σε εποξική ρητίνη, εποξική ρητίνη και υγρή ρητίνη με ανόργανα υλικά, εγχύσεις με βάση τα πολυαμίδια (θερμικά σταθεροποιημένα), βερνίκι τεχνητής ρητίνης για σύρμα, όλοι οι μονωτές της τάξης A εμποτισμένοι σε μονωτικό υγρό και χωρίς αέρα

*Πίνακας 1α: Κλάσεις θερμικής αντοχής μονωτικών υλικών
και μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία*

6	E	120	Χαρτί, πετρεωμένο πριονίδι με μεμβράνες (όπως στον αριθμό 7)
7	E	120	Τριοξική μεμβράνη, τριοξική βουτυρική μεμβράνη, Ανεπεξέργαστες
8	B	130	Μονωτές από αμίαντο, γυαλί και πορσελάνη με συνδετικά υλικά με βάση τη φαινυλική, την εποξική ρητίνη, τη ρητίνη μελαμίνης και την εποξική υγρή ρητίνη με ανόργανα υλικά, βερνίκι τεχνητής ρητίνης (υψηλής θερμοκρασιακής ανθεκτικότητας), Πολυανθρακική μεμβράνη, εστερική μεμβράνη τερεφθαλικού οξέως εγχύσεις με βάση τον πολυάνθρακα Ανεπεξέργαστα
9	F	155	Μονωτές από αμίαντο, γυαλί, πορσελάνη με συνδετικά υλικά με βάση την τροποποιημένη ρητίνη σιλικόνης, τροποποιημένη ρητίνη σιλικόνης, εστερικό βερνίκι τερεφθαλικού οξέως για σύρμα
10	H	180	Μονωτές από αμίαντο, γυαλί, πορσελάνη με συνδετικά υλικά με βάση τη ρητίνη σιλικόνης, καθαρή σιλικόνη
11	C	πάνω από 180	Γυαλί, πορσελάνη, κεραμικά, χαλαζίας και παρόμοια πυρίμαχα υλικά (μόνο περιορισμένα από την ηλεκτρική μόνωση)

Πίνακας 1β: Συνέχεια του Πίνακα 1α

Κατά τη χρησιμοποίηση μονωτικών υλικών διαφορετικών τάξεων σε έναν μετασχηματιστή δεν πρέπει να υπερβαίνεται η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία για κάθε ένα μονωτικό υλικό.

b) Υπερθέρμανση

1) Στην περίπτωση που ισχύουν οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οι οποίες αναφέρονται στην § 3 α) 1), η διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος η οποία εμφανίζεται στο τυλίγμα δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 2. Η μέση επιτρεπόμενη διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος προκύπτει από τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία υπό τις θερμότερες συνθήκες, η οποία αναφέρεται για κάθε μία τάξη μονωτικού υλικού στον Πίνακα 1, αφαιρώντας κατά πρώτον μια εμπειρική τιμή 10°C, για τη διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του τυλίγματος υπό τις θερμότερες συνθήκες και στη μέση θερμοκρασία τυλίγματος, και κατά δεύτερον τη μέγιστη μέση 24-ωρη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής λειτουργεί υπό διαφορετική μέγιστη μέση 24-ωρη θερμοκρασία περιβάλλοντος από αυτή που αναφέρεται στην § 3 α) 1), μπορεί η διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος να διαφοροποιείται. Στην περίπτωση που παίρνονται μετρήσεις σε έναν μετασχηματιστή υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, θα πρέπει αυτό να επισημαίνεται ιδιαίτερα.

Τάξη Μονωτικού Υλικού	Μέση Επιτρεπόμενη Διαφορά Θερμοκρασίας Μετασχηματιστή-Περιβάλλοντος °C
Υ	45
A	60
E	75
B	85
F	110
H	135

Πίνακας 2: Επιτρεπόμενη διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος

2) Στην περίπτωση που το μονωτικό λάδι του μετασχηματιστή μέτρησης έρχεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, η διαφορά θερμοκρασίας λαδιού-περιβάλλοντος στην επιφάνεια επαφής του λαδιού με τον αέρα δεν πρέπει να ξεπερνά τους 50°C.

3) Η διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας του πυρήνα, ή άλλου μεταλλικού τμήματος του μετασχηματιστή, και του περιβάλλοντος μπορεί να υπερβαίνει κατά 10°C τις τιμές οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 2.

4) Στην περίπτωση που η διάταξη του μετασχηματιστή βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των 1000m από την επιφάνεια της θάλασσας, οι επιτρεπόμενες διαφορές θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 2, πρέπει να μειώνονται για κάθε 100m αύξησης του υψομέτρου στο οποίο βρίσκεται η διάταξη του μετασχηματιστή, κατά τα ποσοστά τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

Μετασχηματιστής με μονωτικό λάδι	0.4%
Μετασχηματιστής χωρίς μονωτικό λάδι	0.5%

c) Διηλεκτρική αντοχή μετασχηματιστή

1) Η διηλεκτρική αντοχή του μετασχηματιστή πρέπει να ελέγχεται κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε ο μετασχηματιστής να αντέχει σε καταπονήσεις ονομαστικών τάσεων διαφόρων μορφών, οι οποίες αναφέρονται στους Πίνακες 3α και 3β.

Η διηλεκτρική αντοχή του εξωτερικού μονωτικού υλικού του μετασχηματιστή μέτρησης, η διάταξη του οποίου βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των 1000m ως προς την επιφάνεια της θάλασσας, πρέπει να ελέγχεται κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε οι ονομαστικές τάσεις διαφόρων μορφών, οι οποίες αναφέρονται στους Πίνακες 3α και 3β, να ισχύουν και σε αυτό το υψόμετρο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί ελέγχοντας τη διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού υλικού του μετασχηματιστή σε υψόμετρο κάτω από 1000m ως προς την επιφάνεια της θάλασσας και στη συνέχεια αυξάνοντας τις τιμές των ονομαστικών τάσεων διαφόρων μορφών, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 3, με εξαίρεση την ανώτερη τιμή κρουστικής τάσης 1.2/50, κατά 1.25% για κάθε 100m αύξησης του υψομέτρου στο οποίο βρίσκεται η διάταξη του μετασχηματιστή.

Επειδή η διηλεκτρική αντοχή του εσωτερικού μονωτικού υλικού δεν μεταβάλλεται στην περίπτωση που η διάταξη του μετασχηματιστή βρίσκεται σε υψηλότερο υψόμετρο, οι τιμές οι οποίες αναφέρονται στους Πίνακες 3α και 3β δεν χρειάζεται να αυξηθούν στην περίπτωση αυτή.

1	2	3	4	5	6	7
Σειρά	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση Λειτουργίας U_m	Ονομ. Τάση (RMS) Μεταξύ Πηνίων Μ/Σ Τάσης: Κλάση Μόνωσης D	Ονομ. Τάση (RMS) Τυλίγματος Μ/Σ Ρεύματος και Ολοπολικά Μονωμένου Μ/Σ Τάσης: Κλάση Μόνωσης F	Τάση (DC) για Χωρητικούς Μ/Σ Τάσης	Κατώτερη Τιμή Κρουστικής Τάσης 1.2/50	Ανώτερη Τιμή Κρουστικής Τάσης 1.2/50
	kV	kV	kV	kV	kV	kV

α) Μετασχηματιστής σε διάταξη χωρίς γείωση (ουδέτερος κόμβος)

0.5	0.6	2	3	-	-	-
1	1.2	3.5	10	-	-	-
3N	3.6	16	21	-	45	52
3S	3.6	16	21	-	40	46
6N	7.2	22	27	-	60	70
6S	7.2	22	27	-	50	58
10N	12	28	35	-	75	85
10S	12	28	35	-	60	70
15N	17.5	38	45	-	95	110
15S	17.5	38	45	-	75	85
20N	24	50	55	-	125	145
20S	24	50	55	-	95	110
25N	27.5	60	65	-	145	170
25S	27.5	60	65	-	125	145
30N	36	70	75	-	170	195
30S	36	70	75	-	145	170
45N	52	95	105	-	250	290
45S	52	95	105	-	190	220
60N	72.5	140	140	280	325	375
60S	72.5	140	140	280	250	290
110N	125	230	230	460	550	630
110S	125	230	230	460	450	520
150N	170	325	325	650	750	860
150S	170	325	325	650	650	750
220N	250	460	460	920	1050	1200
220S	250	460	460	920	900	1040

Πίνακας 3α: Επίπεδο διηλεκτρικής αντοχής

β) Μετασχηματιστής σε διάταξη εναλλασσόμενου ρεύματος με γείωση

110NE	125	185	185	370	450	520
110SE	125	185	185	370	375	430
150NE	170	275	275	550	650	750
150SE	170	275	275	550	550	630
220NE	250	395	395	790	900	1040
220SE	250	395	395	790	750	860
380NE	420	630	680	1360	1425	1640
380SE	420	630	680	1360	1300	1500

Πίνακας 3β: Συνέχεια του Πίνακα 3α

Στην περίπτωση που στη διάταξη του μετασχηματιστή εφαρμόζεται ονομαστική τάση 35kV, ισχύουν για το επίπεδο διηλεκτρικής αντοχής οι τιμές της ονομαστικής κρουστικής τάσης και της ονομαστικής εναλλασσόμενης τάσης της κλάσης μόνωσης D, οι οποίες αντιστοιχούν στη σειρά 30N και 30S. Ωστόσο, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην τάση των 75kV, η οποία αντιστοιχεί στην κλάση μόνωσης F για τους μετασχηματιστές ρεύματος.

2) Εκκένωση τόξου

2.1) Στην περίπτωση που στη διάταξη του μετασχηματιστή εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση κάτω του 80% της ονομαστικής τιμής, η οποία αναφέρεται στους Πίνακες 3α και 3β δεν πρέπει να εμφανίζεται ηλεκτρικό τόξο κατά μήκος μονωτικής επιφάνειας. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει η σχετική υγρασία του αέρα να ανέρχεται μέχρι 75%.

2.2) Στην περίπτωση που στη διάταξη του μετασχηματιστή εφαρμόζονται οι παρακάτω τιμές τάσης, δεν πρέπει να εκδηλώνεται ηλεκτρικό τόξο ή να προκαλείται ηχητική ακτινοβολία (κρότος). Αυτό ισχύει στην περίπτωση διάταξης μετασχηματιστή χωρίς γείωση, μέχρι τη μέγιστη επιτρεπτή τάση λειτουργίας.

Στην περίπτωση διάταξης μετασχηματιστή με γείωση (διευκρινίζεται με E δίπλα στο σύμβολο σειράς), δεν πρέπει να εκδηλώνεται ηλεκτρικό τόξο ή να προκαλείται κρότος μέχρι την τιμή $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ όπου U_m η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να είναι η σχετική υγρασία του αέρα μέχρι 75%.

d) Γείωση

Στην περίπτωση που στη διάταξη του μετασχηματιστή εφαρμόζεται τάση λειτουργίας μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής $U_m \geq 3.6kV$ (επίπεδο διηλεκτρικής αντοχής το οποίο αναφέρεται στους Πίνακες 3α και 3β: σειρά 3N και κάτω), τα σταθερά μεταλλικά μέρη πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους και να καταλήγουν σε γείωση, η οποία πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη και μετρήσιμη.

§ 5

Δοκιμές

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται οι διαδικασίες των διαφόρων δοκιμών. Τα μετρούμενα μεγέθη πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές και τις τιμές που αναφέρονται στους Πίνακες των αντίστοιχων παραγράφων της προηγούμενης παραγράφου.

a) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή

1) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης.

1.1) Για τη δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή πρέπει ο μετασχηματιστής να υποβληθεί σε δοκιμή στα τυλίγματά του και σε δοκιμή μεταξύ των πηνίων του.

1.2) Μετά τη διεξαγωγή της δοκιμής πρέπει η τάση να μειωθεί γρήγορα, πριν την τελική αποκοπή της.

1.3) Οι τιμές των εναλλασσόμενων τάσεων δοκιμής είναι οι τιμές οι οποίες παρατηρούνται στις κορυφές ημιτονοειδούς μορφής τάσεων, οι οποίες αντιστοιχούν στις RMS ονομαστικές εναλλασσόμενες τάσεις των Πινάκων 3α και 3β.

1.4) Η δοκιμή πρέπει να διεξάγεται σε στεγνό και καθαρό μετασχηματιστή.

1.5) Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής διαθέτει σπινθηριστή προστασίας από ηλεκτρικά τόξα, πρέπει αυτός κατά τη διάρκεια της δοκιμής να προσαρμόζεται ή και να αφαιρείται τελείως κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη ονομαστική εναλλασσόμενη τάση.

1.6) Οι επαναλήψεις της δοκιμής πρέπει γενικά να εκτελούνται μόνο με το 80% των ονομαστικών εναλλασσόμενων τάσεων, οι οποίες αναφέρονται στους Πίνακες 3α και 3β.

Οι δοκιμές τάσης πρέπει να περιορίζονται στο ελάχιστο, έτσι ώστε να μην καταπονείται το μονωτικό υλικό του μετασχηματιστή και να μην μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή του.

1.7) Για να ελεγχθεί οποιαδήποτε φθορά και γήρανση του μονωτικού υγρού μετασχηματιστή, ο οποίος έχει μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας άνω των 52kV, συνιστάται να μετρηθεί ο συντελεστής απωλειών $\tan\delta$ μέχρι την τάση $1.3U_m$.

Στην περίπτωση μετασχηματιστή με υγρό μονωτικό, για μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας μέχρι 52kV, συνιστάται να δηλώνεται ο συντελεστής απωλειών $\tan\delta$ στην συγκεκριμένη περιοχή τάσεων, συμπεριλαμβανομένης και πιθανής σκέδασης. Η παράμετρος αυτή πιθανόν να προσδιορίζεται στατιστικά.

2) Δοκιμή μερικών εκκενώσεων

2.1) Η δοκιμή αυτή πρέπει να διεξάγεται με εφαρμογή μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης λειτουργίας τιμής από 72.5kV στην περίπτωση επαγωγικού μετασχηματιστή με υγρό μονωτικό και τιμής από 3.6kV στην περίπτωση επαγωγικού μετασχηματιστή με στερεό μονωτικό (μέσω προσθήκης πολυμερών).

2.2) Η διάταξη μέτρησης της τάσης για μερικές εκκενώσεις πρέπει να διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Τετραπολικός μετασχηματιστής

Ωμική αντίσταση εισόδου 60Ω

Συχνότητα 0.15, 0.5, 1.0, ή 1.9 MHz

Εύρος ζώνης συχνοτήτων 9 kHz

Κλίμακα μέτρησης τάσης διαταραχής μV

Περιοχή μετρήσεων $\leq 5 \mu V$

2.3) Η σχέση μετασχηματισμού καθορίζεται για κάθε είδος μετασχηματιστή για την επιλεγμένη συχνότητα μέτρησης, η οποία μπορεί να αποκλίνει 10-20% από τις τιμές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για το λόγο αυτό πρέπει να καθορίζονται οι συντελεστές διόρθωσης k_1 και k_2 . Πρέπει να ισχύει η σχέση

$$0.71 \leq \frac{k_1}{k_2} \leq 1.41$$

Η τιμή του k_1 δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 2. Αυτή η απαίτηση πληρείται όταν η χωρητικότητα υψηλής τάσης έχει τουλάχιστον την ίδια τιμή ή και μεγαλύτερη με τη χωρητικότητα χαμηλής τάσης. Στην περίπτωση που δεν μπορεί να επιτευχθεί αυτή η τιμή χωρητικότητας, μπορεί να εισαχθεί στο κύκλωμα μέτρησης ένας επιπλέον πυκνωτής. Εάν ανάμεσα στην γεννήτρια τάσης και στο κύκλωμα μέτρησης συνδέεται ασφάλεια υψηλής συχνότητας, πρέπει ο επιπλέον πυκνωτής να συνδέεται μεταξύ του τμήματος υψηλής τάσης του κυκλώματος και τη γη.

Στην περίπτωση που δεν ισχύουν οι σχέσεις

$$0.71 \leq \frac{k_1}{k_2} \leq 1.41 \text{ και } 1 \leq k_1 \leq 6$$

για την επιλεγμένη συχνότητα, πρέπει να επιλεχθεί διαφορετική.

3) Δοκιμή σε ηλεκτρικό τόξο

3.1) Η δοκιμή αυτή πρέπει να διεξάγεται με εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης (βλ. § 4 c) 2)).

3.2) Στην περίπτωση αυτή πρέπει οι διάφοροι κοχλίες ή άκρες μεταλλικών ράβδων του πρωτεύοντος να είναι στρογγυλεμένοι ή θωρακισμένοι με κάποιο περίβλημα.

4) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή κρουστικής τάσης

4.1) Η κατώτερη και ανώτερη τιμή της κρουστικής τάσης για κάθε επίπεδο διηλεκτρικής αντοχής αναφέρεται στις δύο τελευταίες στήλες των Πινάκων 3α και 3β.

Στην περίπτωση που ελέγχεται η ανώτερη τιμή της κρουστικής τάσης, πρέπει η κρουστική τάση 1.2/50 να διακόπτεται 2-6 μ s μετά την αρχή εφαρμογής της.

Η ακολουθία και ο αριθμός των προγραμματισμένων δοκιμών κρουστικής τάσης αναφέρεται στο Πίνακα 4.

Δοκιμή Κρουστικής Τάσης	Αριθμός Δοκιμών	Πολικότητα	Κρουστική Τάση 1.2/50	Επίπεδο Διηλεκτρικής Αντοχής (Πίνακας 3)
Ρυθμιζόμενη δοκιμή	1	-	Ολόκληρη κρουστική τάση	50% κατώτερης τιμής
1 ^η	1	-	Ολόκληρη κρουστική τάση	Κατώτερη τιμή
2 ^η και 3 ^η	2	-	Αποκομμένη κρουστική τάση	Ανώτερη τιμή
4 ^η και 5 ^η	2	-	Ολόκληρη κρουστική τάση	Κατώτερη τιμή
Ρυθμιζόμενη δοκιμή	2	+	Ολόκληρη κρουστική τάση	50% κατώτερης τιμής
6 ^η και 7 ^η	2	+	Ολόκληρη κρουστική τάση	Κατώτερη τιμή

Πίνακας 4: Ακολουθία δοκιμών κρουστικής τάσης

4.2) Η δοκιμή με εφαρμογή ολόκληρης κρουστικής τάσης (κατώτερη τιμή) θεωρείται επιτυχής, όταν καμία δοκιμή δεν οδηγήσει σε επιβλαβείς εκκενώσεις στο εσωτερικό του μετασχηματιστή ή σε υπερπήδηση ή διάτρηση του μονωτικού υλικού. Στην περίπτωση που παρατηρείται υπερπήδηση του μονωτικού υλικού μόνο μία φορά, η δοκιμή θεωρείται επιτυχής, όταν στις επόμενες 5 δοκιμές κρουστικής τάσης με την ίδια πολικότητα δεν παρατηρείται υπερπήδηση ή διάτρηση του μονωτικού υλικού.

4.3) Η δοκιμή με αποκομμένη κρουστική τάση (ανώτερη τιμή) θεωρείται επιτυχής, όταν δεν παρατηρείται διάτρηση μονωτικού υλικού και όταν, στην περίπτωση μίας πιθανής υπερπήδησης του μονωτικού υλικού, αυτή δεν παρατηρείται νωρίτερα από τα πρώτα 2 μ s από την αρχή εφαρμογής της κρουστικής τάσης.

4.4) Η τιμή και το γράφημα της κρουστικής τάσης των 10 δοκιμών μπορούν να εμφανίζονται σε παλμογράφο. Η τιμή της κρουστικής τάσης μπορεί να μετράται επίσης με βολτόμετρο ή με σπινθηριστή σφαιρών.

4.5) Για να αναγνωρίζεται οποιαδήποτε επιβλαβής καταπόνηση της διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού υλικού του μετασχηματιστή, πρέπει να διερευνώνται οι διαφοροποιήσεις στα γραφήματα της κρουστικής τάσης ή του κρουστικού ρεύματος οι οποίες παρατηρούνται μεταξύ των 4, 5, 6, 7 δοκιμών αφενός και των 1 και ρυθμιζόμενων δοκιμών αφετέρου. Από τα γραφήματα των δύο ρυθμιζόμενων δοκιμών ολόκληρης κρουστικής τάσης με θετική πολικότητα χρειάζεται να συγκριθεί με τα υπόλοιπα μόνο το δεύτερο.

Για περαιτέρω έλεγχο πρέπει πριν και μετά τη δοκιμή κρουστικής τάσης να διενεργηθεί μια δοκιμή μερικής εκκένωσης.

b) Δοκιμή υπερθέρμανσης

1) Η αντοχή του μετασχηματιστή στην ανύψωση της θερμοκρασίας ελέγχεται μέσω της δοκιμής υπερθέρμανσης. Για τη διεξαγωγή της δοκιμής θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί η εξισορροπημένη διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος, όταν η αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος δεν ξεπερνά τον 1°C ανά ώρα. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 10°C και 30°C , με απόκλιση η οποία δεν ξεπερνά τους 5°C .

2) Η διαφορά θερμοκρασίας τυλίγματος-περιβάλλοντος μπορεί να καθορίζεται, όπου είναι δυνατόν, μέσω μέτρησης της αύξησης της αντίστασης. Στην περίπτωση τυλίγματος με αντίσταση ή άλλα κυκλωματικά στοιχεία πολύ μικρής τιμής, η θερμοκρασία μπορεί να προσδιοριστεί με θερμοστοιχεία ή αντιστάσεις εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία.

3) Για τη δοκιμή αυτή δεν χρειάζεται να απομακρύνονται τα περιβλήματα και καλύμματα του μετασχηματιστή.

c) Παρατήρηση

Θα πρέπει να διευκρινιστεί περαιτέρω η έννοια των συντελεστών διόρθωσης k_1 και k_2 . Πιθανόν πρόκειται για συντελεστές διόρθωσης της συχνότητας, χωρίς όμως να δίνεται ακριβής ορισμός τους από τον κανονισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

§ 1

Ισχύς κανονισμών

a) Πεδίο ισχύος

Αυτοί οι κανονισμοί ισχύουν για επαγωγικό μετασχηματιστή τάσης, μονοπολικά ή διπολικά μονωμένο, ο οποίος χρησιμοποιείται σε διάταξη μέτρησης ή προστασίας.

Οι κανονισμοί αυτοί ισχύουν σε συνδυασμό με τους κανονισμούς του Κεφαλαίου 1, δηλ. η περιγραφή των διαδικασιών των διαφόρων δοκιμών, οι τεχνικές προδιαγραφές και οι οριακές τιμές των μετρούμενων μεγεθών, οι οποίες αναφέρονται σε αυτό το Κεφάλαιο, λειτουργούν επιπρόσθετα σε αυτές που αναφέρονται στις αντίστοιχες ενότητες και παραγράφους του προηγούμενου Κεφαλαίου.

§ 2

Ορισμοί

a) Γενικοί ορισμοί

1) Ο *μετασχηματιστής τάσης* είναι ένας μετασχηματιστής μέτρησης, του οποίου η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος προηγείται της τάσης του πρωτεύοντος και αποκλίνει από αυτήν κατά μία πολύ μικρή γωνία, η οποία πρακτικά πλησιάζει το μηδέν.

2) Ο *μετασχηματιστής τάσης για μετρήσεις* είναι ένας μετασχηματιστής τάσης κατάλληλος για σύνδεση με όργανα μέτρησης, μετρητές, ή άλλες παρόμοιες μετρητικές διατάξεις.

3) Ο *μετασχηματιστής τάσης για προστασία* είναι ένας μετασχηματιστής τάσης κατάλληλος για σύνδεση με διάταξη προστασίας.

4) Ο *διπολικά μονωμένος μετασχηματιστής τάσης* είναι ένας μετασχηματιστής τάσης, του οποίου το πρωτεύον τύλιγμα διαθέτει μόνωση, η οποία αντέχει στις καταπονήσεις της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης λειτουργίας χωρίς να μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή της.

5) Ο *μονοπολικά μονωμένος μετασχηματιστής τάσης* είναι ένας μετασχηματιστής τάσης, στην περίπτωση του οποίου το ένα άκρο του πρωτεύοντος τυλίγματος δεν διαθέτει μόνωση, τέτοια ώστε να αντέχει στις καταπονήσεις της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης λειτουργίας, και για αυτό το λόγο γειώνεται.

6) *Ονομαστική τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος* είναι η τιμή της τάσης για το πρωτεύον τυλίγμα η οποία αναφέρεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή. Στην περίπτωση μονοπολικά μονωμένου μετασχηματιστή, ο οποίος συνδέεται σε τριφασικό εναλλασσόμενο σύστημα, η τάση αυτή δίνεται από τη σχέση $\frac{U}{\sqrt{3}}$. Στην περίπτωση μετασχηματιστή, ο οποίος συνδέεται σε μονοφασικό σύστημα με μονωμένο ή γειωμένο μέσω πηνίου ουδέτερο σημείο, η τάση αυτή δίνεται από τη σχέση $\frac{U}{2}$, όπου U είναι η τάση μεταξύ δύο φάσεων, δηλ. η πολική τάση.

7) *Ονομαστική τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος* είναι η τιμή της τάσης για το δευτερεύον τυλίγμα η οποία αναφέρεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και δίνεται από τις ίδιες σχέσεις με την ονομαστική τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος.

8) *Συντελεστής ονομαστικής τάσης* είναι ένα πολλαπλάσιο της ονομαστικής τάσης, το οποίο λειτουργεί ως το άνω όριο της τιμής της τάσης ενός μονοπολικά μονωμένου μετασχηματιστή.

9) *Σχέση μετασχηματισμού* του μετασχηματιστή τάσης είναι η αναλογία της τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος προς την τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος.

10) *Ονομαστική σχέση μετασχηματισμού* του μετασχηματιστή τάσης είναι η αναλογία της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος προς την ονομαστική τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος, η οποία δίνεται ως μη απλοποιημένο κλάσμα.

11) Στην περίπτωση μονοπολικά μονωμένου μετασχηματιστή τάσης, ο οποίος συνδέεται με άλλους δύο μετασχηματιστές σε τριφασικό εναλλασσόμενο δίκτυο, *τύλιγμα γείωσης* είναι ένα δευτερεύον τυλίγμα, το οποίο είναι κατάλληλο για να συνδέεται σε σειρά (ανοιχτό τρίγωνο) με τα αντίστοιχα τυλίγματα των δύο άλλων μετασχηματιστών, προς τη γείωση. Τα αντίστοιχα ισχύουν στην περίπτωση μετασχηματιστή ο οποίος συνδέεται σε μονοφασικό δίκτυο.

Στην σύνδεση σε σειρά (ανοιχτό τρίγωνο) προκύπτει τότε, στην περίπτωση συμμετρικού δικτύου, μία μηδενική τάση γης και, στην περίπτωση γείωσης μιας φάσης, μία τάση με τιμή τριπλάσια της ονομαστικής τάσης του τυλίγματος γείωσης.

12) *Ονομαστικό ρεύμα του τυλίγματος γείωσης* είναι μία ένταση ρεύματος, την οποία το τυλίγμα αυτό αντέχει για 4-8 ώρες, με εφαρμογή τάσης τιμής 1.9 φορές την ονομαστική τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, χωρίς κανένα τμήμα του μετασχηματιστή να ξεπερνά την επιτρεπόμενη διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος περισσότερο από 10°C.

13) *Οριακό τιμή ρεύματος του δευτερεύοντος τυλίγματος* είναι μία ένταση ρεύματος, την οποία το δευτερεύον τυλίγμα του μετασχηματιστή αντέχει, με εφαρμογή της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος, χωρίς επιβάρυνση του τυλίγματος γείωσης και χωρίς κανένα

τμήμα του μετασχηματιστή να ξεπερνά την επιτρεπόμενη διαφορά θερμοκρασίας μετασχηματιστή-περιβάλλοντος.

b) Σχέσεις πτώσης τάσης

1) *Εκατοστιαία πτώση τάσης* του μετασχηματιστή τάσης είναι η ποσοστιαία απόκλιση της τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος, ανοιγμένης στο πρωτεύον δηλ. πολλαπλασιασμένης με την ονομαστική σχέση μετασχηματισμού, από την τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή. Η εκατοστιαία πτώση τάσης είναι θετική, όταν η πραγματική τιμή της τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος είναι μεγαλύτερη από την τάση αναφοράς.

Η εκατοστιαία πτώση τάσης του μετασχηματιστή δίνεται από τη σχέση:

$$F_u = 100 \cdot \frac{U_2 \cdot K_N - U_1}{U_1}$$

όπου F_u η εκατοστιαία πτώση τάσης σε %

U_1 η τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος σε V

U_2 η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος σε V

K_N η ονομαστική σχέση μετασχηματισμού.

2) *Διαφορά γωνίας τάσης* του μετασχηματιστή είναι η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος και της τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος, λόγω της πτώσης τάσης. Αυτό σημαίνει ότι εάν δεν παρατηρείται πτώση τάσης μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος η διαφορά γωνίας τάσης του μετασχηματιστή θα ήταν 0° . Η διαφορά γωνίας τάσης μετράται σε λεπτά γωνίας ή *crad* ($1 \text{ crad} \cong 34.4 \text{ λεπτά γωνίας}$) και είναι θετική όταν η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος προπορεύεται της τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος.

3) *Φορτίο* του μετασχηματιστή τάσης είναι η ισχύς του κυκλώματος του δευτερεύοντος, εκφρασμένο με τη βοήθεια του συντελεστή ισχύος $\cos\beta$.

4) *Ονομαστικό φορτίο* του μετασχηματιστή τάσης είναι το φορτίο, στο οποίο αναφέρονται οι τεχνικές προδιαγραφές.

5) *Ονομαστική ισχύς* του μετασχηματιστή τάσης είναι η ισχύς στην περίπτωση ονομαστικής τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος και ονομαστικού φορτίου.

§ 3

Κανονικές συνθήκες λειτουργίας

Για τις συνθήκες λειτουργίας του μετασχηματιστή ισχύουν οι κανονισμοί του Κεφαλαίου 1, § 3, η οποία αναφέρεται στις κλιματικές συνθήκες που θα πρέπει να ισχύουν για να λειτουργεί κανονικά ο μετασχηματιστής.

§ 4

Τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας

a) Ονομαστικές τιμές

1) Ονομαστική ισχύς

1.1) Η ονομαστική ισχύς του τυλίγματος μέτρησης ή προστασίας, με εξαίρεση το τύλιγμα γείωσης, πρέπει να παίρνει τις εξής τιμές:

10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300 VA.

2) Ονομαστικό ρεύμα του τυλίγματος γείωσης

Το ονομαστικό ρεύμα του τυλίγματος γείωσης πρέπει να παίρνει κατά προτίμηση τις εξής τιμές έντασης:

Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση Λειτουργίας U_m kV	Ονομαστικό Ρεύμα A
μέχρι 12	1, 3, 6
12 μέχρι 36	3, 6, 9
36 μέχρι 72.5	6, 9, 12
άνω των 72.5	6, 9, 15, 25

Το τύλιγμα γείωσης πρέπει να αντέχει το δεκαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος για 30 s. Ο έλεγχος αυτής της τεχνικής προδιαγραφής γίνεται μέσω της δοκιμής με ονομαστικό ρεύμα.

3) Συντελεστής ονομαστικής τάσης και διάρκεια εφαρμογής αυξημένης τάσης

3.1) Μετασχηματιστής με προδιαγραφή $1.5U_N$ 30 s σημαίνει ότι, με εφαρμογή τάσης τιμής 1.5 φορές την ονομαστική τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος για 30 s, κανένα τμήμα του μετασχηματιστή δεν πρέπει να υπερθερμαίνεται περισσότερο από 10°C . Ο μετασχηματιστής πρέπει να συνδέεται σε γειωμένο τριφασικό εναλλασσόμενο δίκτυο, στο οποίο η φασική τάση μπορεί να έχει τιμή 1.5 φορές την ονομαστική τάση και η γείωση μπορεί να αποκόπτεται εντός των 30 s.

3.2) Τα αντίστοιχα ισχύουν για μετασχηματιστές με προδιαγραφές $1.9U_N$ 30 s, $1.9U_N$ 4h, $1.9U_N$ 8h, $2.2U_N$ 4h.

b) Κλάση

1) Συμβολισμός κλάσης

1.1) Η κλάση ενός μετασχηματιστή τάσης, ο οποίος χρησιμοποιείται σε διάταξη μέτρησης ή προστασίας, δίνεται από έναν αριθμό ο οποίος δηλώνει τα όρια της εκατοστιαίας πτώσης τάσης, για εφαρμογή ονομαστικής τάσης.

1.2) Η κλάση ενός μετασχηματιστή τάσης, ο οποίος χρησιμοποιείται μόνο σε διάταξη προστασίας, δίνεται από έναν αριθμό ο οποίος δηλώνει τα όρια της εκατοστιαίας πτώσης τάσης, για εφαρμογή τάσης τιμής 0.05 φορές την ονομαστική τάση ή τιμής η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\text{ονομαστική τάση} \cdot \text{συντελεστής ονομαστικής τάσης}$$

σε συνδυασμό με το κεφαλαίο γράμμα P (Protection = Προστασία).

Μετασχηματιστής	Συμβολισμός Κλάσης
για μέτρηση ή προστασία	0.1, 0.2, 0.5, 1, 3
για προστασία	3P, 6P

Πίνακας 5: Συμβολισμός κλάσης για μετασχηματιστές τάσης

2) Οριακές τιμές σφαλμάτων

2.1) Για κάθε μετασχηματιστή τάσης με κλάση, η οποία αναφέρεται στον Πίνακα 5, πρέπει να τηρούνται οι οριακές τιμές σφαλμάτων που αντιστοιχούν στην κλάση του, σύμφωνα με τους Πίνακες 6 και 7.

1 Συμβολισμός Τάξης	2 Τάση Πρωτεύοντος Τυλίγματος	3 Σφάλμα Τάσης $\pm F_u$ %	4 Διαφορά Γωνίας Τάσης $\pm \delta_u$	
			Λεπτά Γωνίας	crad
0.1	0.8U _N , 1.0U _N , 1.2U _N	0.1	5	0.15
0.2	0.8U _N , 1.0U _N , 1.2U _N	0.2	10	0.3
0.5	0.8U _N , 1.0U _N , 1.2U _N	0.5	20	0.6
1.0	0.8U _N , 1.0U _N , 1.2U _N	1.0	40	1.2
3.0	0.8U _N , 1.0U _N , 1.2U _N	3.0	120	3.5
0.1	0.05U _N	1.0	40	1.2
0.2	0.05U _N	1.0	40	1.2
0.5	0.05U _N	1.0	40	1.2
1.0	0.05U _N	2.0	80	2.4
3.0	0.05U _N	6.0	240	7.0
0.1	Συντελεστής Ονομ.Τάσης·U _N	2.0	80	2.4
0.2	Συντελεστής Ονομ.Τάσης·U _N	2.0	80	2.4
0.5	Συντελεστής Ονομ.Τάσης·U _N	2.0	80	2.4
1.0	Συντελεστής Ονομ.Τάσης·U _N	3.0	120	3.5
3.0	Συντελεστής Ονομ.Τάσης·U _N	6.0	240	7.0

Πίνακας 6: Οριακές τιμές σφαλμάτων για μετασχηματιστές τάσης σε διάταξη μέτρησης ή προστασίας

1	2	3	4	
Συμβολισμός Τάξης	Τάση Πρωτεύοντος Τυλίγματος	Σφάλμα Τάσης $\pm F_u$	Διαφορά Γωνίας Τάσης $\pm \delta_u$	
		%	Λεπτά Γωνίας	crad
3P	0.05U _N , 1.0U _N	3.0	120	3.5
6P	και Συντελεστής Ονομ.Τάσης·U _N	6.0	240	7.0

Πίνακας 7: Οριακές τιμές σφαλμάτων για μετασχηματιστές τάσης σε διάταξη προστασίας

2.2) Στην περίπτωση μετασχηματιστή τάσης σε διάταξη μέτρησης ή προστασίας, οι οριακές τιμές των σφαλμάτων οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 6 πρέπει να τηρούνται υπό τις εξής συνθήκες λειτουργίας του μετασχηματιστή: για ονομαστική συχνότητα, για ισχύ μεταξύ $\frac{1}{4}$ και $\frac{1}{1}$ της ονομαστικής ισχύος, για συντελεστή ισχύος $\cos\beta = 0.8$ επαγωγικό και για τις θερμοκρασίες οι οποίες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 1, στην § 3 α) 1.

2.3) Στην περίπτωση μετασχηματιστή τάσης με περισσότερα δευτερεύοντα τυλίγματα, σε διάταξη μέτρησης ή προστασίας, οι οριακές τιμές των σφαλμάτων πρέπει να τηρούνται για κάθε τύλιγμα, τόσο για κενό όσο και για ονομαστικό φορτίο των υπόλοιπων τυλιγμάτων. Εξαίρεση αποτελεί το τύλιγμα γείωσης, το οποίο παραμένει χωρίς φορτίο κατά τη διάρκεια της μέτρησης σφαλμάτων στα άλλα τυλίγματα.

2.4) Στην περίπτωση μετασχηματιστή τάσης σε διάταξη προστασίας, οι οριακές τιμές των σφαλμάτων, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 7, πρέπει να τηρούνται για ισχύ δευτερεύοντος τυλίγματος ίση με την ονομαστική ή $\frac{1}{4}$ της ονομαστικής ισχύος.

2.5) Στην περίπτωση μετασχηματιστή τάσης με περισσότερα δευτερεύοντα τυλίγματα, σε διάταξη προστασίας, οι οριακές τιμές των σφαλμάτων $\pm 3\%$ πρέπει να τηρούνται για $\pm 120 \text{ min}$, για τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος που δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Τάση πρωτεύοντος τυλίγματος} = \text{Συντελεστής ονομαστικής τάσης} \cdot U_N$$

και για ονομαστική ισχύ των υπόλοιπων τυλιγμάτων.

2.6) Στην περίπτωση μετασχηματιστή τάσης σε διάταξη προστασίας, οι οριακές τιμές των σφαλμάτων, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 7, για τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος $0.05U_N$, μπορεί να ξεπεραστούν κατά ένα ποσοστό, όταν χρησιμοποιείται τύλιγμα γείωσης για απόσβεση με το ονομαστικό του ρεύμα.

Στη ίδια περίπτωση, αλλά για τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος που δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Συντελεστής ονομαστικής τάσης} \cdot U_N$$

η υπέρβαση των οριακών τιμών των σφαλμάτων είναι αμελητέα.

c) Μερική εκκένωση τόξου

Η τάση μερικής εκκένωσης τόξου δεν πρέπει να ξεπερνά τις τιμές οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 8 (όπου U_N η ονομαστική τάση σε kV).

	Οριακές Τιμές Τάσης Μερικής Εκφόρτισης		
	160μV	60μV	10μV
Τάση Δοκιμής Μερικής Εκφόρτισης			
M/Σ μονοπολικά μονωμένος με:			
στερεό μονωτικό υλικό, για $\geq U_m=3.6kV$	$1.5\sqrt{3}U_N$	$1.3\sqrt{3}U_N$	$0.75\sqrt{3}U_N$
υγρό μονωτικό υλικό			
για διάταξη N και S, για $\geq U_m=72.5kV$	-	-	$1.3\sqrt{3}U_N$
για διάταξη NE και SE, για $\geq U_m=125kV$	-	-	$0.8 \cdot 1.3\sqrt{3}U_N$
M/Σ διπολικά μονωμένος με στερεό μονωτικό υλικό για $\geq U_m=3.6kV$	$1.5U_N$	-	$1.3U_N$

Πίνακας 8: Οριακές τιμές τάσεων μερικής εκκένωσης

§ 5

Δοκιμές

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται οι διαδικασίες των διαφόρων δοκιμών. Τα μετρούμενα μεγέθη πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές και τις τιμές που αναφέρονται στους Πίνακες των αντίστοιχων προηγούμενων παραγράφων.

a) Δοκιμές τύπου

1) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης.

1.1) Δοκιμή στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή

Το πρωτεύον τύλιγμα πρέπει να ελέγχεται για 1 min με ονομαστική εναλλασσόμενη τάση, η οποία εφαρμόζεται μεταξύ τυλίγματος και γης.

1.2) Δοκιμή στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή

Το δευτερεύον τύλιγμα πρέπει να ελέγχεται για 1 min με ονομαστική εναλλασσόμενη τάση 2 kV, η οποία εφαρμόζεται μεταξύ τυλίγματος και γης.

1.3) Δοκιμή μεταξύ των πηνίων

Για να ελεγχθεί η διηλεκτρική αντοχή μεταξύ των πηνίων εφαρμόζεται στο πρωτεύον τύλιγμα για 1 min ονομαστική εναλλασσόμενη τάση, η τιμή της οποίας αναφέρεται στο Κεφάλαιο 1, στους Πίνακες 3α και 3β.

1.3.1) Για να αποφευχθεί ένα υπερβολικά υψηλό ρεύμα στη διάταξη του μετασχηματιστή δοκιμής, μπορεί να αυξηθεί η συχνότητα.

1.3.2) Η ονομαστική εναλλασσόμενη τάση μπορεί να παραχθεί μέσω διέγερσης του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή, εφόσον το φορτίο το επιτρέπει. Η τάση πρέπει να μετρηθεί στο πρωτεύον τύλιγμα.

1.3.3) α) Εάν στην περίπτωση διπολικά μονωμένου μετασχηματιστή τάσης είναι η ονομαστική τάση μικρότερη από $\frac{1}{5}$ της ονομαστικής εναλλασσόμενης τάσης, τότε η τάση δοκιμής ανέρχεται σε $5 \cdot$ ονομαστική τάση.

β) Εάν στην περίπτωση μονοπολικά μονωμένου μετασχηματιστή τάσης είναι η $\sqrt{3} \cdot$ ονομαστική τάση μικρότερη από $\frac{1}{5}$ της ονομαστικής εναλλασσόμενης τάσης, τότε η τάση δοκιμής ανέρχεται σε $5 \cdot \sqrt{3} \cdot$ ονομαστική τάση.

γ) Εάν στην περίπτωση μετασχηματιστή τάσης σε μονοφασική διάταξη είναι η $2 \cdot$ ονομαστική τάση μικρότερη από $\frac{1}{5}$ της ονομαστικής εναλλασσόμενης τάσης, τότε η τάση δοκιμής ανέρχεται σε $5 \cdot 2 \cdot$ ονομαστική τάση.

2) Δοκιμή σε μερική εκκένωση

Οι τάσεις για αυτή τη δοκιμή με τις αντίστοιχες οριακές τιμές τους για κάθε είδος μετασχηματιστή αναφέρονται στον Πίνακα 8. Οι μετρούμενες τιμές πρέπει να πολλαπλασιαστούν με το συντελεστή διόρθωσης k_1 .

3) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή κρουστικής τάσης

Στην περίπτωση διπολικά μονωμένου μετασχηματιστή τάσης, η δοκιμή με κρουστική τάση διεξάγεται σε κάθε κόμβο του πρωτεύοντος τυλίγματος.

Στην περίπτωση μονοπολικά μονωμένου μετασχηματιστή τάσης, η δοκιμή με κρουστική τάση διεξάγεται στον κόμβο, ο οποίος λειτουργεί υπό την πιο υψηλή τάση.

4) Δοκιμή υπερθέρμανσης

4.1) Η ανοχή των τυλιγμάτων στην ανύψωση της θερμοκρασίας ελέγχεται υπό τις συνθήκες λειτουργίας, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 9. Εάν για κάποιο τύλιγμα δίνονται περισσότερες ονομαστικές ισχύεις, μετράται η μεγαλύτερη τιμή.

A/A		Τάση Πρωτεύοντος	Διάρκεια Φορτίου	Φορτίο Δευτερεύοντος $\cos\beta = 1$			
				Δευτερεύον Τύλιγμα (εκτός τυλίγματος γείωσης)	Τύλιγμα Γείωσης		
1	όλοι οι μετασχηματιστές τάσης	1.0U _N	μέχρι τη θερμοκρασιακή ισορροπία	οριακή τιμή ρεύματος δευτερεύοντος	χωρίς φορτίο		
2		1.2U _N					
3	μονοπολικά μονωμένος μετασχηματιστής τάσης	1.5U _N 30s	1.5U _N	τιμή ισχύος ονομαστικού φορτίου	μη διαθέσιμο		
4		1.9U _N 30s	1.9U _N			4h	
5		1.9U _N 4h					8h
6		1.9U _N 8h					

Πίνακας 9: Συνθήκες δοκιμής υπερθέρμανσης

για μετασχηματιστές τάσης

συνδεδεμένους σε τριφασικό εναλλασσόμενο δίκτυο

4.2) Οι δοκιμές με A/A 3 και 4, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 9, μπορεί να αποφευχθούν, εάν δεν παρατηρείται σε κανένα τύλιγμα πυκνότητα ρεύματος άνω των 8 A/mm². Αυτό ισχύει μόνο για τυλίγματα χαλκού. (Στην περίπτωση μίας αδιαβατικής αύξησης της θερμότητας, μία πυκνότητα ρεύματος 8 A/mm² προκαλεί μία αύξηση της θερμοκρασίας 10°C σε 30 s).

4.3) Στην περίπτωση μετασχηματιστή τάσης με περισσότερα δευτερεύοντα τυλίγματα, το φορτίο πρέπει να συνδέεται ταυτόχρονα σε αυτά, με εξαίρεση το τύλιγμα γείωσης.

5) Δοκιμή σφαλμάτων

Η τήρηση των οριακών τιμών των σφαλμάτων, οι οποίες αναφέρονται στους Πίνακες 6 και 7, πρέπει να ελέγχεται με δοκιμές των σφαλμάτων τάσεων και των διαφορών γωνίας τάσης.

6) Δοκιμή σε ηλεκτρικό τόξο

Η δοκιμή αυτή διεξάγεται σύμφωνα με τη διαδικασία η οποία αναφέρεται στο Κεφάλαιο 1, § 5 a) 3).

b) Δοκιμές σειράς

1) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης.

1.1) Δοκιμή στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή, με τη διαδικασία η οποία αναφέρεται στο a) 1.1).

1.2) Δοκιμή στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή, με τη διαδικασία η οποία αναφέρεται στο a) 1.2).

1.3) Δοκιμή μεταξύ των πηνίων, με τη διαδικασία η οποία αναφέρεται στο a) 1.3).

2) Δοκιμή σε μερική εκφόρτιση, με τη διαδικασία η οποία αναφέρεται στο a) 2).

3) Δοκιμή σφαλμάτων, με τη διαδικασία η οποία αναφέρεται στο a) 5). Ο αριθμός των δοκιμών μπορεί να μειωθεί, εάν προκύπτει ότι οι οριακές τιμές των σφαλμάτων δεν ξεπερνιούνται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΧΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

§ 1

Ισχύς κανονισμών

a) Πεδίο ισχύος

Αυτοί οι κανονισμοί ισχύουν για μονοπολικά μονωμένο χωρητικό μετασχηματιστή τάσης, ο οποίος χρησιμοποιείται σε διάταξη μέτρησης ή προστασίας. Οι κανονισμοί ισχύουν επίσης όταν ο χωρητικός καταμεριστής της διάταξης του μετασχηματιστή χρησιμοποιείται ταυτόχρονα ως διάταξη φέρουσας συχνότητας (TFH).

Οι κανονισμοί αυτοί ισχύουν σε συνδυασμό με τους κανονισμούς των Κεφαλαίων 1 και 2, δηλ. η περιγραφή των διαδικασιών των διαφόρων δοκιμών, οι τεχνικές προδιαγραφές και οι οριακές τιμές των μετρούμενων μεγεθών, οι οποίες αναφέρονται σε αυτό το Κεφάλαιο, λειτουργούν επιπρόσθετα σε αυτές που αναφέρονται στις αντίστοιχες ενότητες και παραγράφους των δύο προηγούμενων Κεφαλαίων.

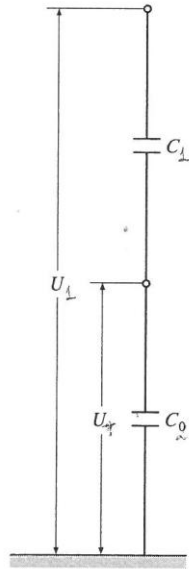
§ 2

Ορισμοί

a) Στοιχεία διάταξης

1) *Χωρητικός μετασχηματιστής τάσης* είναι ένας μετασχηματιστής τάσης, του οποίου η διάταξη αποτελείται από έναν χωρητικό καταμεριστή, με πυκνωτές C_1 και C_2 , και ένα επαγωγικό τμήμα, τα οποία λειτουργούν εναρμονισμένα μεταξύ τους κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος να προπορεύεται της τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή.

2) *Χωρητικός καταμεριστής* είναι μια σύνδεση πυκνωτών σε σειρά με τουλάχιστον τρεις κόμβους. Στον πρώτο κόμβο εφαρμόζεται υψηλή τάση, στο δεύτερο μέση τάση και ο τρίτος γειώνεται, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα.



3) Πυκνωτής υψηλής τάσης C_1 είναι το τμήμα του χωρητικού καταμεριστή, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στους κόμβους υψηλής και μέσης τάσης.

4) Πυκνωτής μέσης τάσης C_2 είναι το τμήμα του χωρητικού καταμεριστή, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στους κόμβους μέσης τάσης και γείωσης.

5) Επαγωγικό τμήμα του χωρητικού μετασχηματιστή τάσης είναι το τμήμα της διάταξης του μετασχηματιστή, μέσω του οποίου η τάση του πυκνωτή μέσης τάσης C_2 εφαρμόζεται στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή.

Το επαγωγικό τμήμα περιλαμβάνει γενικά και ένα πηνίο εξομάλυνσης, του οποίου η επαγωγική αντίδραση, συμπεριλαμβανομένης της επαγωγικής αντίδρασης σκέδασης ενός επαγωγικού μετασχηματιστή, αντιστοιχεί, για ονομαστική συχνότητα, με την χωρητική αντίσταση του καταμεριστή. Το πηνίο εξομάλυνσης παραλείπεται όταν η επαγωγική αντίδραση σκέδασης του μετασχηματιστή έχει αρκετά μεγάλη τιμή.

6) Διάταξη προστασίας του χωρητικού μετασχηματιστή είναι μία διάταξη, η οποία περιορίζει τις υπερτάσεις ή/και εμποδίζει τις διαρκείς ταλαντώσεις, οι οποίες μπορεί να εμφανιστούν σε ένα ή περισσότερα τμήματα στο εσωτερικό του μετασχηματιστή.

7) Πηνίο υψηλής συχνότητας (εξομάλυνση TFH) είναι ένα στοιχείο, το οποίο προστίθεται στη διάταξη της TFH στη γείωση του πυκνωτή μέσης τάσης. Για συχνότητα δικτύου, το πηνίο αυτό έχει αμελητέα σύνθετη αντίσταση, για τη φέρουσα συχνότητα, έχει σχετικώς υψηλή σύνθετη αντίσταση.

b) Ηλεκτρικοί ορισμοί

1) *Τάση καταμεριστή* είναι η τάση η οποία εφαρμόζεται στον πυκνωτή C_2 , όταν το επαγωγικό τμήμα της διάταξης του μετασχηματιστή έχει αποσυνδεθεί, και δίνεται από την σχέση:

$$U_T = U_1 \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

όπου U_1 η τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος και

U_T η τάση καταμεριστή.

2) *Ονομαστική τάση καταμεριστή* είναι η τάση καταμεριστή, η οποία προκύπτει από την παραπάνω σχέση για ονομαστικές τιμές πυκνωτών και ονομαστική τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος.

3) *Μέση τάση* είναι η τάση η οποία εφαρμόζεται στον πυκνωτή μέσης τάσης για οποιοδήποτε φορτίο του χωρητικού μετασχηματιστή τάσης.

4) *Σχέση καταμερισμού* είναι η σχέση του αθροίσματος των τιμών των πυκνωτών $C_1 + C_2$ προς την τιμή του πυκνωτή C_1 και ισούται με U_1/U_T .

§ 3

Κανονικές συνθήκες λειτουργίας

Για τις συνθήκες λειτουργίας του μετασχηματιστή ισχύουν οι κανονισμοί του Κεφαλαίου 1, § 3, η οποία αναφέρεται στις κλιματικές συνθήκες που θα πρέπει να ισχύουν για να λειτουργεί κανονικά ο μετασχηματιστής.

§ 4

Τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας

a) Τεχνικές τιμές μέτρησης

1) Ονομαστική ισχύς

Ωμικές αντιστάσεις και σύνθετες αντιδράσεις, οι οποίες είναι συνδεδεμένες συνεχώς στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή, καθώς και στοιχεία του επαγωγικού τμήματος της διάταξης του μετασχηματιστή δεν υπολογίζονται στο ονομαστικό φορτίο.

2) Οριακές τιμές σφαλμάτων

2.1) Για κάθε χωρητικό μετασχηματιστή τάσης με κλάση, η οποία αναφέρεται στον Πίνακα 5, πρέπει να τηρούνται οι οριακές τιμές σφαλμάτων που αντιστοιχούν στην κλάση του, σύμφωνα με τους Πίνακες 6 και 7, για συχνότητες 99-101% της ονομαστικής συχνότητας, για διάταξη μέτρησης, και 97-103% της ονομαστικής συχνότητας, για διάταξη προστασίας. Οι οριακές τιμές σφαλμάτων πρέπει να τηρούνται για τη χαμηλότερη θερμοκρασία καθώς και για την μέγιστη μέση 24-ωρη θερμοκρασία, σύμφωνα με το Κεφάλαιο 1, § 3 a) 1), μέχρι την επίτευξη κατάστασης ισορροπίας.

Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι οποίες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 1, § 3 a) 4), μπορεί να προκαλέσουν περιορισμένες διαφοροποιήσεις στις τιμές των σφαλμάτων.

b) Ταλαντώσεις

Λόγω διακοπτικών διεργασιών στο δίκτυο μπορεί να παρατηρηθούν στο χωρητικό μετασχηματιστή ταλαντώσεις, οι οποίες είναι επιβλαβείς για το μετασχηματιστή και τα διάφορα συνδεδεμένα σε αυτόν στοιχεία, όταν διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα. Για αυτό το λόγο, ο μετασχηματιστής τάσης πρέπει να συνοδεύεται από διάταξη, η οποία εμποδίζει τις παραμένουσες ταλαντώσεις και τις περιορίζει σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα.

Τέτοιου είδους ταλαντώσεις μπορεί να προκύψουν επίσης λόγω ανοιχτοκύκλωσης βραχυκυκλώματος στο δευτερεύον. Οι ταλαντώσεις αυτές πρέπει να εξομαλύνονται κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε, για τιμή τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος ίση με 1.2 φορές την ονομαστική τάση και για φορτίο ≤ 5 VA, καμία τιμή της τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος να μην αποκλίνει από την τάση αναφοράς περισσότερο από 10%, όταν μετά την αποκατάσταση του βραχυκυκλώματος παρέλθει χρόνος ίσος με 10 περιόδους της ονομαστικής συχνότητας. Επίσης, δεν πρέπει να εμφανίζονται παραμένουσες ταλαντώσεις, όταν το δευτερεύον κύκλωμα αποκαθίσταται, για τιμή τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος που δίνεται από τη σχέση:

$$\text{ονομαστική τάση} \cdot \text{συντελεστής ονομαστικής τάσης}$$

όπου ο ορισμός του συντελεστή ονομαστικής τάσης αναφέρεται στο Κεφάλαιο 2, § 2 a) 8).

c) Χειρισμός ταλαντώσεων λόγω βραχυκυκλώματος στο πρωτεύον

Στην περίπτωση μίας απότομης διακοπής της τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος, η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος πρέπει να ακολουθήσει γρήγορα την τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, σε μέγεθος και φάση. Κατά τη μετάβαση από τη μία κατάσταση ισορροπίας στην άλλη, λαμβάνουν χώρα ταλαντώσεις εξισορρόπησης. Αυτές οι ταλαντώσεις επηρεάζονται έντονα, τόσο από το δομικό σχεδιασμό του μετασχηματιστή, όσο και από το μέγεθος και το είδος του φορτίου.

Σε αυτήν την περίπτωση πρόκειται για εξομαλυμένες ταλαντώσεις με συχνότητα αρκετά μικρότερη από την ονομαστική συχνότητα. Για αυτό το λόγο, μπορεί να οδηγηθούμε σε εσφαλμένες μετρήσεις σύνθετης αντίστασης και ιδιαίτερα σε λάθος χειρισμούς στη διάταξη μέτρησης συχνότητας. Εάν όμως είναι γνωστός ο χειρισμός των ταλαντώσεων για καθορισμένο φορτίο, μπορούμε να καθορίσουμε από αυτό έμμεσα το χειρισμό των ταλαντώσεων για κάποιο άλλο φορτίο.

d) Εξαρτήματα

1) Διάταξη προστασίας

Στην περίπτωση που διατίθεται διάταξη προστασίας η οποία περιλαμβάνει σπινθηριστή, πρέπει να είναι κατά τέτοιο τρόπο προσαρμοσμένος, έτσι ώστε σε μελλοντικές περιπτώσεις λειτουργίας να μην προκαλεί συνεχή ανάφλεξη, δηλ. να είναι εγγυημένη η εκτόνωση και το σβήσιμο του ηλεκτρικού τόξου, όταν υποχωρεί η υπέρταση.

2) Πηνίο εξομάλυνσης υψηλής συχνότητας

Στην περίπτωση που προβλέπεται τέτοιου είδους διάταξη μεταξύ του ακροδέκτη γης του χωρητικού καταμεριστή και της γης, πρέπει η τιμή του πηνίου να υπολογίζεται κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να πληρούνται οι τεχνικές προδιαγραφές, οι οποίες αναφέρονται στην §4α) 2). Το πηνίο εξομάλυνσης πρέπει να προστατεύεται μέσω μίας συσκευής προστασίας από υπερτάσεις με εναλλασσόμενη τάση αναφοράς $U_{eff} = 2 \text{ kV}$.

3) Διάταξη φέρουσας συχνότητας (TFH)

Στην περίπτωση που προβλέπεται τέτοιου είδους διάταξη, πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προδιαγραφές:

3.1) Η ιδιοσυχνότητα του χωρητικού καταμεριστή πρέπει να είναι άνω των 600 kHz.

3.2) Στον ακροδέκτη σύνδεσης πρέπει να διατηρείται ονομαστική εναλλασσόμενη τάση τιμής 10 kV.

§ 5

Δοκιμές

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται οι διαδικασίες των διαφόρων δοκιμών. Τα μετρούμενα μεγέθη πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές και τις τιμές που αναφέρονται στους Πίνακες των αντίστοιχων παραγράφων της προηγούμενης ενότητας.

a) Δοκιμές τύπου

1) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης.

Η δοκιμή αυτή πρέπει να διεξάγεται χωριστά για το χωρητικό και το επαγωγικό τμήμα του μετασχηματιστή πριν τη συναρμολόγησή του.

1.1) Χωρητικό τμήμα

1.1.1) Πρέπει να καθοριστεί ο συντελεστής απωλειών του χωρητικού καταμεριστή στην περίπτωση μετασχηματιστή με συντελεστή ονομαστικής τάσης τιμής 1.5-1.25 ή $1.9-1.25\sqrt{3}$ φορές την ονομαστική τάση. Οι τιμές του συντελεστή απωλειών για ολόκληρη ή μισή τιμή τάσης δεν πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από $0.5 \cdot 10^{-3}$. Στην περίπτωση που το χωρητικό τμήμα αποτελείται από περισσότερες μονάδες πυκνωτών, πρέπει να γίνουν ξεχωριστές δοκιμές για κάθε έναν από αυτούς με ανάλογη διαίρεση της τάσης.

1.1.2) Ο ακροδέκτης της TFH πρέπει να ελέγχεται για 1 min με τάση τιμής 10 kV.

1.2) Επαγωγικό τμήμα

1.2.1) Δοκιμή μεταξύ των πηνίων

Η δοκιμή αυτή πρέπει να διεξάγεται για 1 min με εφαρμογή τάσης, η οποία προκύπτει από την ονομαστική εναλλασσόμενη τάση του χωρητικού καταμεριστή, διαιρεμένη με τη σχέση καταμερισμού. Η δοκιμή μπορεί να διεξαχθεί και στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Η συχνότητα δοκιμής πρέπει να είναι υψηλότερη από την ονομαστική, ούτως ώστε να αποφευχθεί μεγάλη τιμή έντασης του ρεύματος μαγνητισμού.

1.2.2) Δοκιμή τυλίγματος

Η δοκιμή στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή διεξάγεται σύμφωνα με τη διαδικασία, η οποία αναφέρεται στο Κεφάλαιο 2, § 5 a) 1.1., ωστόσο η τιμή της ονομαστικής εναλλασσόμενης τάσης πρέπει να ανέρχεται στα 4 kV αντί για 2 kV. Η δοκιμή στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή διεξάγεται σύμφωνα με τη διαδικασία, η οποία αναφέρεται στο Κεφάλαιο 2, § 5 a) 1.2.

2) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή κρουστικής τάσης.

Η δοκιμή αυτή διεξάγεται με τις τιμές οι οποίες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 1, Πίνακες 3α και 3β και με την ακολουθία δοκιμών η οποία αναφέρεται στο Κεφάλαιο 1, Πίνακας 4. Στην περίπτωση που προβλέπεται διάταξη TFH με πηνίο εξομάλυνσης υψηλής συχνότητας, πρέπει αυτό κατά τη διάρκεια της δοκιμής να βραχυκυκλώνεται. Στην περίπτωση που διατίθεται διάταξη προστασίας η οποία περιλαμβάνει σπινθηριστή, πρέπει αυτός να είναι κατά τέτοιο τρόπο προσαρμοσμένος, έτσι ώστε να μην αντιδρά. Ο χρόνος μετώπου πρέπει να είναι 1.2-5 μs, η κατώτερη οριακή τιμή του χρόνου ημίσεως εύρους πρέπει να είναι 32 μs.

Στην περίπτωση που η ισχύς της γεννήτριας κρουστικών τάσεων δεν είναι επαρκής και κατά συνέπεια η τήρηση των προαναφερθέντων χρονικών τιμών δεν είναι δυνατή για πολύ μεγάλες τιμές χωρητικότητας, η δοκιμή με κρουστική τάση μπορεί να διεξαχθεί ξεχωριστά στο επαγωγικό τμήμα του μετασχηματιστή. Η κρουστική τάση προκύπτει τότε από την ονομαστική κρουστική τάση, η οποία αντιστοιχεί στο μετασχηματιστή, διαιρεμένη με τη σχέση καταμερισμού.

3) Δοκιμή υπερθέρμανσης

Η δοκιμή αυτή διεξάγεται μόνο στο επαγωγικό τμήμα του μετασχηματιστή, σύμφωνα με τους κανονισμούς οι οποίοι αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2, § 5 a) 4, ανάγοντας τις τιμές τάσης οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 9 στο επαγωγικό τμήμα του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή.

4) Δοκιμή ταλαντώσεων

Η δοκιμή αυτή διεξάγεται με εφαρμογή τάσης τιμής:

α) ονομαστική τάση · 1.2

β) ονομαστική τάση · συντελεστής ονομαστικής τάσης.

Μετά την εφαρμογή της τάσης ο ακροδέκτης του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή πρέπει να βραχυκυκλωθεί. Το βραχυκύκλωμα πρέπει να αποκατασταθεί ξανά μετά από 0.5 s. Η γεννήτρια τάσης τροφοδοσίας πρέπει να προσαρμόζεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε το πλάτος της τάσης που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια του βραχυκύκλωματος να μην αποκλίνει από το πλάτος της τάσης πριν από το βραχυκύκλωμα περισσότερο από 10%. Η ωμική αντίσταση του εξωτερικού κυκλώματος στο δευτερεύον τύλιγμα πρέπει να έχει τιμή το πολύ 10% της τιμής της εσωτερικής ωμικής αντίστασης του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή. Οι απώλειες του ρεύματος βραχυκυκλώματος και – μετά την αποκατάσταση του βραχυκυκλώματος – της τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος πρέπει να καταγράφονται με παλμογράφο. Κατά την καταγραφή της τάσης ο μετασχηματιστής πρέπει να έχει φορτίο τιμής το πολύ 5 VA. Οι δοκιμές πρέπει να διεξάγονται με εφαρμογή των τάσεων, οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω,

α) 30 φορές και

β) 10 φορές.

Στην περίπτωση α) η δοκιμή γίνεται αποδεκτή, όταν πληρούνται οι τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας, οι οποίες αναφέρονται στην ενότητα § 4 b). Στην περίπτωση β) η δοκιμή γίνεται αποδεκτή, όταν 2 s μετά την αποκατάσταση του βραχυκυκλώματος μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι δεν παρατηρούνται ταλαντώσεις στο γράφημα της τάσης του δευτερεύοντος τυλίγματος.

5) Δοκιμή βραχυκυκλώματος στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή

Η δοκιμή αυτή πρέπει να διεξαχθεί είτε 10 φορές με οποιαδήποτε τυχαία φάση της τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος, είτε 2 φορές με τιμή κορυφής και 2 φορές με μηδενική τιμή της

τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος. Η δοκιμή μπορεί να διεξαχθεί με μειωμένη τάση, ωστόσο όχι μικρότερη από 10% της ονομαστικής τιμής της, όταν τηρούνται οι οριακές τιμές σφαλμάτων στην αντίστοιχη δοκιμή.

6) Δοκιμή σφαλμάτων

Μετρήσεις των σφαλμάτων πρέπει να διεξαχθούν, μέχρι την επίτευξη κατάστασης ισορροπίας, στις παρακάτω περιπτώσεις:

6.1) Για $1/4$ και $1/1$ του ονομαστικού φορτίου, για τις χαμηλότερες συχνότητες της περιοχής συχνοτήτων, η οποία αναφέρεται στην ενότητα § 4 a) 2, για την χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος και για το 80% της ονομαστικής τιμής της τάσης.

6.2) Για $1/4$ και $1/1$ του ονομαστικού φορτίου, για τις υψηλότερες συχνότητες της περιοχής συχνοτήτων, η οποία αναφέρεται στην ενότητα § 4 a) 2, για θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με την μέγιστη μέση 24-ωρη θερμοκρασία και για το 120% της ονομαστικής τιμής της τάσης.

b) Δοκιμές σειράς

1) Δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή με εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης.

1.1) Δοκιμή στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή

Στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή πρέπει να εφαρμόζεται για 1 min ονομαστική εναλλασσόμενη τάση, η τιμή της οποίας αναφέρεται στο Κεφάλαιο 1, Πίνακας 3, Στήλη 3, με αυξανόμενη συχνότητα.

Δεν πρέπει να παρατηρείται διέγερση στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή, καθώς και στην περίπτωση επαγωγικού μετασχηματιστή. Η δοκιμή της διηλεκτρικής αντοχής του μετασχηματιστή μπορεί να διεξαχθεί χωριστά για το χωρητικό και το επαγωγικό τμήμα του. Σε αυτή την περίπτωση, η ονομαστική εναλλασσόμενη τάση για το επαγωγικό τμήμα προκύπτει από την ονομαστική εναλλασσόμενη τάση του χωρητικού καταμεριστή, διαιρεμένη με τη σχέση καταμερισμού του. Η ονομαστική εναλλασσόμενη τάση του χωρητικού καταμεριστή αναφέρεται στο Κεφάλαιο 1, Πίνακας 3, Στήλη 4.

1.2) Δοκιμή του κόμβου γης για 1 min με τάση τιμής 4 kV.

1.3) Δοκιμή στο δευτερεύον τύλιγμα του επαγωγικού τμήματος

Το δευτερεύον τύλιγμα πρέπει να ελέγχεται για 1 min με ονομαστική εναλλασσόμενη τάση 2 kV, η οποία εφαρμόζεται μεταξύ τυλίγματος και γης.

2) Δοκιμή ταλαντώσεων

Η δοκιμή αυτή πρέπει να διεξάγεται 10 φορές με εφαρμογή τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματος τιμής που δίνεται από τη σχέση:

ονομαστική τάση · συντελεστής ονομαστικής τάσης.

Όσον αφορά τον υπολογισμό της τάσης τροφοδοσίας και την εκτίμηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών, ισχύουν οι κανονισμοί της ενότητας §5 a) 4).

3) Δοκιμή σφαλμάτων

Η δοκιμή αυτή πρέπει να διεξαχθεί σύμφωνα με αυτά που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2, §5 a) 5) για συχνότητα και θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι οποίες βρίσκονται εντός της περιοχής των αντίστοιχων αποδεκτών τιμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. VDE Κανονισμός 0414 “Bestimmungen fuer Meßwandler”, Teil 1, 3, 4/12.70
2. Π. Δ. Μπούρκας, “Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων”, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1998
3. Π. Δ. Μπούρκας, Κ. Γ. Καραγιαννόπουλος, “Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά ”, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2003
4. Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος, “Υψηλές τάσεις Ι”, Εκδόσεις Συμεών

