



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

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ **ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Α. Γιαννόπουλος

Επιβλέπων : Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2010



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

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Α. Γιαννόπουλος

Επιβλέπων : Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2010

Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ν. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Π.Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2010

Δημήτριος Α. Γιαννόπουλος

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

Copyright © Δημήτριος Α. Γιαννόπουλος, 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.

*Αφιερώνεται
στην οικογένεια μου*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι μετασχηματιστές ισχύος αποτελούν το κυριότερο συστατικό λειτουργίας ενός υποσταθμού, καθώς επίσης και το πιο δαπανηρό. Είναι το βασικό δομικό στοιχείο που πρέπει να λειτουργεί απρόσκοπτα, με τρόπο ασφαλή και αποδοτικό. Η ομαλή λειτουργία, όπως επίσης και η - κατα το δυνατό - μεγαλύτερη διάρκεια ζωής βασίζεται σε παράγοντες στους οποίους μπορούμε να επεμβούμε. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι η τακτική και οργανωμένη συντήρηση. Καθίσταται λοιπόν σαφές ότι ο σύγχρονος μηχανικός πρέπει να γνωρίζει τις απαραίτητες μεθοδολογίες συντήρησης, ελέγχων και δοκιμών στην πληρότητά τους.

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την προσέγγιση του θέματος από πρακτικής άποψης. Πρέπει να τονισθεί η προσπάθεια να αναφέρονται με πληρότητα οι σχετικοί κανονισμοί, όπως IEEE/ANSI και IEC. Οι αναμεταξύ τους διαφορές είναι λιγοστές, ωστόσο όποτε υπάρχουν αναφέρονται για λόγους σύγκρισης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά συνοδεύονται από τις προαπαιτούμενες θεωρητικές γνώσεις για την καλύτερη κατανόησή τους, ενώ υπάρχει πλούσιο υλικό αναπαράστασης (προερχόμενο από τις σημαντικότερες βιομηχανικές εταιρίες καθώς επίσης και τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού). Η εργασία έχει ως σκοπό να είναι απλή, αλλά περιεκτική και πλήρης. Με αυτόν τον τρόπο αποσκοπεί στο να πληροφορήσει, να κατευθύνει αλλά και να προσφέρει γνώσεις σε κάθε ενδιαφερόμενο, ηλεκτρολόγο μηχανικό και όχι μόνο, αποτελώντας έναν οδηγό αναφοράς.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η παρούσα εργασία απευθύνεται σε άτομα σχετικά με την επιστήμη της ηλεκτρολογίας και τις εφαρμοσμένες τεχνολογίες. Έτσι δεν γίνεται περιγραφή των βασικών αρχών ηλεκτρομαγνητισμού που διέπουν τους μετασχηματιστές. Η πλειοψηφία των οργάνων (αμπερόμετρα, πολύμετρα) και τακτικών μέτρησης (έλεγχος συνέχειας) θεωρούνται γνωστά για αυτό και δεν αναλύονται παρά μόνο όταν κρίνεται απαραίτητο. Επίσης, δεν γίνεται εκτενής αναφορά στα υλικά και την διαδικασία κατασκευής των μετασχηματιστών αφού αυτά σχετίζονται με τον σχεδιασμό.

Δ.Γιαννόπουλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία συνιστά έναν τεχνικό οδηγό. Ο σκοπός είναι να προσφέρει τις βασικές μεθόδους συντήρησης, να επιστήσει την προσοχή και να προτείνει τεχνικά εφαρμόσιμες λύσεις.

Στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία ενός μετασχηματιστή, έτσι όπως συναντώνται στην συντριπτική πλειοψηφία των μετασχηματιστών. Αναλύονται τα επιμέρους τμήματα που τον αποτελούν καθώς επίσης και οι τεχνικές απαιτήσεις ώστε να είναι αποδοτικά. Ένα παραπέρα βήμα είναι ο προσδιορισμός των σφαλμάτων και των αιτίων που οδηγούν σε αυτά. Έπειτα αναπτύσσονται οι δοκιμές ποιοτικού ελέγχου (τύπου, σειράς, πεδίου και ειδικές δοκιμές) με τα όρια που υπαγορεύονται από τους σχετικούς κανονισμούς.

Στο 2^ο κεφάλαιο αναφέρεται ο σκοπός της εργασίας και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να βοηθήσει στην αποτελεσματικότερη συντήρηση των μετασχηματιστών.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναπτύσσεται το αντικείμενο της συντήρησης, χωρισμένο ανά είδος εξοπλισμού. Η περιγραφή είναι αναλυτική και πρακτική, ώστε να χρησιμοποιείται με ευκολία από τον μηχανικό ή τον ενδιαφερόμενο μελετητή.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες σύγχρονες τάσεις στον τομέα της έρευνας και τα αποτελέσματα αυτών. Πρέπει να αναφερθεί ότι το πεδίο των ερευνών είναι εκτενές και συνεχώς εξελισσόμενο. Ωστόσο, έχει γίνει προσπάθεια να αναφερθούν οι πιο πρόσφατες εξελίξεις πάνω σε διαγνωστικές μεθόδους, τεχνολογίες και έρευνες που σχετίζονται με τη συντήρηση.

Στο 5^ο κεφάλαιο προτείνονται μέτρα βελτίωσης της συντήρησης που θα μπορούσαν να επιφέρουν μείωση κόστους με ταυτόχρονη περιβαλλοντική αποφόρτιση. Το αντικείμενο των αποδοτικότερων μετασχηματιστών επανέρχεται ολοένα και περισσότερο στο προσκήνιο, εξαιτίας της στροφής προς την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και των απαιτήσεων μείωσης του λειτουργικού κόστους.

Τέλος παρατίθενται παραρτήματα προς μελέτη, με ομαδοποιημένους πίνακες συντήρησης, τις σχετικές προδιαγραφές της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, τους διεθνείς κανονισμούς και φυσικά, την σχετική βιβλιογραφία.

Λέξεις κλειδιά

Μετασχηματιστές, Συντήρηση μετασχηματιστών, Μετασχηματιστές μεταφοράς

ABSTRACT

This paper is a technical guide. The aim is to provide basic maintenance methods to draw attention and suggest technically applicable solutions.

In the 1st chapter are presented the basic elements of transformer, as found in the vast majority of transformers. Are analyzed the individual departments that constituting as well as the technical requirements so that they are efficient. A further step is to identify the errors and the causes leading to them. Then are developed the tests of qualitative control (type, serial, field and specific tests) with the limits prescribed by the relevant regulations.

In the 2nd chapter are reported the aim of paper and how it can help in the more effective maintainance of transformers.

In the 3rd chapter is developed the object of maintainance, divided by type of equipment. The description is detailed and practical, to be used with ease by the engineer or researcher interested.

In the 4th chapter are presented the mainer modern tendencies in the sector of research and the results of these. It should be noted that the scope of research is extensive and constantly evolving. However, it has been attempted to report the latest developments on diagnostic methods, technologies and research related to the maintenance.

In the 5th chapter are proposed measures to improve the maintenance that could involve reduction of cost with simultaneous environmental discharge. The subject of more efficient transformers returned increasingly to the fore because of a shift towards environmental protection and requirements to reduce operating costs.

Finally are mentioned anneces to study, with grouped tables of maintainance, the relative specifications of Public Power Corporation, the international regulations and of course, the relative bibliography.

Key words

Transformers, Transfomers Maintenance, Transmission Transformers

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κο. Περικλή Μπούρκα καθώς επίσης τον Καθηγητή κο. Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο για την ουσιαστική καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που συνετέλεσαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους και εργοδότες μου, στον ιδιωτικό τομέα αλλά και στην Διεύθυνση Νέων Έργων Μεταφοράς της ΔΕΗ, για κάθε πληροφορία και άμεση ή έμμεση γνώση που μου προσέφεραν.

Τέλος θα ήταν σημαντική παράλειψη να μην ευχαριστήσω τους γονείς μου που με στήριξαν κατά τη διάρκεια της εκπονήσεως της εργασίας, με υπομονή, κατανόηση και φυσικά αγάπη.

Δ. Α. Γιαννόπουλος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Βασικά στοιχεία μετασχηματιστή.....	17
1.1 Τα εξαρτήματα του μετασχηματιστή	17
1.2 Η πινακίδα.....	28
1.3 Κλάσεις ψύξεως.....	30
2. Το σύστημα μόνωσης.....	32
2.1 Υλικά κυτταρίνης.....	32
2.2 Μονωτικά λάδια.....	34
3. Είδη καταπονήσεων και εμφάνιση βλαβών.....	35
4. Οι δοκιμές ποιοτικών ελέγχων.....	37
4.1 Δοκιμές σειράς.....	37
4.1.1 Μέτρηση της αντίστασης τυλιγμάτων.....	37
4.1.2 Μέτρηση σχέσης μετασχηματισμού και ομάδας ζεύξης.....	38
4.1.3 Μέτρηση πολικότητας.....	39
4.1.4 Μέτρηση της τάσης βραχυκύκλωσης και απωλειών φορτίου	39
4.1.5 Μέτρηση του ρεύματος μαγνήτισης και απωλειών εν κενώ	39
4.1.6 Δοκιμή εφαρμοσμένης διηλεκτρικής αντοχής.....	40
4.1.7 Έλεγχος του βηματικού διακόπτη.....	41
4.2 Δοκιμές τύπου.....	41
4.2.1 Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας.....	41
4.2.2 Δοκιμή κρουστικής τάσης.....	42

4.2.3	Δοκιμή επαγόμενης διηλεκτρικής αντοχής.....	43
4.2.4	Μέτρηση στάθμης θορύβου.....	44
4.2.5	Δοκιμή μηχανικής αντοχής.....	44
4.3	Ειδικές δοκιμές.....	44
4.3.1	Μέτρηση επαγωγικής αντίδρασης μηδενικής ακολουθίας.....	45
4.3.2	Αντοχή σε βραχυκύκλωμα.....	45
4.3.3	Μέτρηση των αρμονικών του ρεύματος λειτουργίας εν κενώ.....	45
4.3.4	Μέτρηση ισχύος ανεμιστήρων.....	46
4.4	Δοκιμές πεδίου.....	46
4.4.1	Μετρήσεις μονωτικών λαδιών.....	46
4.4.1.1	Ανίχνευση αερίων διαλυμένων στο λάδι.....	46
4.4.1.2	Άλλες δοκιμές του μονωτικού λαδιού.....	49
4.4.2	Μέτρηση της αντίστασης μόνωσης.....	50
5.	Είδη συντήρησης.....	51
II.	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	54
III.	Η ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ.....	56
1.	Έλεγχος του μονωτικού λαδιού.....	56
1.1	Διηλεκτρική αντοχή.....	57
1.2	Επιφανειακή τάση.....	57
1.3	Βαθμός εξουδετέρωσης.....	58
1.4	Συντελεστής ισχύος.....	59
1.5	Επιβραδυντές οξείδωσης.....	60

1.6 Ανάλυση φουρανίων.....	60
1.7 Χρώμα.....	61
2. Έλεγχος συστήματος μόνωσης.....	61
2.1 Αντίσταση μόνωσης.....	61
2.2 Συντελεστής ισχύος.....	61
3. Θερμογραφικός έλεγχος.....	64
3.1 Εφαρμογή σε δεξαμενές.....	65
3.2 Εφαρμογή σε μονωτήρες διέλευσης.....	66
3.3 Εφαρμογή σε αλεξικέραυνα.....	67
3.4 Εφαρμογή σε ψυγεία.....	68
3.5 Εφαρμογή σε μεταγωγέα λήψεων.....	68
4. Εξωτερικός οπτικός έλεγχος-δεξαμενή.....	69
5. Μονωτήρες διέλευσης.....	70
5.1 Συντελεστής ισχύος (Συνθ).....	70
5.1.1 Μέτρηση κύριας μόνωσης C1.....	71
5.1.2 Μέτρηση μόνωσης C2.....	71
5.1.3 Μέτρηση κολάρου υπό τάση.....	72
5.2 Συντελεστής απωλειών (Εφδ).....	73
5.3 Διηλεκτρικές απώλειες λαδιού.....	74
5.4 Μέθοδος των διαλυμένων αερίων	74
6. Εναλλάκτης θερμότητας.....	74
7. Δειγματοληψία.....	74
7.1 Δειγματοληψία για ποιοτικό έλεγχο λαδιου.....	75
7.2 Δειγματοληψία για ανάλυση διαλυμένων αερίων.....	76

8. Όργανα μέτρησης και ηλεκτρονόμοι.....	77
8.1 Θερμόμετρο ελαίου.....	77
8.2 Θερμόμετρο τυλιγμάτων.....	78
8.3 Ενδεικτικό στάθμης ελαίου.....	80
8.4 Συσκευή ανακούφισης πίεσης.....	81
8.5 Ρελέ άμεσης εκτόνωσης.....	83
8.6 Ηλεκτρονόμος Buchholz.....	84
9. Πίνακας ελέγχου.....	85
10. Αφυγραντής.....	86
11. Μεταγωγέας λήψεων.....	87
11.1 Αριθμός χειρισμών.....	87
11.2 Αντίσταση των ηλεκτρικών συνδέσεων.....	88
11.3 Θερμοκρασία.....	89
11.4 Ρεύμα κινητήρα.....	89
11.5 Έλεγχος αφυγραντή.....	89
11.6 Ακουστικά σήματα.....	89
12. Φλάντζες.....	90
13. Μετασχηματιστές οργάνων.....	92
14. Αλεξικέρανα.....	93

V. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

1. Η ανίχνευση μερικών εκκενώσεων μέσω ακουστικών σημάτων.....	94
2. Η ανίχνευση του στατικού ηλεκτρισμού.....	96

3. Οι συγχρονοι αισθητήρες οπτικών ινών.....	99
4. Η παρακολούθηση και διάγνωση πραγματικού χρόνου μέσω λογισμικού.....	101
5. Η επίδραση των γεωμαγνητικώς επαγόμενων ρευμάτων.....	102
6. Η ανάλυση ταλαντώσεων.....	104
7. Οι δοκιμές διάβρωσης και εκτίμησης της επίδρασης του θειούχου χαλκού.....	107
8. Η ανίχνευση πρόσθετων αερίων εκτός του υδρογόνου.....	110
9. Η συσχέτιση ανάλυσης φουρανίων με τη διάρκεια ζωής των υλικών κυτταρίνης.....	112

VI. ΣΧΟΛΙΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

1. Υπολειπόμενος χρόνος ζωής με χρήση των θερμικών συντελεστών.....	114
2. Ενεργειακή απόδοση μετασχηματιστών.....	116
3. Μέτρα ασφάλειας προσωπικού.....	119
4. Προτεινόμενες φόρμες ασφάλειας-ελέγχου.....	125
5. Δημιουργία κοινής βάσεως δεδομένων με αρχεία ιστορικού βλαβών.....	128

Παραρτήματα

A. Οδηγός συντήρησης

A.1 Χρονοδιάγραμμα.....	130
A.2 Εξωτερική.....	133
A.3 Εσωτερική.....	135
A.4 Αντιμετώπιση σφαλμάτων.....	136

B. Τεχνικές προδιαγραφές μετασχηματιστών της ΔΕΗ

B.1 Τριφασικοί μετασχηματιστές διανομής (Τεχνική προδιαγραφή ΗΚ.01.48/3.6.91 , GR-46)	143
B.2 Τριφασικός μετασχηματιστής 40/50MVA, 150/15,75-21kV (Τεχνική προδιαγραφή Νο SS-25/19)	143

Γ. Σχετικά πρότυπα και κανονισμοί

Γ.1 ANSI/IEEE.....	186
Γ.2 IEC.....	187
Γ.3 Διαφορές μεταξύ προτύπων ANSI/IEEE και IEC.....	189
Βιβλιογραφία.....	192

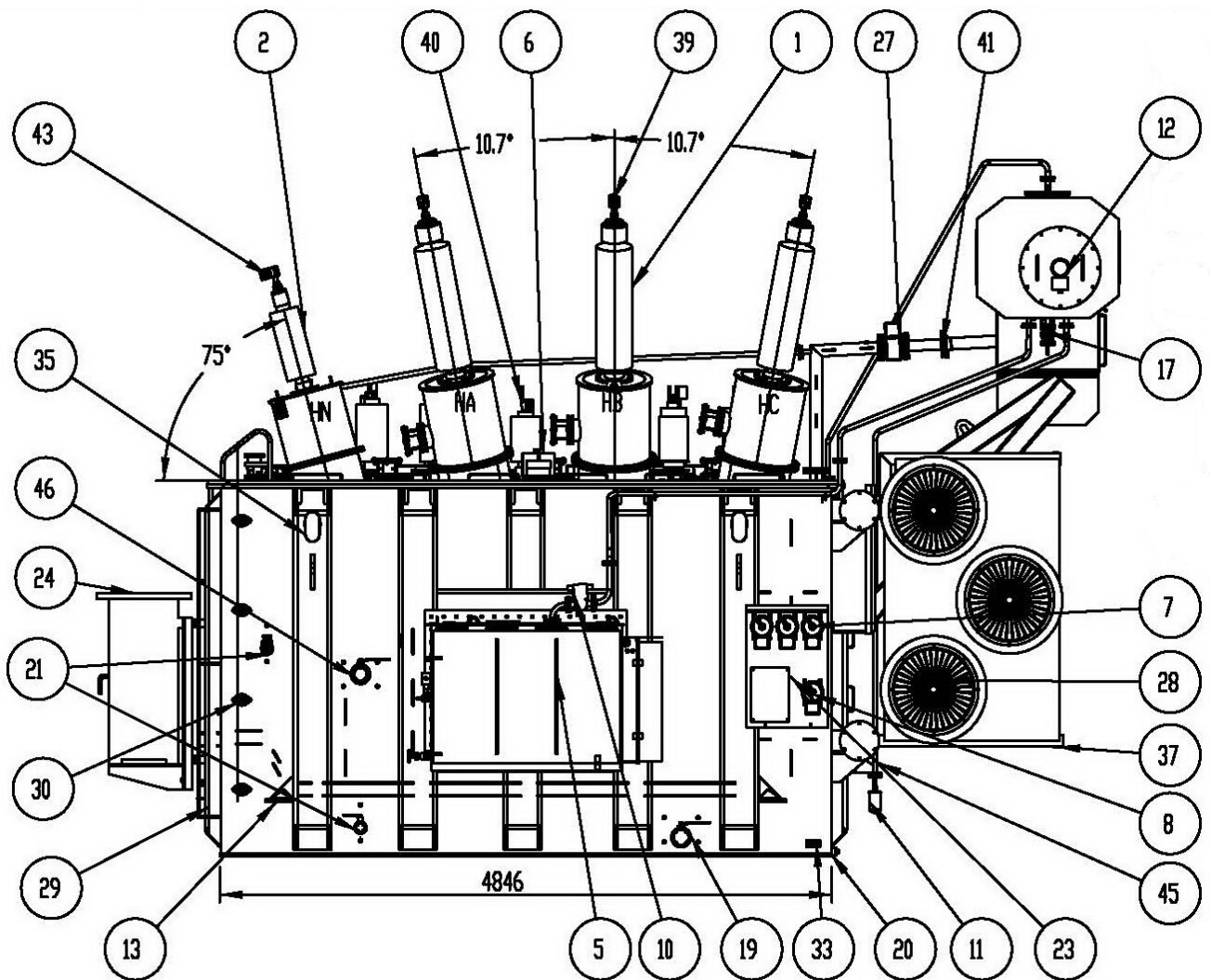
Ι.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο χωρίζεται στα εξής μέρη. Το πρώτο τμήμα αναφέρει εν συντομία τα βασικά εξαρτήματα που απαρτίζουν έναν μετασχηματιστή. Η πλήρης περιγραφή της συντήρησής τους γίνεται στο 3^ο κεφάλαιο. Εξετάζονται στοιχεία όπως η πινακίδα και οι κλάσεις ψύξης, από τα οποία αντλούνται σημαντικές κατασκευαστικές και λειτουργικές πληροφορίες. Το δεύτερο τμήμα συνιστά έναν πλήρη οδηγό για τις δοκιμές ποιοτικού ελέγχου (δοκιμές σειράς, δοκιμές τύπου, δοκιμές πεδίου και ειδικές δοκιμές). Για κάθε δοκιμή περιγράφεται η διαδικασία και τα όργανα που απαιτούνται. Επίσης υπάρχει παραπομπή στο σχετικό πρότυπο για περαιτέρω μελέτη. Τέλος, στο τρίτο τμήμα αναφέρονται τα διάφορα είδη συντήρησης ανάλογα με τα κριτήρια που επιλέγονται.

1. Βασικά στοιχεία μετασχηματιστή

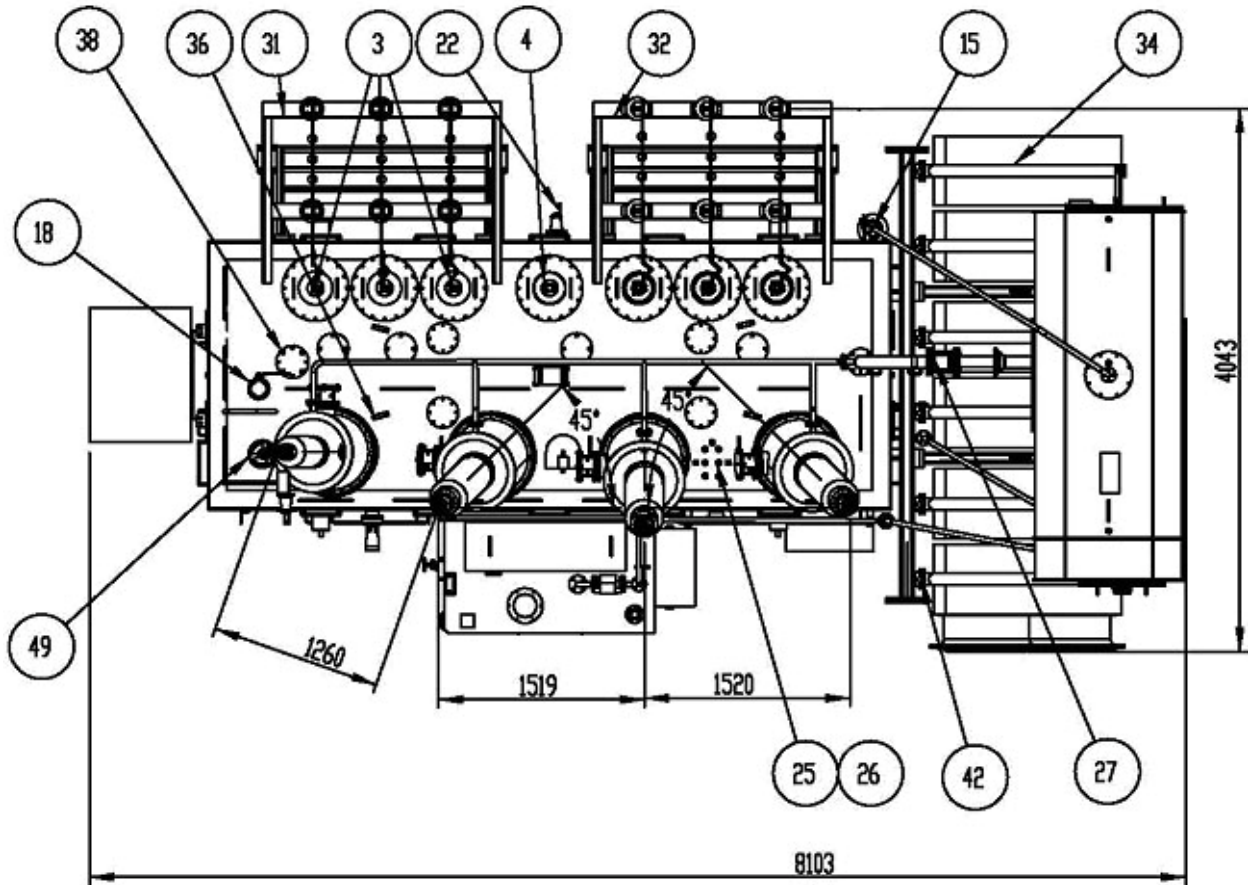
1.1 Τα εξαρτήματα του μετασχηματιστή

Τα επόμενα σχήματα παρουσιάζουν τα βασικά εξαρτήματα του μετασχηματιστή. Για λόγους πληρότητας σημειώνονται στοιχεία εξοπλισμού που ενδεχομένως να μην υπάρχουν ή να υπάρχουν σε διαφορετικές θέσεις. Επίσης, οι διαστάσεις είναι ενδεικτικές και αναγράφονται για να δίνεται η τάξη μεγέθους.



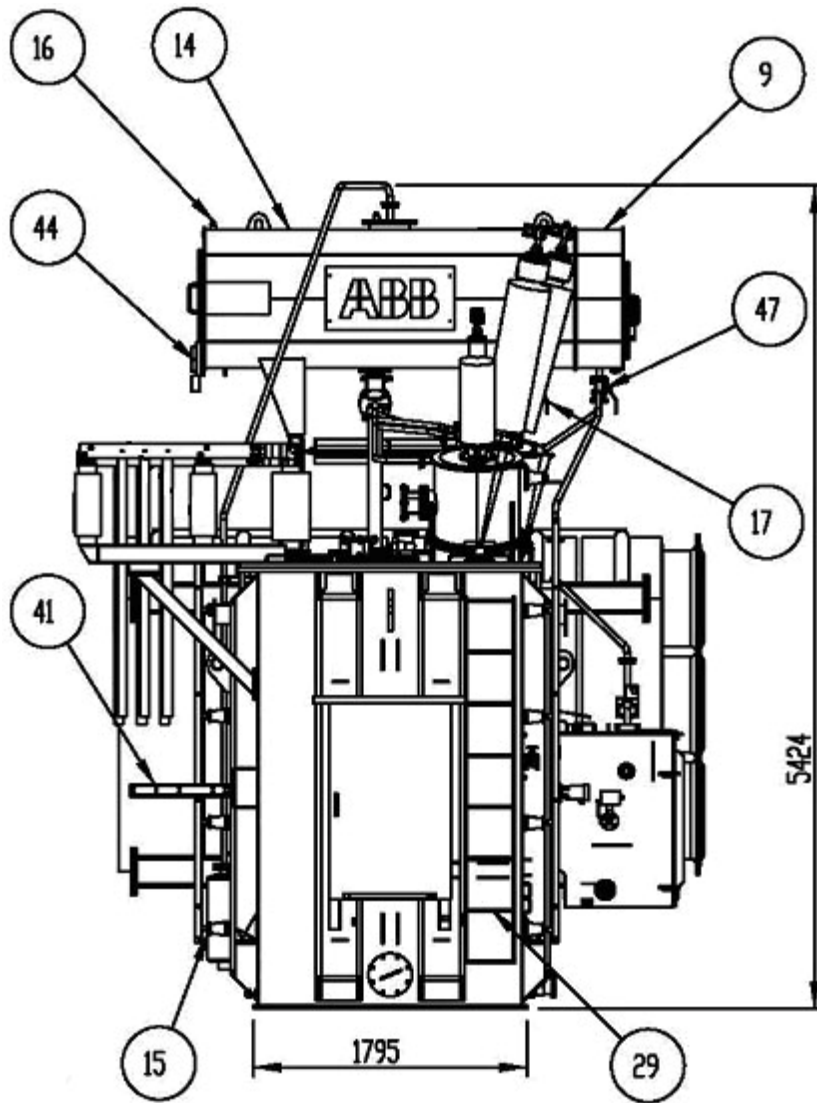
Σχήμα I.1-1: Πλάγια όψη μετασχηματιστή 20/25MVA, [25].

- | | |
|---|---|
| 1. Μονωτήρας διέλευσης υψηλής τάσης | 24. Πίνακας ελέγχου |
| 2. Μονωτήρας ουδέτερου κόμβου | 27. Ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων (Buchholz) |
| 5. Μεταγωγέας λήψεων υπό φορτίο | 28. Ανεμιστήρες ψύξης |
| 6. Συσκευή ανακούφισης πίεσης | 29. Σκάλα |
| 7. Θερμόμετρα τυλιγμάτων | 30. Γείωση τυλιγμάτων υψηλής τάσης |
| 8. Θερμόμετρο λαδιού | 33. Ακροδέκτης γείωσης κύριας δεξαμενής |
| 10. Ηλεκτρονόμος ροής λαδιού από μεταγωγή | 35. Λαβές ανύψωσης μετασχηματιστή |
| 11. Αφυγραντής μεταγωγή λήψεων | 37. Βάνα αποστράγγισης ψυγείου |
| 12. Ενδεικτικό στάθμης λαδιού μεταγωγή | 39. Ακροδέκτες μονωτήρα διέλευσης υψηλής τάσης |
| 13. Λαβές έλξης | 40. Ακροδέκτες μονωτήρα διέλευσης μέσης και χαμηλής τάσης |
| 17. Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής | 41. Βάνα απομόνωσης |
| 19. Βάνα πλήρωσης/αποστράγγισης λαδιού | 43. Ακροδέκτης μονωτήρα ουδέτερου κόμβου |
| 20. Πώμα αποστράγγισης | 45. Βαλβίδα εξαέρωσης δεξαμενής |
| 21. Βάνα δειγματοληψίας | 46. Ηλεκτρονόμος άμεσης εκτόνωσης |
| 23. Πινακίδα | |



Σχήμα Ι.1-2: Κάτοψη μετασχηματιστή 20/25MVA, [25].

3. Μονωτήρας διέλευσης μέσης τάσης
4. Μονωτήρας διέλευσης χαμηλής τάσης
15. Αφυγραντής δοχείου διαστολής
18. Βάνα κένωσης
22. Ακροδέκτης γειώσεως ουδετέρου κόμβου
25. Αισθητήρας θερμοκρασίας ελαίου (προαιρετικά)
26. Αισθητήρας θερμοκρασίας τυλιγμάτων (προαιρετικά)
27. Ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων (Buchholz)
31. Ζυγοί μέσης τάσης (προαιρετικά)
32. Ζυγοί χαμηλής τάσης (προαιρετικά)
34. Ψυγείο
36. Λαβές ανύψωσης πάνω καλύματος
38. Κιβώτιο σύνδεσης γειώσης πυρήνα
42. Βάνες ψυγείου
49. Μεταγωγέας λήψεων εν κενώ (προαιρετικά)



Σχήμα Ι.1-3: Μπροστινή όψη μετασχηματιστή 20/25MVA, [25].

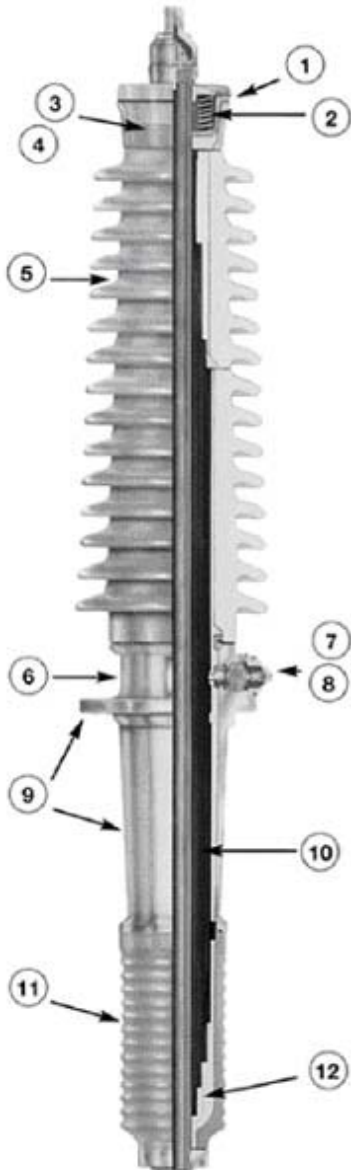
- 9. Δοχείο διαστολής μεταγωγέα λήψεων
- 14. Δοχείο διαστολής κύριας δεξαμενής
- 15. Αφυγραντής δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής
- 16. Εξαερωτήρας δοχείου διαστολής
- 17. Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής
- 29. Σκάλα
- 41. Σχάρα όδευσης καλωδίων
- 44. Ενδεικτικό στάθμης για δοχείο διαστολής
- 47. Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής μεταγωγέα

Μονωτήρες διέλευσης [3,12]

Οι μονωτήρες διέλευσης ή αλλιώς διαπεραστήρες ενός μετασχηματιστή χρησιμοποιούνται για την ασφαλή έξοδο των αγωγών των τυλιγμάτων από το κυρίως δοχείο. Κατασκευάζονται οι εξής δύο τύποι:

- α) Τύπος πυκνωτή με μόνωση χαρτιού εμποτισμένου με λάδι ή με μόνωση χαρτιού εμποτισμένου με ρητίνη.
- β) Τύπος με μόνωση από στρώσεις στερεού και υγρού υλικού εναλλάξ ή με μόνωση αερίου ή με μόνωση στερεού υλικού.

Οι μονωτήρες διέλευσης ανήκουν στα παρελκόμενα του μετασχηματιστή. Σε αυτούς παρουσιάζονται συχνά βλάβες. Το 19% των βλαβών στους μετασχηματιστές οφείλεται στους μονωτήρες διέλευσης. Άλλες στατιστικές έχουν δείξει ότι το ποσοστό ανέρχεται στο 30% [87,88,89 σελ. IV-2-2,90]. Στο σχήμα δίνονται τα βασικά εξαρτήματα του μονωτήρα διέλευσης τύπου πυκνωτή, όταν αυτός έχει αφαιρεθεί από την κύρια δεξαμενή του μετασχηματιστή.



Σχήμα I.1-4: Μονωτήρας διέλευσης τύπου πυκνωτή, [10] σχ.3-23.

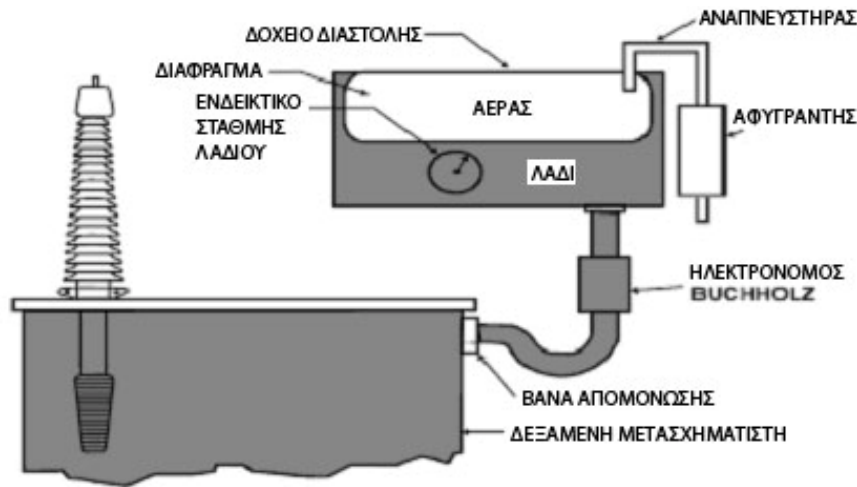
1. Φλάντζα
2. Ελατήρια στεγανοποίησης
3. Ενδεικτικό στάθμης λαδιού
5. Εξωτερικό περίβλημα από προρσελάνη
6. Πινακίδα με τεχνικά στοιχεία
7. Λήψη για μέτρηση συντελεστή ισχύος και χωρητικότητας
8. Λήψη για μέτρηση τάσης ή χωρητικότητας
9. Κεντρική φλάντζα τοποθέτησης
10. Χωρητική επίστρωση χαρτιού-αλουμινίου
11. Κατω τμήμα πορσελάνης
12. Λάδι

ABB Components		Ludvika, Sweden		
GOB 250		LF 123 013-K		
No. 257 007				
Ur/Uy	52/52 kV	Ir	800 A	50/60 Hz
LI / AC	250/120			kV
M	23 kg	L	240 mm	∠ 0-90°
C1	128 pF	Tan δ	0.33	%
C2	80 pF	Tan δ	0.45	%

- Σχήμα I.1-5: Πινακίδα μονωτήρα διέλευσης [33] στην οποία αναγράφονται τα εξής στοιχεία:
- Τύπος και αριθμός σειράς
 - Ονομαστική τάση και ρεύμα
 - Ονομαστική συχνότητα
 - Βάρος
 - Μήκος
 - Γωνία τοποθέτησης
 - Χωρητικότητες C_1 , C_2 και εφδ

Δοχείο διαστολής

Το δοχείο διαστολής είναι ένα δοχείο που τοποθετείται πάνω στον μετασχηματιστή και χρησιμοποιείται για την απόσβεση της διαστολής του λαδιού καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται. Το δοχείο διαστολής διαθέτει στο εσωτερικό του, διάφραγμα το οποίο αποτρέπει την άμεση επαφή αέρα και λαδιού. Έτσι, το μονωτικό λάδι διατηρείται καθαρό χωρίς τον κίνδυνο εισχώρησης υγρασίας και αέρα. Η απομάκρυνση της υγρασίας γίνεται μέσω του αφυγραντή ο οποίος επιτρέπει την «αναπνοή» του μετασχηματιστή, εμποδίζοντας την εισχώρηση υγρασίας από το εξωτερικό περιβάλλον. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η τυπική διάταξη του δοχείου διαστολής, καθώς και ο εξοπλισμός σύνδεσης με την κυρίως δεξαμενή του μετασχηματιστή.



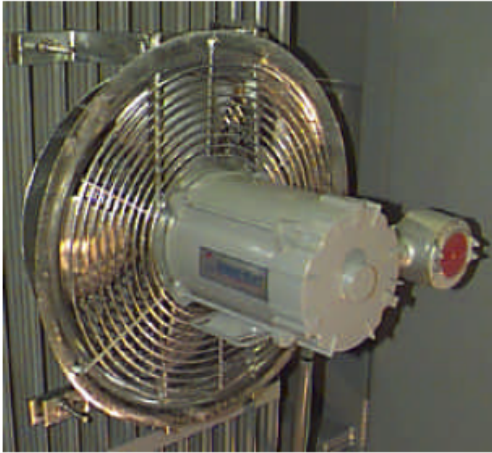
Σχήμα I.1-6: Δοχείο διαστολής λαδιού με εσωτερικό διάφραγμα (ή μπαλόνη), [11] σελ 26.

Παρατηρήσεις:

1. Στο εξής στην παρούσα εργασία, θα αναφέρεται ως δοχείο διαστολής και όχι δεξαμενή ώστε να μην παρερμηνεύεται με την κυρίως δεξαμενή του μετασχηματιστή. Αντίστοιχα η κυρίως δεξαμενή δεν θα αναφέρεται ως δοχείο.
2. Αντί του διαφράγματος μπορεί να χρησιμοποιείται εσωτερική ελαστική κύστη (μπαλόνη) με ακριβώς την ίδια αρχή λειτουργίας όπως αυτή που περιγράφηκε.

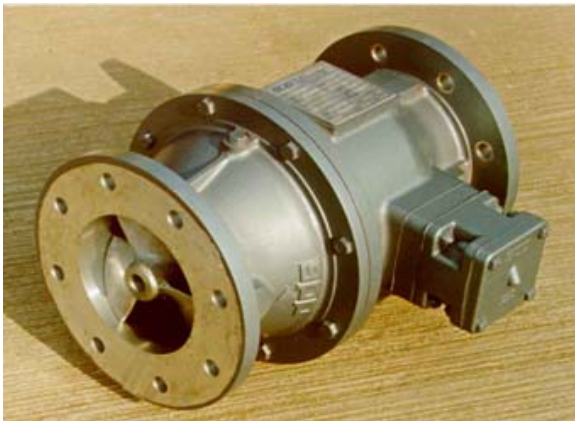
Αντλίες λαδιού και ανεμιστήρες

Οι μετασχηματιστές διαθέτουν ανεμιστήρες και εναλλάκτες για τη βελτίωση της ψύξης τους. Τα ψυγεία χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της αναπτυσσόμενης θερμότητας από το λάδι προς το εξωτερικό περιβάλλον. Οι ανεμιστήρες τοποθετούνται πάνω στα ψυγεία ώστε να αυξήσουν το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται. Η ενεργοποίηση των ανεμιστήρων μπορεί να γίνεται κατά στάδια, με ενεργοποίηση μίας ή δύο βαθμίδων ανάλογα με τις ανάγκες ψύξης. Οι ανεμιστήρες και τα ψυγεία είναι συνήθως αποσπώμενα, επιτρέποντας έτσι την ευκολότερη επισκευή τους.



Σχήμα I.1-7: Ανεμιστήρας προσαρτημένος σε ψυγείο, [34] σελ 8.

Οι αντλίες λαδιού χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εξαναγκασμένης ροής λαδιού από το εσωτερικό της δεξαμενής προς τα ψυγεία (ή τους εναλλάκτες). Ενεργοποιούνται από το θερμόμετρο τυλιγμάτων μέσω των κατάλληλων επαφών. Οι αντλίες εφοδιάζονται με ροόμετρο ώστε να ελέγχεται το ότι λειτουργούν καθώς και η φορά ροής του λαδιού. Η ορθή φορά περιστροφής της πτερωτής αναγράφεται με ένα βέλος πάνω στην αντλία.



Σχήμα I.1-8: Αντλία λαδιού. Διακρίνεται η πτερωτή, η πινακίδα και το ακροκιβώτιο, [36].

Οι μετασχηματιστές περιλαμβάνουν διάφορα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και την προστασία αυτών. Τα βασικά όργανα είναι:

Θερμόμετρο τυλιγμάτων

Το θερμόμετρο αυτό δίνει την θερμοκρασία στο θερμότερο σημείο των τυλιγμάτων. Αποτελείται από το ενδεικτικό και το στέλεχος. Το στέλεχος τοποθετείται σε μια στεγανή υποδοχή. Η υποδοχή θερμαίνεται από το λάδι του μετασχηματιστή που την περιβάλλει και από μια θερμαντική αντίσταση, η οποία τροφοδοτείται από ένα μετασχηματιστή έντασης που βρίσκεται στο εσωτερικό της δεξαμενής και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της μεταβολής της θερμοκρασίας θερμού σημείου. Ο συνδυασμός των δύο θερμοκρασιών (από λάδι και από αντίσταση) δίνεται στην ένδειξη του οργάνου. Ένας πρόσθετος δείκτης δίνει τη μέγιστη θερμοκρασία που έχει εμφανιστεί από την τελευταία φορά που έχει γίνει μηδενισμός από το χρήστη. Ο τελευταίος πραγματοποιείται χειροκίνητα από το κουμπί μηδενισμού. Τα θερμόμετρα τυλιγμάτων φέρουν βοηθητικές επαφές, οι οποίες χρησιμεύουν για την σήμανση κινδύνων και την ενεργοποίηση ανεμιστήρων



Σχήμα I.1-9: Θερμόμετρο τυλιγμάτων μετασχηματιστή. Διακρίνεται ο δείκτης μέγιστης μετρηθείσας θερμοκρασίας (κόκινος δείκτης) καθώς επίσης και το κουμπί μηδενισμού [37] σελ 8.

Θερμόμετρο λαδιού

Το θερμόμετρο λαδιού δίνει την θερμοκρασία του άνω στρώματος λαδιού σε κλίμακα βαθμών Κελσίου. Αποτελείται από το ενδεικτικό και το στέλεχος, το αισθητήριο βολβού, και τον διακόπτη. Το θερμοευαίσθητο στοιχείο (βολβός) τοποθετείται σε μια στεγανή υποδοχή έτσι ώστε το ενδεικτικό όργανο να μπορεί να αφαιρεθεί, χωρίς να μειώνεται η στάθμη του λαδιού. Ένας πρόσθετος δείκτης δίνει τη μέγιστη θερμοκρασία που έχει εμφανιστεί από την τελευταία φορά που έχει γίνει μηδενισμός από το χρήστη. Ο τελευταίος πραγματοποιείται χειροκίνητα από το κουμπί μηδενισμού. Το θερμόμετρο διαθέτει επαφές για την σήμανση χαμηλής θερμοκρασίας λαδιού ή και έλεγχο μίας ή περισσότερων βαθμίδων ανεμιστήρων.



Σχήμα I.1-10: Θερμόμετρο λαδιού, [34] σελ 7.

Ενδεικτικό στάθμης λαδιού

Το ενδεικτικό αυτό όργανο δείχνει την στάθμη του λαδιού ακόμα και όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί υπό φορτίο. Αποτελείται από έναν πλωτήρα που βρίσκεται στο εσωτερικό της δεξαμενής και είναι μαγνητικά συζευγμένος με το δείκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο εξωτερικό της δεξαμενής. Τα παραπάνω εξαρτήματα είναι πλήρως στεγανοποιημένα μεταξύ τους. Το όργανο διαθέτει επαφές για την σήμανση χαμηλής στάθμης λαδιού.



Σχήμα I.1-11: Οργανο ένδειξης στάθμης λαδιού, [34] σελ 7.

Ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων (Buchholz)

Ο ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων τοποθετείται σε μετασχηματιστές που διαθέτουν δοχείο διαστολής. Παρεμβάλεται ανάμεσα στη κυρίως δεξαμενή και το δοχείο διαστολής, και αποτελείται από το θάλαμο συσσώρευσης αερίων (άνω και κάτω), τους αντίστοιχους πλωτήρες και το κύκλωμα σημάτων και απενεργοποίησης του μετασχηματιστή. Υπό φυσιολογικές συνθήκες ο θάλαμος συσσώρευσης αερίων είναι γεμάτος με μονωτικό λάδι. Όταν συμβεί σφάλμα, παράγονται αέρια λόγω της χειροτέρευσης της μόνωσης ή της διάσπασης του λαδιού σε θερμά σημεία. Στην περίπτωση έκλυσης σημαντικής ποσότητας αερίων ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται και σημαίνεται συναγερμός.



Σχήμα I.1-12: Ηλεκτρονόμος Buchholz
[10] σχ. 3-16.

Συσκευή ανακούφισης πίεσης

Όλοι οι μετασχηματιστές είναι εφοδιασμένοι με την συσκευή ανακούφισης πίεσης ή ανακουφιστική βαλβίδα. Η συσκευή αυτή χρησιμεύει στην εκτόνωση των μεταβολών της πίεσης που οφείλονται σε εσωτερικά σφάλματα. Αποτελείται από ένα διάφραγμα που επανέρχεται στη θέση του μέσω ελατηρίων και μία μηχανικά κινούμενη ενδεικτική ράβδος. Όταν η πίεση ξεπερνά μια προκαθορισμένη τιμή, το διάφραγμα κινείται προς τα επάνω και επιτρέπει την εκτόνωση των αερίων. Όταν η πίεση επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα το διάφραγμα επιστρέφει στην αρχική του θέση, σφραγίζοντας το μετασχηματιστή. Κατά την ενεργοποίηση ανυψώνεται η ενδεικτική ράβδος στο πάνω τμήμα της συσκευής και επαναφέρεται στην αρχική θέση μόνο κατόπιν χειροκίνητης επέμβασης. Το όργανο μπορεί να διαθέτει επαφές για το άνοιγμα του διακόπτη του μετασχηματιστή.



Σχήμα I.1-13: Ανακουφιστική βαλβίδα
[35].

Ηλεκτρονόμος ξαφνικής εκτόνωσης

Ο ηλεκτρονόμος ξαφνικής εκτόνωσης ανιχνεύει τις τυχούσες ξαφνικές αιχμές στην πίεση, που παράγονται κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή. Αυτό πραγματοποιείται με την ανίχνευση του ρυθμού μεταβολής της πίεσης κατά τη διάρκεια εσωτερικών σφαλμάτων. Αν η

εσωτερική πίεση υπερβεί τα όρια ασφαλείας, ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιεί το κύκλωμα προστασίας του μετασχηματιστή ο οποίος τίθεται εκτός λειτουργίας.



Σχήμα I.1-14: Ηλεκτρονόμος
ξαφνικής εκτόνωσης,
[35].

Αφυγραντής

Οι αφυγραντές χρησιμοποιούνται για να εμποδίζουν την υγρασία του περιβάλλοντος να έρθει να σε επαφή με το λάδι του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, όταν το φορτίο και η θερμοκρασία μεταβάλλονται. Είναι δηλαδή απαραίτητοι για τη μείωση της υποβάθμισης του λαδιού και της διατήρησης της ακεραιότητας της μόνωσης. Οι αφυγραντές διατίθενται σε διαφορα μεγέθη ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις μπορούν συνδεθούν παράλληλα, αυξάνοντας το ποσοστό απορρόφησης υγρασίας. Περιέχουν υγροσκοπικούς κρυστάλλους που ονομάζονται silica gel, οι οποίοι μπορούν να απορροφήσουν υγρασία ίση έως το 20% του βάρους τους. Η συντήρησή τους περιγράφεται στο καφάλαιο της συντήρησης της παρούσης εργασίας, παράγραφος III.10.



Σχήμα I.1-15: Αφυγραντής σε ξηρή
κατάσταση (μπλε χρώμα),
[43] σχ.9.

1.2 Η πινακίδα

Η πινακίδα ενός μετασχηματιστή δίνει σημαντικές πληροφορίες για τη σωστή λειτουργία και συντήρησή του. Πρέπει να είναι ευδιάκριτη, ανθεκτική και να κατασκευάζεται από μη διαβρώσιμο υλικό. Ακριβείς προδιαγραφές δίνονται στο πρότυπο IEC 60076-1. Τα βασικά τεχνικά στοιχεία που αναγράφονται στην πινακίδα είναι:

- Ο σχετικός κανονισμός
- Όνομα κατασκευαστή
- Αριθμός σειράς
- Έτος κατασκευής
- Αριθμός φάσεων
- Ο τύπος του πυρήνα του μετασχηματιστή
- Ονομαστική ισχύς
- Ονομαστική συχνότητα
- Ονομαστικές τάσεις και εύρος λήψεων
- Ονομαστικά ρεύματα
- Κλάση ψύξεως
- Ανύψωση θερμοκρασίας άνω τμήματος λαδιού και περιβάλλοντος.
- Είδος μονωτικού λαδιού
- Συμβολισμός συνδεσμολογίας τυλιγμάτων
- Στάθμη μόνωσης
- Σύνθετη αντίσταση βραχυκύκλωσης
- Πολικότητα
- Βάρος (συνολικό, τυλιγμάτων και πυρήνα, δεξαμενής και συνδέσμων, λαδιού).
- Αντοχή δοχείου και δοχείου διατολής σε πίεση κενού

Πινακίδες με τεχνικά στοιχεία διαθέτει επίσης ο μεταγωγέας λήψεων υπό φορτίο, οι μονωτήρες διέλευσης, οι ανεμιστήρες και οι μετασχηματιστές εντάσεων.

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει μια τυπική πινακίδα. Προέρχεται από μετασχηματιστή ισχύος 25MVA της κατασκευάστριας εταιρίας ABB με τρία τυλίγματα (υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης). Σημειώνεται ότι οι μετασχηματιστές μεταφοράς έχουν διαφοροποιήσεις στα αναγραφόμενα στοιχεία, ωστόσο η βασική μορφή είναι αυτή που παρατίθεται.

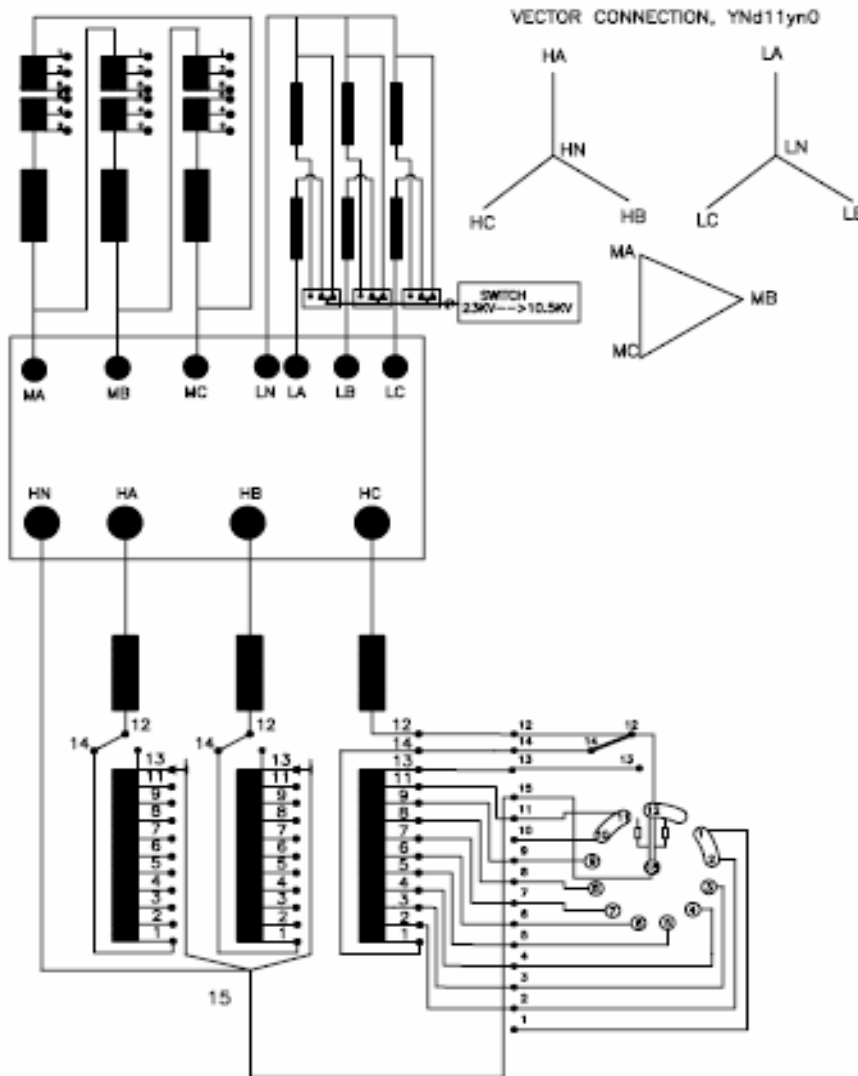


ABB Ltd.

OIL IMMERSED TRANSFORMER

TERMINALS	RATED VOLTAGE (KV)	ONAF RATING		ONAF RATING		INSULATION LEVELS
		MVA	AMPS	MVA	AMPS	
HA-HB-HC-HN	115±9x1.78%	25	126	20	100	U550 AC230/ U/A AC140
MA-MB-MC	38.5±3x2.5%	25	375	20	300	U170 AC70
LA-LB-LC-LN	23(10.5)	25(8.5)	826(467)	20(8.5)	802(374)	U125 AC50 (U75 AC85)

HIGH VOLTAGE					
	HA	HB	HC	HN	
POS.	VOLTS	AMPS	SELECTOR SWITCH	PLUS-ONAF SWITCH	
1	133420	106	2-15		12-13
2	131360	110	3-15		
3	129320	112	4-15		
4	127280	113	5-15		
5	125240	115	6-15		
6	123180	117	7-15		
7	121140	119	8-15		
8	119080	121	9-15		
9A	117050	123	10-15		
9	117050	123	11-15		
10	115000	126			12-14
10A	115000	126			
11	112950	128	1-15		
11A	112950	128	2-15		
12	110910	130	3-15		
13	108860	133	4-15		
14	106810	135	5-15		
15	104770	136	6-15		
16	102730	141	7-15		
17	100670	143	8-15		
18	98520	146	9-15		
19	95580	149	10-15		



MEDIUM VOLTAGE			
	MA	MB	MC
POS.	VOLTS	AMP	SELECTOR SWITCH
1	36520	394	1-2
2	37540	384	2-3
3	38500	375	3-4
4	39480	366	4-5
5	40430	357	5-6

LOW VOLTAGE			
LA	LB	LC	LN
VOLTS		AMP	
23000(10500)		826(467)	

IMPEDANCES AT 25 MVA BASE (%)	
115.0/ 38.5 KV	9.84
66.60/ 38.5 KV	10.10
133.4/ 38.5 KV	10.11
115.0/ 23(10.5) KV	17.3/31
38.50/ 23(10.5) KV	6.36/9.73

Rated frequency (Hz)	50	Number of phases	3	Core and coils weight (kg)	30000
Sound level (dBA) ONAN/ONAF	66/70	Type of cooling	ONAN/ONAF	Oil weight (kg)	20000
Standard	IEC 60076	Temp. rise wdg/top oil (°C)	60/35	Total weight (kg)	71000
Year of manufacture	2005	Type of oil (Inhibited)	Mynas 10 GDEP	Transport weight with oil (kg)	61000
Serial number	VNGC200	Tank pressure/vacuum withstand	70 MPa/Full	Transport weight without oil (kg)	47000

1.3 Κλάσεις ψύξεως

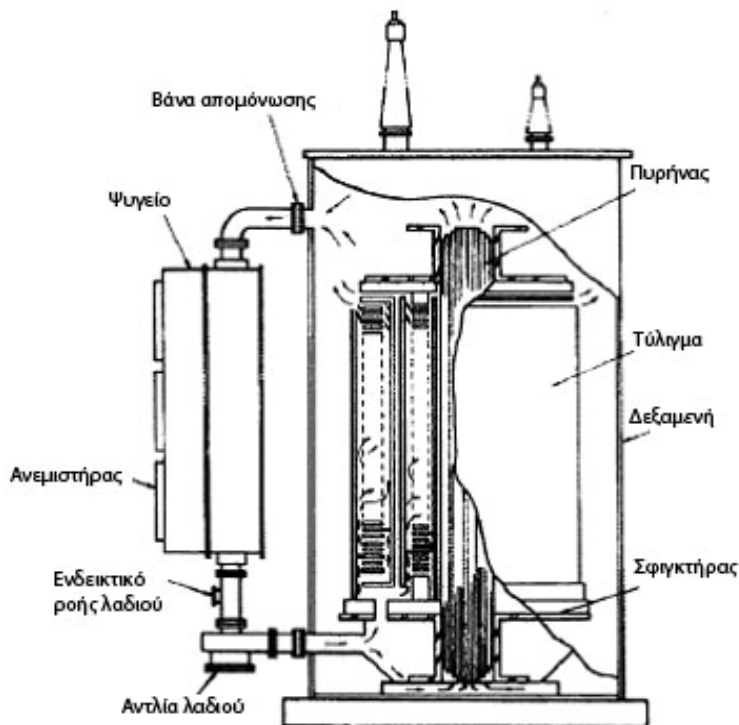
Η θερμοκρασία αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που καθορίζουν τη διάρκεια ζωή ενός μετασχηματιστή. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της διάρκειας ζωής της μόνωσης. Είναι προφανές πως η θερμότητα πρέπει να απομακρύνεται από τα τυλίγματα και τον πυρήνα, πράγμα που γίνεται μέσω της κυκλοφορίας του λαδιού.

Η φυσική ροή πραγματοποιείται όταν η στάθμη του λαδιού στον εξοπλισμό ψύξης είναι υψηλότερη από την στάθμη του λαδιού στα τυλιγμάτα και τον πυρήνα. Το λάδι κινείται από το κάτω τμήμα του μετασχηματιστή προς τα πάνω μέσω ειδικών διαύλων, αποβάλλοντας τελικά την θερμότητα στις εξωτερικές γρίλλες στην επιφάνεια της δεξαμενής (ψύκτρες). Η αύξηση της δυναμικότητας ενός μετασχηματιστή υλοποιείται με την προσθήκη αντλιών λαδιού και εξωτερικών ανεμιστήρων. Οι αντλίες αυξάνουν τη ροή του λαδιού, ενώ οι ανεμιστήρες αυξάνουν τη ροή αέρα στον εξωτερικό εξοπλισμό ψύξης χωρίς να επηρεάζουν την εσωτερική ροή λαδιού. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να ενεργοποιούνται κλιμακωτά για αυτό χωρίζονται σε βαθμίδες. Κάθε βαθμίδα μπορεί να αύξησει μέχρι και 33% την ονομαστική ικανότητα φόρτισης ενός μετασχηματιστή [10, 98 παρ.16 «εξαναγκασμένη ψύξη αέρα-εξαναγκασμένη ψύξη λαδιού»].

Παράδειγμα αύξησης της δυνατότητας φόρτισης με προσθήκη ανεμιστήρων [10], σελ. 4-4

Ας θεωρήσουμε έναν μετασχηματιστή ισχύος 100MVA που λειτουργεί υπό πλήρες φορτίο.

- Με φυσική ροή αέρα-λαδιού στους 55°C έχουμε αύξηση δυνατότητας φόρτισης 33MVA
- Με μία βαθμίδα ανεμιστήρων στους 55°C έχουμε αύξηση δυνατότητας φόρτισης 44MVA
- Με δύο βαθμίδες ανεμιστήρων στους 55°C έχουμε αύξηση δυνατότητας φόρτισης 55MVA
- Με δύο βαθμίδες ανεμιστήρων στους 65°C έχουμε αύξηση δυνατότητας φόρτισης 61,6MVA



Σχήμα I.1-16:

Μετασχηματιστής με εξαναγκασμένη ψύξη λαδιού-αέρα. Τα βέλη δείχνουν τη ροή του λαδιού από κάτω προς τα πάνω, [44] σχ.25.

Οι μετασχηματιστές ελαίου κατατάσσονται σε κλάσεις, ανάλογα με τη μέθοδο ψύξεώς τους. Η κάθε κλάση χαρακτηρίζεται από τέσσερα γράμματα, και περιγράφεται στα πρότυπα IEC 60076-2 (1993) και ANSI/IEEE C57.12.00.

Πρώτο γράμμα: είδος εσωτερικού ψυκτικού μέσου το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τα τυλίγματα

O : ορυκτέλαιο ή συνθετικό μονωτικό υγρό με σημείο ανάφλεξης $\leq 300^{\circ}\text{C}$

K : μονωτικό υγρό με σημείο ανάφλεξης $\geq 300^{\circ}\text{C}$

L : μονωτικό υγρό με μη μετρήσιμο σημείο ανάφλεξης

Δεύτερο γράμμα: Μηχανισμός κυκλοφορίας του εσωτερικού ψυκτικού μέσου

N : φυσική ροή μετάδοσης θερμότητας διαμέσω των τυλιγμάτων και του ψυκτικού εξοπλισμού, χωρίς τη χρήση αντλιών λαδιού (ροή θερμοσίφωνα)

F : εξαναγκασμένη κυκλοφορία διαμέσω του ψυκτικού εξοπλισμού (αντλίες λαδιού), με φυσική ροή στα τυλίγματα (όχι κατευθυνόμενη)

D : εξαναγκασμένη κυκλοφορία διαμέσω του ψυκτικού εξοπλισμού (αντλίες λαδιού), με κατευθυνόμενη ροή (τουλάχιστον στα κυρίως τυλίγματα)

Τρίτο γράμμα: είδος εξωτερικού ψυκτικού μέσου

A : αέρας

W : νερό

Τέταρτο γράμμα: Μηχανισμός κυκλοφορίας του εξωτερικού ψυκτικού μέσου

N : φυσική ροή μετάδοσης θερμότητας

F : εξαναγκασμένη κυκλοφορία διαμέσω του ψυκτικού εξοπλισμού (αντλίες λαδιού, ανεμιστήρες)

Πολλοί από τους μετασχηματιστές ισχύος διαθέτουν μία βαθμίδα ψύξης με φυσική ροή λαδιού-αέρα και μία ή δύο επιπρόσθετες βαθμίδες εξαναγκασμένης ψύξης. Κάθε μία από τις πρόσθετες βαθμίδες μπορεί να περιλαμβάνει αντλίες λαδιού ή ανεμιστήρες ή και τα δύο ταυτόχρονα.

Οι χαρακτηρισμοί που έχουν οριστεί από το ANSI/IEEE έχουν σταδιακά εξελιχθεί ώστε να είναι συμβατοί με αυτούς από το IEC. Η πλειοψηφία από τους εγκατεστημένους μετασχηματιστές αναγράφουν την αρχική ονοματολογία στην πινακίδα τους, οπότε για λόγους πληρότητας οι χαρακτηριστικοί από το ANSI/IEEE παρατίθενται στον συγκριτικό πίνακα που ακολουθεί.

Τρέχουσα Ονοματολογία (IEC 60076-2)	Παλαιότερη Ονοματολογία (ANSI/IEEE C57.12.00)
ONAN/ONAF/ONAF	OA/FA/FA
ONAN/ONAF/OFAF	OA/FA/FOA
ONAN/ODAF/ODAF	OA/FOA*/FOA*
OFAF	FOA
ODAF	FOA*

Σημείωση: ο αστερίσκος (*) υποδηλώνει κατευθυνόμενη ροή

Πίνακας I.1-1: Παραδείγματα αντιστοιχίας παλαιών-νεότερων χαρακτηρισμών κλάσεων ψύξεως, [10] πιν.4-1.

2. Το σύστημα μόνωσης

2.1 Υλικά κυτταρίνης [3]

Τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την μόνωση των αγωγών των τυλιγμάτων είναι πολυάριθμα, το επικρατέστερο όμως είναι το χαρτί. Το ηλεκτρομονωτικό χαρτί κατασκευάζεται από υψηλής ποιότητας πολτό κατάλληλα επεξεργασμένο ώστε να μην έχει χημικά κατάλοιπα. Παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η παραγωγή του είναι απλή
- Έχει σχετικά χαμηλό κόστος
- Παίρνει όποια μορφή απαιτεί η χρήση του
- Είναι ευρύτατα διαθέσιμο

Όταν το χαρτί ξηραίνεται και εμποτίζεται στο μονωτικό λάδι, το σύστημα χαρτί-λάδι όπως ονομάζεται, αποκτά υψηλή διηλεκτρική αντοχή. Πιο συγκεκριμένα ενώ το χαρτί και το λάδι έχουν διηλεκτρική αντοχή 40 kV/mm και 12kV/mm αντίστοιχα, όταν συνδυάζονται η αντοχή αυξάνεται στα 64kV/mm.

Ο Γερμανός Karl F.Dahl το 1884, κατασκεύασε χαρτί χρησιμοποιώντας θείο αντί σόδας. Επειδή το παραγόμενο χαρτί ήταν σκληρό δόθηκε η ονομασία kraft (στην γερμανική γλώσσα «σκληρός»). Για την παραγωγή χρησιμοποιείται το ξύλο πεύκου, είναι όμως δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και πιο σκληρό ξύλο. Το ξύλο περιέχει κυρίως κυτταρίνη (υδρογονάνθρακες με βαθμό πολυμερισμού περίπου 2000), ημι-κυτταρίνη (υδρογονάνθρακες με βαθμό πολυμερισμού μικρότερο από 200), λιγνίνη και άλλα στοιχεία. Η συμπεριφορά του χαρτιού εξαρτάται από τις δυνάμεις δεσμού μεταξύ των ινών. Οι δυνάμεις δεσμού επηρεάζονται κυρίως από τον τρόπο και τον βαθμό επεξεργασίας. Οι προδιαγραφές και οι έλεγχοι των υλικών κυτταρίνης περιγράφονται στο πρότυπο IEC 60554-3.

Θερμικώς αναβαθμισμένο χαρτί

Τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει καθιερωθεί η χρήση του θερμικώς αναβαθμισμένου χαρτιού, γνωστό με την εμπορική ονομασία Insuldur. Αυτό είναι ουσιαστικά χαρτί kraft, το οποίο έχει βελτιωθεί με τη προσθήκη σταθεροποιητών (δικυαδιαμίδη, ουρία, πολυακρυμίδη). Το αποτέλεσμα αυτής της προσθήκης είναι η παρεμπόδιση της αντίδρασης με τα προϊόντα γήρανσης και το περιεχόμενο νερό στο λάδι. Η χρήση του αναβαθμισμένου χαρτιού επιτρέπει την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας λειτουργίας των τυλιγμάτων από 55°C σε 65°C. Συνεπώς επιτυγχάνεται αύξηση της ικανότητας φόρτισης του μετασχηματιστή. Μια προσέγγιση της παλαιότητας ενός μετασχηματιστή, γίνεται με βάση την θερμοκρασία τυλιγμάτων που αναγράφεται στην πινακίδα του. Οι παλαιότεροι μετασχηματιστές (άνω των 30 ετών) που συμπεριλαμβάνουν και τα δύο είδη χαρτιού παρουσιάζουν την εξής κατανομή: τα τυλίγματα είναι μονωμένα με θερμικώς αναβαθμισμένο χαρτί ενώ οι αγωγοί από τα τυλίγματα προς τους μονωτήρες διέλευσης καθώς και άλλες συνδέσεις είναι μονωμένοι με χαρτί kraft.

Σε έναν τέτοιο μετασχηματιστή μπορεί να διαπιστωθεί ο ρυθμός γήρανσης των δύο ειδών χαρτιού υπό ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων έδειξαν ότι ο ρυθμός γήρανσης του αναβαθμισμένου χαρτιού είναι κατά 2,5 περίπου φορές μικρότερος από τον αντίστοιχο του χαρτιού kraft.

Pressboard

Το pressboard παράγεται από ανακυκλωμένο βαμβάκι (50%) και πολτό χαρτιού kraft (50%) όταν προορίζεται για εμπορική χρήση ή 100% βαμβάκι, μεταχειρισμένο ή παρθένο.

Η συμπεριφορά του είναι όμοια με τη συμπεριφορά του απλού χαρτιού, αν και η πυκνότητα του είναι υψηλότερη. Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες είναι κατώτερες από τις αντίστοιχες του χαρτιού kraft για το ίδιο πάχος. Το pressboard τοποθετείται μεταξύ των τυλιγμάτων των τυλιγμάτων και αποτελεί μαζί με το λάδι, το κύριο μονωτικό υλικό των μετασχηματιστών. Έχει υψηλή μηχανική αντοχή, χαμηλή συρρίκνωση και ικανοποιητική αντοχή σε έρπουσες εκφορτίσεις. Η διηλεκτρική του αντοχή διαμορφώνεται ως εξής:

- Στον αέρα, 7-10kV/mm

- Εμποτισμένο με λάδι, 30-55kV/mm

Η ηλεκτρική σταθερά του είναι 4,3-4.5 και η πυκνότητα $1\text{gr}/\text{cm}^3$. Το πάχος είναι τουλάχιστον 0.76 mm. Ανάλογα με την τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος το pressboard κατατάσσεται σε τέσσερις κατηγορίες:

Κατηγορία pressboard	Προοριζόμενη χρήση
I	M/σ με τάση πρωτεύοντος $\leq 750\text{kV}$
II	M/σ με τάση πρωτεύοντος $\leq 220\text{kV}$
III	Επιμήκη μονωτικά εξαρτήματα
IV	Εξαρτήματα τα οποία συγκολλούνται

Πίνακας I.1-2: Κατηγορίες pressboard (ο πίνακας προκύπτει από την παράγραφο, [3] σελ.55).

Transformerboard

Είναι ένας νέος τύπος pressboard, το οποίο αποτελείται από υψηλής ποιότητας θεϊκωμένη κυτταρίνη. Οι τύποι που διατίθενται στην αγορά είναι:

α) TB T IV. Αποτελείται από pressboard το οποίο συμπιέζεται εν θερμώ. Η πρώτη ύλη είναι πολτός χαρτιού kraft.

β) TB T III. Αποτελείται από pressboard το οποίο συμπιέζεται ελαφρά. Η πρώτη ύλη είναι πολτός χαρτιού kraft.

Σχετική προδιαγραφή: IEC 60641-1

Cottonboard

Είναι pressboard συμπίεσης εν θερμώ, αποτελούμενο από 100% βαμβάκι.

Σχετική προδιαγραφή: IEC 60641-1

Nomex

Ενα ακόμη υλικό είναι το Nomex, με σύνθεση από ίνες αρωματικής πολυαμίδης. Το υλικό αναπτύχθηκε από την εταιρία DuPont στις αρχές της δεκαετίας του 1960, και χρησιμοποιήθηκε σαν άκαυστο και θερμομονωτικό υλικό. Το Nomex Type 410 είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στη θερμότητα, υψηλή μηχανική αντοχή, ευκαμψία, προσαρμοστικότητα και πολύ υψηλή αντοχή σε εφαρμοζόμενη ακτινοβολία. Ωστόσο, το κόστος του είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό του χαρτιού kraft. Το πάχος κυμαίνεται από 0,05-0,76mm και η πυκνότητα $1,1\text{gr}/\text{cm}^3$.

2.2 Μονωτικά λάδια

Ο ρόλος του μονωτικού λαδιού σε οποιοδήποτε μετασχηματιστή είναι η ηλεκτρική μόνωση μεταξύ των τυλιγμάτων και τυλιγμάτων-γης και η μεταφορά της θερμότητας από τον πυρήνα και τα τυλίγματα προς το εξωτερικό σύστημα ψύξης. Ο πυρήνας, τα τυλίγματα και τα στηρίγματα που συνιστούν τη στερεά μόνωση εμποτίζονται στο λάδι, το οποίο διεισδύει και γεμίζει τα μικρά διάκενα αέρα. Έτσι, εμποδίζει την εισχώρηση υγρασίας, διατηρώντας την ποιότητα του χαρτιού και των υλικών κυτταρίνης. Όταν το χαρτί του μετασχηματιστή εμποτίζεται στο λάδι αποκτά και αυτό καλύτερες μονωτικές ιδιότητες. Επίσης, άλλη μία χρησιμότητα είναι ότι το λάδι απομακρύνει τα ξένα σωματίδια που υπάρχουν στους καινούργιους μετασχηματιστές, τα οποία κατακρατώνται από τη διάταξη διηθήσεως (φίλτρο) [53].

Οι βασικές ιδιότητες που πρέπει να έχει το μονωτικό λάδι είναι:

- υψηλή διηλεκτρική αντοχή, ώστε να υπάρχει αντίσταση στην διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος
- μικρό ιξώδες, ώστε να ρέει ευκολότερα ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες
- καθαρότητα, ώστε να μην περιέχονται σωματίδια που θα μπορούσαν να καταστρέψουν το σύστημα μόνωσης

Το επικρατέστερο μονωτικό λάδι είναι το ορυκτέλαιο. Το ορυκτέλαιο είναι συνήθως το μονωτικό υγρό αναφοράς με το οποίο συγκρίνονται τα υπόλοιπα μονωτικά λάδια αφού έχει μεγάλη διαθεσιμότητα και τον καλύτερο συνδυασμό τεχνικών χαρακτηριστικών-κόστους. Οι ιδιότητές του δίνονται στο πρότυπο IEC 60296. Οι δοκιμές ποιοτικού ελέγχου περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο III.1 της παρούσης εργασίας. Οι περισσότεροι μετασχηματιστές είναι κατασκευασμένοι να λειτουργούν με ορυκτέλαια. Οι ηλεκτρικές και διηλεκτρικές ιδιότητες του λαδιού εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την περιεχόμενη υγρασία και την θερμοκρασία. Ωστόσο, η χρήση πρόσθετων αντιοξειδωτικών (φαινόλη, αμίνη) [91, παρ.2.3] μπορεί να καθυστερήσει την γήρανση του λαδιού διατηρώντας κατά το δυνατόν σταθερά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Στο παρελθόν ένα μεγάλο ποσοστό μετασχηματιστών χρησιμοποιούσαν χλωριωμένα συνθετικά υγρά αντί για ορυκτέλαιο για λόγους περιορισμού των αναφλέξεων και των εκκρήξεων. Αυτά τα υγρά τα οποία είχαν ως βάση το πολυχλωριωμένο διφαινύλιο ($C_{12}H_5Cl_5$) γνωστό ως PCB, κυκλοφόρησαν στην αγορά με διάφορες εμπορικές ονομασίες. Η πιο διαδεδομένη είναι το Askarel, αλλά υπάρχουν και άλλες όπως Aroclor, Inerteen, Clophen, Pyranol, Nopolin κλπ. Αργότερα, η χρήση των PCBs απαγορεύτηκε επειδή αποδείχθηκαν επιβλαβή για το περιβάλλον και τον άνθρωπο (καρκινογόνα). Έτσι αναπτύχθηκαν άλλα-μη τοξικά-μονωτικά λάδια όπως οι συνθετικοί εστέρες, σύνθετοι υδρογονάνθρακες, οι σιλικονούχοι υδρογονάνθρακες, τα λάδια συνθετικών υδρογονανθράκων και προσφάτως οι φυσικοί εστέρες (λάδια φυτικής προέλευσης). Όλα τα παραπάνω χρησιμοποιούνται συνήθως σε ειδικές περιπτώσεις και είναι 5-6 φορές ακριβότερα από τα κοινά ορυκτέλαια. Η ανάπτυξή τους σχετίζεται με την ανάγκη για ασφάλεια από φωτιά σε περίπτωση ανάφλεξης, καθώς επίσης και περιβαλλοντικούς λόγους. Ωστόσο αν και η συμπεριφορά τους είναι καταλληλότερη για υψηλές θερμοκρασίες, η απόδοσή τους είναι περιορισμένη σε ιδιαίτερα ψυχρά κλίματα.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κυριότερες ιδιότητες αυτών και το αντίστοιχο πρότυπο περιγραφής.

Μονωτικά λάδια	Σημείο ανάφλεξης (°C)	Πυκνότητα (kg/dm ³)	Σχετική διαπερατότητα	Σχετικό Πρότυπο
Ορυκτέλαια	145	0,88	2,2	IEC 60296
Σιλικονούχοι υδρογονάνθρακες	310	0,96	2,7	IEC 60836
Συνθετικοί εστέρες	275	0.97	3,2	IEC 61099
Συνθετικοί υδρογονάνθρακες	230	0,83	2,1	IEC 60867
Φυσικοί εστέρες	330	0,91	3,2	-

Πίνακας Ι.2-3: Ιδιότητες κυριότερων κατηγοριών μονωτικών λαδιών, [19] παρ13.3.2 και 13.3.3.

Σημείωση:

1. Οι αμερικάνικες προδιαγραφές για τα μονωτικά ορυκτά έλαια που χρησιμοποιούνται στον ηλεκτρικό εξοπλισμό και μηχανήματα, περιγράφονται στον κανονισμό ASTM D3487.
2. Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την συντήρηση των ορυκτέλαιων και των Askarel δίνονται στην οδηγία FIST 3-5 [92].

3. Είδη καταπονήσεων και εμφάνιση βλαβών

Τα κυριότερα είδη καταπονήσεων που υφίσταται ένας μετασηματιστής κατατάσσονται σε μία ή και περισσότερες από τις επόμενες τρεις κατηγορίες:

- Μηχανικές: Περιλαμβάνουν καταπονήσεις μεταξύ των αγωγών, ακροδεκτών και τυλιγμάτων εξαιτίας υπερεντάσεων βραχείας διάρκειας και ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Τα τελευταία οφείλονται σε βραχυκυκλώματα και ρεύματα εισροής υπό συνθήκες ηλεκτρισής.
- Θερμικές: Περιλαμβάνουν καταπονήσεις που οφείλονται στη θερμότητα ή σε τοπικές υπερθερμάνσεις που έχουν σχέση με τις υπερεντάσεις και τη ροή σκέδασης κατά τη φόρτιση πέραν της ονομαστικής τιμής ή λόγω δυσλειτουργίας του συστήματος ψύξης.
- Διηλεκτρικές: Περιλαμβάνουν καταπονήσεις που οφείλονται σε υπερτάσεις του συστήματος, παροδικές κρουστικές τάσεις ή εσωτερική αντήχηση στα τυλίγματα.

Το ποσοστό των μετασηματιστών που παθαίνουν βλάβη λόγω φυσικής γήρανσης είναι αρκετά μικρό. Οι βλάβες είναι συνήθως αποτέλεσμα :

- βραχυκυκλώματων
- τοπικών υπερθερμάνσεων
- σφαλμάτων του συστήματος μόνωσης (σφάλματα διηλεκτρικού)
- βλαβών στον εξοπλισμό (μονωτήρες διέλευσης, μεταγωγείς λήψεων, σύστημα ψύξεως, αλεξικέραυνα, κλπ)

Η χρονική διάρκεια εξέλιξης της βλάβης εξαρτάται από το αίτιο που την προκάλεσε. Μια βλάβη μπορεί να δημιουργηθεί σε δευτερόλεπτα ή και να αναπτύσσεται σταδιακά σε χρονικό διάστημα

που μπορεί να φτάνει και χρόνια. Έτσι, στην περίπτωση βραχυκυκλώματος, υπέρτασης ή κεραυνικού πλήγματος οι βλάβες εμφανίζονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα της τάξης των μερικών δευτερολέπτων. Τα τοπικά σφάλματα αναπτύσσονται σε βδομάδες ή και μήνες. Η υποβάθμιση της μόνωσης των τυλιγμάτων υψηλής τάσης πραγματοποιείται σε διάστημα μηνών ή και ετών.

Συντελεστές γήρανσης του συστήματος μόνωσης [3]

Η μακροχρόνια μελέτη των μετασχηματιστών και οι δοκιμές ελέγχου έχουν αναδείξει τους εξής τρεις βασικούς παράγοντες που οδηγούν στην υποβάθμιση της μόνωσης και γενικότερα των υλικών. Είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και το οξυγόνο. Η επίδραση τους στη λειτουργία του μετασχηματιστή είναι σημαντική, για αυτό και συχνά οι επιτρεπόμενες τιμές τους καθορίζονται με ακρίβεια για την εκτέλεση δοκιμών. Οι συνέπειες των τριών παραμέτρων είναι διαφορετικές για τα επιμέρους τμήματα του συστήματος μόνωσης (χαρτί και μονωτικό λάδι), για αυτό το λόγο και εξετάζονται χωριστά.

Θερμοκρασία:

α) Επίδραση στο χαρτί

Το χαρτί παρουσιάζει αστάθεια στη θερμοκρασία. Το θερμικώς αναβαθμισμένο χαρτί επηρεάζεται λιγότερο από τη θερμοκρασία σε σχέση με το χαρτί kraft αλλά και αυτό όταν εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες υποβαθμίζεται. Ισχύει ο νόμος μείωσης της ζωής του στο 50%, όταν η θερμοκρασία λειτουργίας αυξηθεί κατά 6-8°C.

β) Επίδραση στο λάδι

Ενώ το χαρτί παρουσιάζει αστάθεια στη θερμοκρασία, το λάδι παρουσιάζει αστάθεια στην οξειδωση. Το λάδι συμπεριφέρεται ως σταθερό υλικό σε σχέση με τη θερμοκρασία, μόνο αν το περιεχόμενο οξυγόνο έχει μηδενική ή πολύ μικρή παρουσία. Αν η παρουσία του οξυγόνου αυξηθεί, το λάδι επηρεάζεται πολύ από την θερμοκρασία.

Υγρασία:

α) Επίδραση στο χαρτί

Το θερμικώς αναβαθμισμένο χαρτί επηρεάζεται λιγότερο από την υγρασία σε σχέση με το χαρτί kraft. Σε κάθε περίπτωση η επίδραση του νερού στο χαρτί είναι σημαντική και ανάλογη με την περιεχόμενη ποσότητα. Με μείωση στο 50% της περιεχόμενης υγρασίας διπλασιάζεται η διάρκεια ζωής του χαρτιού.

β) Επίδραση στο λάδι

Το λάδι επηρεάζεται λίγο από την περιεχόμενη υγρασία. Το μόριο του νερού περιέχει οξυγόνο που επιταχύνει τη γήρανση του λαδιού. Ωστόσο, η ποσότητα του οξυγόνου δεν είναι σημαντική συγκριτικά με άλλες πηγές οξυγόνου.

Οξυγόνο:

α) Επίδραση στο χαρτί

Το χαρτί επηρεάζεται από τη παρουσία του οξυγόνου. Το αναβαθμισμένο χαρτί επηρεάζεται λιγότερο από το χαρτί kraft. Η επίδραση του οξυγόνου καθορίζεται από την ποσότητά του.

β) Επίδραση στο λάδι

Το λάδι επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία οξυγόνου, ειδικά όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή. Ο ρυθμός παραγωγής προϊόντων οξείδωσης είναι ανάλογος προς το περιεχόμενο οξυγόνο. Το λάδι του μετασχηματιστή μπορεί να παραμείνει σταθερό επί χρόνια με θερμοκρασία λειτουργίας της τάξης των 120°C, εφόσον δεν υπάρχει οξυγόνο. Με τη διείσδυση οξυγόνου, το λάδι γηράσκει γρήγορα και είναι δυνατόν να υποβαθμιστεί σε ώρες ή και ημέρες.

4. Οι δοκιμές ποιοτικών ελέγχων

4.1 Δοκιμές σειράς

4.1.1 Μέτρηση της αντίστασης των τυλιγμάτων

Είναι η μέτρηση της ωμικής αντίστασης του τυλίγματος, για όλα τα τυλίγματα και για τις τρεις φάσεις. Για τη μέτρηση χρησιμοποιείται τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος. Πραγματοποιείται με τους εξής τρόπους:

α) με τη χρήση βολτόμετρου-αμπερόμετρου

β) με τη χρήση γέφυρας Thomson ή Wheatstone

Ο μετασχηματιστής πρέπει να παραμείνει τουλάχιστον τρεις ώρες εκτός λειτουργίας ώστε να υπάρχει εξίσωση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας λαδιού και της θερμοκρασίας τυλιγμάτων. Ως μέση τιμή της θερμοκρασίας του λαδιού θεωρείται η μέση τιμή των θερμοκρασιών στο άνω και κάτω τμήμα του. Επειδή η αντίσταση του χαλκού μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, πρέπει να συνυπολογίζεται η ανύψωση της τελευταίας. Έτσι, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C:

- Για ανύψωση 55°C η αντίσταση διορθώνεται στους 20+55=75°C

- Για ανύψωση 65°C η αντίσταση διορθώνεται στους 20+65=85°C

Για τον υπολογισμό της αντίστασης εφαρμόζεται η σχέση:

$$R_{CT} = R_{\text{μετρησης}} * \frac{CF + CT}{CF + \theta_{\text{τυλιγμ.μετρ},^{\circ}\text{C}}}$$

όπου R_{CT} : η ανηγμένη τιμή αντίστασης σε Ω

$R_{\text{μετρησης}}$: η μετρούμενη αντίσταση σε Ω

CF : Συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας βάσει του υλικού.

Κατά IEC: 235 για χαλκό, 235 για αλουμίνιο

Κατά IEEE: 234,5 για χαλκό, 235 για αλουμίνιο

CT : διορθωμένη θερμοκρασία :

75°C για ανύψωση τάσης 55°C

85°C για ανύψωση τάσης 65°C

$\theta_{\text{τυλιγμ.μετρ},^{\circ}\text{C}}$: η θερμοκρασία του τυλίγματος κατά τη μέτρηση σε 0°C

Η αρχική μέτρηση εκτελείται στο εργοστάσιο κατασκευής. Οι επόμενες επιτόπου μετρήσεις μπορεί να αποκλίνουν το πολύ μέχρι 2% επί των αρχικών. Αν υπάρχουν αποκλίσεις πιθανόν να

οφείλονται σε βραχυκλωμένες σπείρες ή σε ελαττωματικές συνδέσεις, σε διακοπή παράλληλων αγωγών των τυλιγμάτων, σε επαφές αγωγών με τον μεταγωγέα ή σε συνδυασμό των παραπάνω. Παρατήρηση: Για την αποφυγή υπερβολικής ανύψωσης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της δοκιμής, συστήνεται το ρεύμα της μέτρησης να μην υπερβαίνει το 10% του ονομαστικού ρεύματος κάθε τυλίγματος.

4.1.2 Μέτρηση σχέσης μετασχηματισμού και ομάδας ζεύξης

Είναι η μέτρηση του λόγου των τάσεων κενής λειτουργίας των τυλιγμάτων, ο οποίος ταυτίζεται με τον λόγο των σπειρών. Η μέτρηση εκτελείται για κάθε λήψη του μεταγωγέα και για όλες τις φάσεις. Το όργανο που χρησιμοποιείται είναι το σχεσιόμετρο του οποίου η ακρίβεια είναι $\pm 0,1\%$. Η τάση τροφοδότησης εφαρμόζεται στο τύλιγμα υψηλής τάσης για να μην υπάρχει το ενδεχόμενο ανυψώσεων τάσης στην πλευρά του δευτερεύοντος. Η μέτρηση γίνεται στο δευτερεύον και έπειτα, υπολογίζεται ο λόγος. Ο επόμενος πίνακας δίνει τους ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη συνδεσμολογία του μετασχηματιστή.

Συνδεσμολογία	Εφαρμογή τάσης στους ακροδέκτες	Μέτρηση τάσης στους ακροδέκτες	Υπολογισμός λόγου
Τρίγωνο-τρίγωνο	H1-H2	X1-X2	V_{H1-H2}/V_{X1-X2}
	H1-H3	X1-X3	V_{H1-H3}/V_{X1-X3}
	H2-H3	X2-X3	V_{H2-H3}/V_{X2-X3}
Τρίγωνο-αστέρας	H1-H2	X0-X3	V_{H1-H2}/V_{X0-X3}
	H1-H3	X0-X2	V_{H1-H3}/V_{X0-X2}
	H2-H3	X0-X1	V_{H2-H3}/V_{X0-X1}
Αστέρας-αστέρας	H0-H1	X0-X1	V_{H0-H1}/V_{X0-X1}
	H0-H2	X0-X2	V_{H0-H2}/V_{X0-X2}
	H0-H3	X0-X3	V_{H0-H3}/V_{X0-X3}
Αστέρας-τρίγωνο	H0-H1	X1-X2	V_{H0-H1}/V_{X1-X2}
	H0-H2	X1-X3	V_{H0-H2}/V_{X1-X3}
	H0-H3	X2-X3	V_{H0-H3}/V_{X2-X3}

Πίνακας I.4-4: Συνδεσμολογίες μετρήσεων, [20] πιν.3-24.

Σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 60076-1, η μετρούμενη σχέση μετασχηματισμού έχει μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση $\pm 0,5\%$ της ονομαστικής τιμής.

Λόγος τάσεων πρωτεύοντος-δευτερεύοντος	Συνδεσμολογία	Σχέση
20/0,4	Τρίγωνο-αστέρας	86,6
20/0,4	Αστέρας-αστέρας	50,0
20/0,4	Αστέρας-τεθλασμενος αστέρας	43,30
150/20	Τρίγωνο-αστέρας	12,99
150/20	Αστέρας-αστέρας	7,50
400/20	Αστέρας-αστέρας	20,00

Πίνακας I.4-5: Ονομαστικές σχέσεις μετασχηματισμού, [5] πιν.2.

Παρατήρηση: Τα σύγχρονα σχεσιόμετρα έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων, και κατάλληλες θύρες για επικοινωνία με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

4.1.3 Μέτρηση πολικότητας

Η μέτρηση της πολικότητας πραγματοποιείται από το εργοστάσιο παραγωγής και αναγράφεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή. Η γνώση της πολικότητας, της φοράς δηλαδή των ρευμάτων στους ακροδέκτες των μονωτήρων διέλευσης για το πρωτεύον και το δευτερεύον, είναι απαραίτητη για την περίπτωση που απαιτείται παραλληλισμός μετασχηματιστών. Η διαδικασία της μέτρησης είναι η εξής:

Εστω ότι μετράται η φάση V (από τις φάσεις U, V, W). Το τύλιγμα υψηλής τάσης τροφοδοτείται με τάση 200Volt. Συνδέεται το βολτόμετρο μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος (δηλαδή στα άκρα 1V και 2V) και ελέγχεται η ένδειξή του. Εάν η ένδειξη είναι 196Volt, τότε η πολικότητα είναι αφαιρετική που σημαίνει ότι τα τυλίγματα διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα. Αν η ένδειξη είναι 204Volt τότε είναι προσθετική, που σημαίνει ότι διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα.

4.1.4 Μέτρηση της τάσης βραχυκύκλωσης και απωλειών φορτίου

Η μέτρηση γίνεται στην ονομαστική συχνότητα με την εφαρμογή τάσης ημιτονοειδούς μορφής στο υπό μέτρηση τύλιγμα, έχοντας το δεύτερο τύλιγμα βραχυκυκλωμένο. Η σύνθετη αντίσταση βραχυκύκλωσης δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 15,2 % στα 40MVA και 19% στα 50MVA σε κάθε λήψη του μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο. Το ρεύμα που θα διαρρέει το υπό δοκιμή τύλιγμα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το ήμισυ του αντίστοιχου ονομαστικού ρεύματος του τυλίγματος αυτού για τη συγκεκριμένη λήψη. Οι μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται γρήγορα ώστε τυχόν αυξήσεις της θερμοκρασίας να μην προκαλούν σημαντικά σφάλματα. Για τον υπολογισμό των απωλειών οι μετρηθείσες τιμές πρέπει να αναχθούν στους 75°C, σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 60076-1.

4.1.5 Μέτρηση του ρεύματος μαγνήτισης και απωλειών εν κενώ

Ονομάζεται επίσης μέτρηση του ρεύματος του πυρήνα. Προσδιορίζει σφάλματα που σχετίζονται με τον πυρήνα και τα τυλίγματα του μετασχηματιστή. Το ρεύμα του πυρήνα έχει δυο συνιστώσες: τη συνιστώσα μαγνήτισης και τη συνιστώσα απωλειών.

Η μέτρηση εντοπίζει βλάβες όπως:

- Βραχυκυκλωμένες ή ανοιχτοκυκλωμένες σπείρες
- Κακές ηλεκτρικές συνδέσεις
- Βραχυκυκλωμένα ελάσματα πυρήνα
- Χαλάρωση του συστήματος σύσφιξης του πυρήνα

Πραγματοποιείται στα τυλίγματα υψηλής τάσης ή χαμηλής τάσης στην ονομαστική τάση και συχνότητα και για την κύρια λήψη του μεταγωγέα. Το άλλο τύλιγμα παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο. Για τη ρύθμιση της τάσης εφαρμογής χρησιμοποιούνται δύο βολτόμετρα συνδεδεμένα παράλληλα από τα οποία, το ένα μετρά την ενεργό τιμή της τάσης και το άλλο τη μέση τιμή της τάσης. Η κυματομορφή της τάσης εφαρμογής θεωρείται αποδεκτή εάν η διαφορά μεταξύ των ενδείξεων στα δύο βολτόμετρα είναι μικρότερη από 3%. Για τον υπολογισμό των απωλειών η μετρούμενη τιμή της ισχύος ανάγεται βάσει της σχέσης:

- Για τη δοκιμή του τυλίγματος χαμηλής τάσης, η τάση δοκιμής είναι 50kV. Τα τυλίγματα υψηλής τάσης και το δοχείο του μετασχηματιστή είναι βραχυκυκλωμένα και γειωμένα.
- Για τη δοκιμή του τυλίγματος υψηλής τάσης, η τάση δοκιμής είναι 325kV. Τα τυλίγματα χαμηλής τάσης και το δοχείο του μετασχηματιστή είναι βραχυκυκλωμένα και γειωμένα.

Η εκτέλεση της δοκιμής αποτελείται από τα εξής βήματα:

- α) Εφαρμογή τάσης ίση με το 1/3 της τάσης δοκιμής για την έναρξη.
 - β) Εφαρμογή τάσης δοκιμής για χρονική διάρκεια 1 λεπτού.
 - γ) Εφαρμογή τάσης ίση με το 1/3 της τάσης δοκιμής πριν την λήξη
- Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 60076-3.

Ονομαστική τάση λειτουργίας (kV)	Τάση διηλεκτρικής δοκιμής (kV)
1	3
3	10
6,3	20
10	28
15	38
20	50
33	70
45	95
63	140
110	230
150	325
220	390
400	630

Πίνακας.Ι.4-6: Τάσεις διηλεκτρικής δοκιμής, [5] σελ.24.

4.1.7 Έλεγχος του βηματικού διακόπτη

Με συναρμολογημένο τον μεταγωγέα λήψεων στο μετασχηματιστή εκτελούνται οι εξής δοκιμές :

- α) 8 πλήρεις αδιάκοπες διελεύσεις της περιοχής ρύθμισης της τάσης (όλων των λήψεων) με τον μετασχηματιστή απενεργοποιημένο.
- β) 1 πλήρης αδιάκοπη διέλευση της περιοχής ρύθμισης της τάσης (όλων των λήψεων) με τον μετασχηματιστή απενεργοποιημένο και βοηθητική τάση στο 85% της ονομαστικής.
- γ) 1 πλήρης αδιάκοπη διέλευση της περιοχής ρύθμισης της τάσης (όλων των λήψεων) με τον μετασχηματιστή ενεργοποιημένο χωρίς φορτίο στην ονομαστική τάση και συχνότητα..
- δ) 10 λειτουργίες αλλαγής λήψεων κατά μήκος και σε εύρος δύο βημάτων προς κάθε πλευρά με αφετηρία τη μεσαία λήψη, με ένα τύλιγμα του μετασχηματιστή βραχυκυκλωμένο και με ονομαστικό ρεύμα στο υπό δοκιμή τύλιγμα.

4.2 Δοκιμές τύπου

4.2.1 Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας

Η δοκιμή προσδιορίζει την ανύψωση της θερμοκρασίας στο άνω στρώμα λαδιού σε συνθήκες σταθερής λειτουργίας και σε περίπτωση συνολικών απωλειών. Επίσης προσδιορίζει τη μέση ανύψωση θερμοκρασίας τυλίγματος στο ονομαστικό ρεύμα. Η εκτέλεση της δοκιμής αποτελείται από τα εξής βήματα:

- α) Εφαρμογή τάσης ώστε η μετρούμενη ενεργός ισχύς να είναι ίση με τις συνολικές απώλειες. Το ρεύμα δοκιμής πρέπει να είναι μεγαλύτερο του ονομαστικού ώστε να καλύπτονται και οι απώλειες κενού. Η δοκιμή σε αυτό το βήμα τελειώνει όταν ο ρυθμός μεταβολής της ανύψωσης θερμοκρασίας γίνει μικρότερος από 1°C/ώρα και παραμένει έτσι για τρεις ώρες.
- β) Αφού επιβεβαιωθεί η ανύψωση θερμοκρασίας στο άνω στρώμα λαδιού, εφαρμόζεται ρεύμα δοκιμής για χρονική διάρκεια μίας ώρας το οποίο έχει τιμή ίση με την ονομαστική του υπό δοκιμή τυλίγματος. Στο τέλος της μίας ώρας μετράται η αντίσταση του τυλίγματος και η ανύψωση θερμοκρασίας υπολογίζεται γραφικά.

Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 60076-2. Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τα επιτρεπόμενα όρια ανύψωσης της θερμοκρασίας για τα βασικά τμήματα του μετασχηματιστή.

Τμήμα	Μέγιστη ανύψωση θερμοκρασίας σε βαθμούς Kelvin (K)
Τυλίγματα: Κλάση θερμοκρασίας μόνωσης A (ανύψωση θερμοκρασίας μετρούμενη με τη μέθοδο μεταβολής της αντίστασης)	65, όταν η κυκλοφορία του λαδιού είναι φυσική ή βεβιασμένη μη κατευθυνόμενη 70, όταν η κυκλοφορία του λαδιού είναι βεβιασμένη και κατευθυνόμενη
Άνω στρώμα λαδιού	60, όταν ο μετασχηματιστής έχει δοχείο διαστολής ή είναι ερμητικά κλειστός
Πυρήνας, μεταλλικά μέρη	Σε καμία περίπτωση η θερμοκρασία δεν πρέπει να φτάσει σε τέτοια τιμή, ώστε να προκαλέσει ζημιά στον ίδιο τον πυρήνα ή στα παρακείμενα υλικά

Πίνακας I.4-7: Όρια ανύψωσης θερμοκρασίας για μετασχηματιστές εμβαπτισμένους στο λάδι, [5] σελ 27.

Παρατηρήσεις:

1. Η δοκιμή πραγματοποιείται πριν τις διηλεκτρικές δοκιμές.
2. Η μέγιστη θερμοκρασία του λαδιού μπορεί να μετρηθεί αλλά η μέση όχι. Η μέση θερμοκρασία του τυλίγματος μπορεί να μετρηθεί αλλά η μέγιστη όχι (παρά μόνο έμμεσα).

4.2.2 Δοκιμή κρουστικής τάσης

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής απαιτείται γεννήτρια κρουστικών τάσεων (γεννήτρια Marx). Επίσης για τη μέτρηση χρησιμοποιείται καθοδικός παλμογράφος, ο οποίος είναι συνήθως ψηφιακός με δυνατότητα αποθήκευσης του σήματος. Ο ιδιαίτερα ακριβός εξοπλισμός όπως η κρουστική γεννήτρια και οι υψηλές απαιτήσεις γείωσης του χώρου δοκιμών (πλέγμα στο πατωμα γειωμένο με σωλήνες σε πολλά σημεία) υπάρχει μόνο σε διαπιστευμένα εργαστήρια.

Η δοκιμή εκτελείται για κάθε ακροδέκτη τυλίγματος υψηλής τάσης και χαμηλής τάσης και για το τύλιγμα ουδετέρου. Αποτελείται από τα εξής βήματα:

Τύλιγμα υψηλής τάσης:

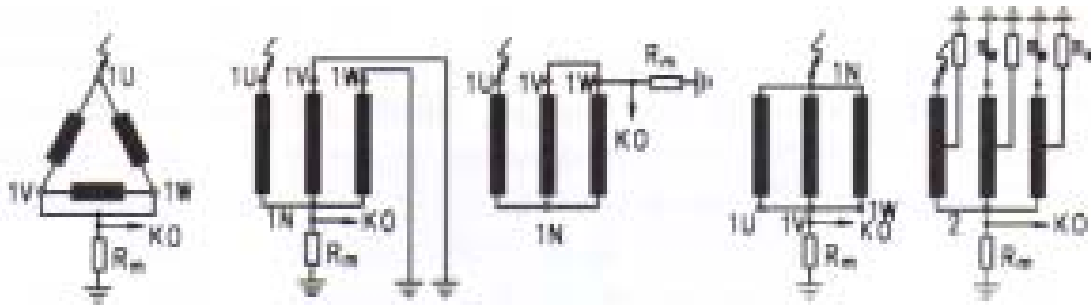
- α) Εφαρμογή ενός μειωμένου κύματος κρουστικής τάσης 50%-75% του πλήρους κύματος (375kV-562,5kV) μορφής 1,2/50μs.
- β) Εφαρμογή τριών διαδοχικών πλήρων κυμάτων κρουστικής τάσης 750kV μορφής 1,2/50μs.

Τύλιγμα χαμηλής τάσης:

- α) Εφαρμογή ενός μειωμένου κύματος κρουστικής τάσης 50%-75% του πλήρους κύματος (72,5kV-108,75kV) μορφής 1,2/50μs.
- β) Εφαρμογή τριών διαδοχικών πλήρων κυμάτων κρουστικής τάσης 145kV μορφής 1,2/50μs.

Το συμπέρασμα για την επιτυχία ή αποτυχία της δοκιμής γίνεται μετά από σύγκριση των παλμογραφημάτων. Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 60076-3.

Οι φάσεις οι οποίες δεν υπόκεινται σε δοκιμή, γειώνονται. Η τοποθέτηση της αντίστασης μέτρησης και του καθοδικού παλμογράφου ανάλογα με τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή (τρίγωνο ή αστέρας) δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα I.4-2: Συνδεσμολογίες τριφασικών μετασχηματιστών κατά την κρουστική τάση, [5] σελ.41.

Rm: Αντίσταση μέτρησης

Zc: Κυματική σύνθετη αντίσταση του καλωδίου

KO: Καθοδικός παλμογράφος

4.2.3 Δοκιμή επαγόμενης διηλεκτρικής αντοχής

Ονομάζεται και δοκιμή επαγόμενης τάσης εναλασσόμενου ρεύματος βραχείας διάρκειας. Με αυτήν ελέγχεται η αντοχή της μονώσης μεταξύ σπειρών της ίδιας στρώσης ή σπειρών διαφορετικών στρώσεων που γεινιάζουν μεταξύ τους. Για αυτό το λόγο ονομάζεται και δοκιμή ελέγχου σπειρών.

Η εκτέλεση της δοκιμής αποτελείται από τα εξής βήματα:

- α) Σύνδεση τριφασικής τροφοδότησης σε όλες τις φάσεις της χαμηλής τάσης. Τοποθέτηση του μεταγωγέα λήψεων στη θέση «1» (161,250/21kV).
- β) Γείωση του ουδετέρου κόμβου.
- γ) Ανοιχτοκύκλωση των ακροδεκτών των τυλιγμάτων υψηλής τάσης.
- δ) Παραγωγή επαγόμενης τάσης με την εφαρμογή πολικής τάσης ημιτονοειδούς μορφής και συχνότητας έως 100Hz. Αν η τάση εφαρμογής είναι μεγαλύτερη από 100Hz ο χρόνος δοκιμής (σε δευτερολέπτα) προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$t = 120s * \left(\frac{f_r}{f_t} \right)$$

όπου f_r : η ονομαστική συχνότητα
 f_t : η συχνότητα δοκιμής

Ο χρόνος t δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 15s. Αυτό σημαίνει ότι εάν η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου είναι 50Hz, η συχνότητα δοκιμής δεν πρέπει ξεπερνά τα 400Hz.

ε) Εφαρμογή της επαγόμενης τάσης ως εξής:

1. Τάση σε ένα επίπεδο όχι μεγαλύτερο του 1/3 των 75kV για την έναρξη της δοκιμής.
2. Ανύψωση στα 1,1 *(187,5kV) και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
3. Ανύψωση στα 225kV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
4. Ανύψωση στα 325kV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για το χρόνο δοκιμής (χρόνος t).
5. Μείωση στο επίπεδο των 225kV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά για μέτρηση μερικών εκκενώσεων.
6. Μείωση στο επίπεδο των 1,1 * U_m ($U_m=187,5kV$) και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά
7. Μείωση στο επίπεδο του 1/3 των 75kV πριν τη λήξη τη δοκιμής.

Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής εάν:

- Δε συμβεί κατάρρευση της τάσης δοκιμής
- Το συνεχές επίπεδο των εμφανών εκφορτίσεων στα 225kV δεν υπερβεί τα 300pC
- Οι μερικές εκφορτίσεις δεν παρουσιάζουν αυξητική τάση
- Το συνεχές επίπεδο των εμφανών εκφορτίσεων στα 1,1* U_m ($U_m=187kV$) στο δεύτερο 5λεπτο δεν υπερβεί τα 100pC.

Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 60076-3.

4.2.4 Μέτρηση στάθμης θορύβου

Η δοκιμή προσδιορίζει το θόρυβο του μετασχηματιστή με τον εξοπλισμό ψύξης σε λειτουργία. Αυτός δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 72dB. Ο καθορισμός της στάθμης θορύβου και η μέθοδος μετρήσεων για τα διάφορα τμήματα του μετασχηματιστή δίνεται από το πρότυπο IEC 60076-10/2001.

4.2.5 Δοκιμή μηχανικής αντοχής

Η δοκιμή εξετάζει το βαθμό στεγανότητας της κύριας δεξαμενής. Η εφαρμοζόμενη πίεση βασίζεται στη μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης και τις προκαλούμενες από αυτό ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις (ακτινικές και αξονικές) που εξαρτώνται από τη φυσική διάταξη και το σχεδιασμό των τυλιγμάτων. Το δοχείο του μετασχηματιστή με το ενεργό μέρος εγκατεστημένο και με την κατάλληλη ποσότητα λαδιού, δοκιμάζεται σε πίεση μέσω εγχύσεως αζώτου. Η διάρκεια της δοκιμής είναι 24 ώρες. Η πίεση εξαρτάται από τον κατασκευαστή, ωστόσο μια σύνηθης τιμή είναι 1.5 bar.

4.3 Ειδικές δοκιμές

4.3.1 Μέτρηση επαγωγικής αντίδρασης μηδενικής ακολουθίας

Η μέτρηση εκτελείται σε ονομαστική συχνότητα ανάμεσα στους ακροδέκτες των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης συνδεδεμένων κατά αστέρα. Εκφράζεται σε Ω/φάση και δίνεται από τη σχέση:

$$Z_o = 3 * \frac{V}{I}$$

όπου: Z_o : η αντίδραση μηδενικής ακολουθίας ή ομοπολική αντίσταση

V : η τάση δοκιμής

I : το ρεύμα δοκιμής

4.3.2 Αντοχή σε βραχυκύκλωμα

Η δοκιμή προδιορίζει το αν ο μετασχηματιστής αντέχει τις θερμικές και δυναμικές καταπονήσεις που προκύπτουν από το βραχυκύκλωμα. Η θερμική καταπόνηση υπολογίζεται από τον κανονισμό IEC 60076-5/2000. Η διάρκεια του συμμετρικού ρεύματος βραχυκύκλωσης λαμβάνεται ίση με 2s. Η δοκιμή απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις, τις οποίες διαθέτουν λιγοστά δοκιμαστήρια ανά τον κόσμο. Κατά τη διαδικασία μέτρησης η τάση τροφοδότησης και τα ρεύματα βραχυκύκλωσης καταγράφονται μέσω παλμογράφων. Οι διατάξεις προστασίας του μετασχηματιστή συνδέονται με το σύστημα συναγερμού για λόγους ασφαλείας.

Ο έλεγχος της συμπεριφοράς του μετασχηματιστή γίνεται με μέτρηση της αυτεπαγωγής πριν και μετά τη δοκιμή. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60076-5/2000 επιτρέπονται αποκλίσεις μέχρι:

- 2% για μετασχηματιστές με πυρήνα στοιβαχτού τύπου και κυλινδρικά τυλίγματα
- 4% για μετασχηματιστές με πυρήνα στοιβαχτού τύπου και παραλληλόγραμμα τυλίγματα
- 7% για μετασχηματιστές με πυρήνα τυλιχτού τύπου και οβάλ τυλίγματα

Η αυτεπαγωγή μετράται με γέφυρα. Ο χρόνος δοκιμής είναι $0,5 \pm 10\%$ ανά κρούση. Κάθε φάση υφίσταται τρεις κρούσεις: μία με όλες τις σπείρες του τυλίγματος, μία στη μεσαία λήψη και μία στη κατώτερη λήψη του μεταγωγέα. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής εάν:

- Μετά από τη δοκιμή βραχυκύκλωσης, ο μετασχηματιστής υποστεί πάλι με επιτυχία τις διηλεκτρικές δοκιμές, εφαρμοσμένης τάσης και επαγόμενης τάσης, στο 100% της προδιαγραφόμενης τιμής τους.
- Οι αυτεπαγωγές των τυλιγμάτων μετά τη δοκιμή δεν υπερβαίνουν τις προδιαγραφόμενες αποκλίσεις.
- Κατά τη δοκιμή δεν υπάρχει ροή ρεύματος προς γη.
- Αν μετά από οπτικό έλεγχο του ενεργού μέρους διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχει χαλάρωση στο σύστημα σύσφιξης των τυλιγμάτων, του πυρήνα και των άκρων των φάσεων καθώς και οποιεσδήποτε παραμορφώσεις.

4.3.3 Μέτρηση των αρμονικών του ρεύματος λειτουργίας εν κενώ

Η δοκιμή προσδιορίζει το ποσοστό παραμόρφωσης των αρμονικών του ρεύματος. Για την μέτρηση χρησιμοποιείται αναλυτής αρμονικών. Η μέτρηση γίνεται με τον ίδιο τρόπο με την μέτρηση απωλειών και ρεύματος κενής λειτουργίας, για αυτό το λόγο πραγματοποιείται αμέσως μετά από αυτήν. Η τάση τροφοδότησης πρέπει να είναι ημιτονοειδής. Ο αναλυτής καταγράφει όλο το φάσμα των αρμονικών και αποδίδει έτοιμα τα ποσοστά. Η τάση τροφοδότησης μετράται

με βολτόμετρο μέσης τιμής. Η δοκιμή εκτελείται στο 90%, 100% και 110% της ονομαστικής τάσης του μετασχηματιστή. Η τάση της γεννήτριας αυξάνεται σταδιακά για την αποφυγή μεταβατικών φαινομένων που μπορούν να αλλοιώσουν το αποτέλεσμα.

Το συνολικό ρεύμα των αρμονικών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_{\varepsilon V} = \sqrt{\sum_{i=1}^i I_i^2}$$

$$\text{όπου } I_i = \frac{U_i}{R} * k$$

U_i : πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση μέτρησης της εκάστοτε αρμονικής

k : σταθερά του αναλυτή αρμονικών και λόγου μετασχηματισμού μετασχηματιστή έντασης

Η διαδικασία ρύθμισης του αναλυτή γίνεται με ως εξής:

α) Ο αναλυτής δίνει την ενεργό τιμή του ρεύματος. Ρυθμίζεται έτσι, ώστε στην πρώτη αρμονική (50Hz) να δείχνει 100%.

β) Ρυθμίζεται στην τρίτη αρμονική (150Hz) και καταγράφεται η ένδειξη, κοκ.

Παρατήρηση: Οι τιμές των ρευμάτων δεν είναι ίσες και στις τρεις φάσεις, γεγονός που οφείλεται στις διαφορετικές μαγνητικές αντιστάσεις που δημιουργεί η ασυμμετρία του πυρήνα.

4.3.4 Μέτρηση ισχύος ανεμιστήρων

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση των απαιτήσεων ισχύος του συστήματος ψύξεως. Οι απώλειες ψύξεως λαμβάνονται υπόψιν για τον υπολογισμό των συνολικών απωλειών του μετασχηματιστή και έχουν το αντίστοιχο κόστος. Η μέτρηση εκτελείται τυτόχρονα με τη δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας.

4.4 Δοκιμές πεδίου

4.4.1 Μετρήσεις μονωτικών λαδιών

4.4.1.1 Ανίχνευση αερίων διαλυμένων στο λάδι

Η μέθοδος των διαλυμένων αερίων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία εκτίμησης της κατάστασης ενός μετασχηματιστή. Μπορεί να ανιχνεύσει υποβαθμισμένη μόνωση, υπερθέρμανση, θερμά σημεία, μερικές εκκενώσεις και ηλεκτρικά τόξα. Η μέθοδος εφαρμόζεται χωρίς να απαιτείται διακοπή της λειτουργίας του μετασχηματιστή. Το πρότυπο C57.104-1991 του IEEE δίνει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων βασισμένο στη μέθοδο του κύριου αερίου και στη μέθοδο συγκεκριμένων λόγων αερίων. Το σχετικό πρότυπο από το IEC είναι το 60599.

Μέθοδος ερμηνείας μέσω του κύριου αερίου

Κάθε είδος καταπόνησης παράγει ορισμένα αέρια σε μεγαλύτερη ποσότητα από άλλα. Το αέριο το οποίο έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση (σε ppm) ονομάζεται κύριο αέριο. Η συσχέτιση των διαφόρων αερίων με το είδος της καταπόνησης είναι η εξής:

- Μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα (CO και CO₂):
Υποδηλώνει θερμική γήρανση του χαρτιού.
- Μεθάνιο, αιθάνιο και αιθυλαίνιο (CH₄, C₂H₆ και C₂H₄) :
Υποδηλώνει θερμική διάσπαση του μονωτικού λαδιού. Συγκεκριμένοι λόγοι αυτών των αερίων δείχνουν υπερθέρμανση.
- Υδρογόνο (H₂):
Μερικές εκκενώσεις χαμηλής ενέργειας, γνωστές ως φαινόμενο Corona.
- Ακετυλαίνιο (C₂H₂):
Μερικές εκκενώσεις υψηλής ενέργειας ή ηλεκτρικά τόξα

Το IEEE ορίζει καταστάσεις κινδύνου ανάλογα με το επίπεδο των συγκεντρώσεων μεμονωμένων αερίων σε συνδυασμό με τη συνολική συγκέντρωση των αναφλέξιμων αερίων. Όταν ένας μετασχηματιστής περιέχει αέρια που βρίσκονται στα επίπεδα που αναγράφονται απαιτείται λήψη πρόσθετων μέτρων.

Κατάσταση	Όρια συγκεντρώσεων διαλυμένων αερίων (ppm)							TDCG
	H ₂ Υδρογόνο	CH ₄ Μεθάνιο	C ₂ H ₂ Ακετυλαίνιο	C ₂ H ₄ Αιθυλαίνιο	C ₂ H ₆ Αιθάνιο	CO Μονοξείδιο άνθρακα	CO ₂ Διοξείδιο άνθρακα	
1	100	120	35	50	65	350	2500	720
2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2501-4000	721-1920
3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

Πίνακας I.4-8: Όρια συγκεντρώσεων διαλυμένων αερίων (σε ppm)

Σημειώσεις:

Κατάσταση 1 : Διαλυμένα αέρια σε αυτό το εύρος υποδηλώνουν φυσιολογική λειτουργία.

Κατάσταση 2 : Απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

Κατάσταση 3 : Διαλυμένα αέρια σε αυτό το εύρος υποδηλώνουν υψηλή υποβάθμιση της μόνωσης. Απαιτείται συχνή δειγματοληψία για εξέταση των ρυθμών μεταβολής των αερίων.

Κατάσταση 4 : Διαλυμένα αέρια σε αυτό το εύρος υποδηλώνουν υπερβολική υποβάθμιση. Λειτουργία του μετασχηματιστή μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του.

TDCG : Συνολική συγκέντρωση των αναφλέξιμων διαλυμένων αερίων (δεν περιλαμβάνεται το διοξείδιο του άνθρακα).

Η ανάλυση με χρήση λόγων αερίων μπορεί να υποδείξει προβλήματα και σφάλματα. Η χρήση λόγων οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε αέριο δεν παράγεται από μία και μόνο αιτία. Οι λόγοι που καθιερώθηκαν είναι:

$$R1 = \frac{CH_4}{H_2}, \quad R2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \quad R3 = \frac{C_2H_2}{CH_4}, \quad R4 = \frac{C_2H_6}{C_2H_2}, \quad R5 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

Από αυτούς οι R1, R2, R3, R4 χρησιμοποιούνται στη μέθοδο ερμηνείας Doernenburg ενώ οι R1,R2,R5 στη μεταγενέστερη μέθοδο ερμηνείας Rogers, η οποία και αναφέρεται.

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή των λόγων είναι η ύπαρξη επαρκούς ποσότητας αερίων.

Ο λόγος $\frac{CO}{CO_2}$ είναι ένδειξη πιθανής χειροτέρευσης της μόνωσης κυτταρίνης.

Μέθοδος ερμηνείας με χρήση λόγων Rogers [49,45]

Η μέθοδος εντοπίζει τις αιτίες των σφαλμάτων, χρησιμοποιώντας μόνο τους λόγους R1, R2 και R5. Οι λόγοι αυτοί είναι γνωστοί ως λόγοι Rogers. Η εφαρμογή τους και τα αποτελέσματα διάγνωσης φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Κωδικός	R2	R1	R5	Προτεινόμενη διάγνωση σφάλματος
0	<0,1	0,1-1,0	<0,1	Κανονική κατάσταση
1	<0,1	<0,1	<1,0	Χαμηλής ενέργειας τόξο
2	0,1-3,0	0,1-1,0	>3,0	Τόξο-εκκένωση υψηλής ενέργειας
3	<0,1	0,1-1,0	1,0-3,0	Χαμηλές θερμοκρασίες
4	<0,1	>1,0	1,0-3,0	Υπερθέρμανση <700°C
5	<0,1	>1,0	>30	Υπερθέρμανση >700°C

Πίνακας I.4-9: Διάγνωση σφαλμάτων μέσω λόγων Rogers

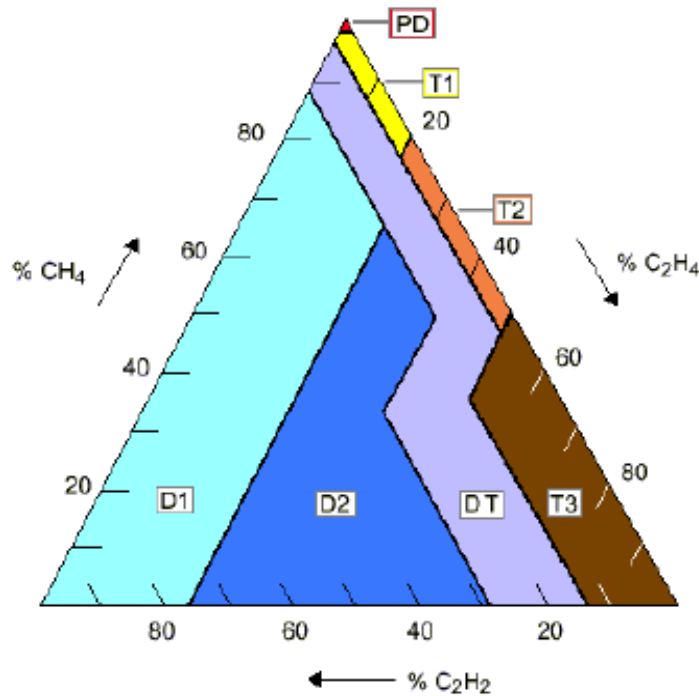
Παρατηρήσεις:

1. Η μέθοδος ανάλυσης με λόγους Rogers δεν χρησιμεύει στον εντοπισμό αλλά στον προσδιορισμό του είδους των σφαλμάτων. Αυτό σημαίνει ότι εφαρμόζεται όταν υπάρχει επαρκής ποσότητα διαλυμένων αερίων και αφού έχει ήδη επαληθευτεί ύπαρξη προβλήματος από τις συγκεντρώσεις των αερίων (για παράδειγμα παραβίαση ορίων που δίνονται στον πίνακα του IEEE).
2. Αν ένα αέριο είναι μη ανιχνεύσιμο ο παρονομαστής των λόγων αποκτά την τιμή της οριακής τιμής.

Μέθοδος ερμηνείας με χρήση τριγώνου Duval [49,50,51]

Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα τριγωνικό σύστημα συντεταγμένων μέσω του οποίου τα εμφανιζόμενα αέρια αντιστοιχίζονται στα σφάλματα. Οι συγκεντρώσεις του αιθανίου, του μεθανίου και του ακετυλαινίου προσδιορίζονται ως ποσοστά επί του συνόλου των συγκεντρώσεων (των τριών αυτών αερίων) και τοποθετούνται στο τρίγωνο Duval. Το προκύπτον σημείο αντιστοιχεί σε μία από τις επτά περιοχές στις οποίες είναι χωρισμένο το σχήμα. Έτσι κάθε συνδυασμός συγκεντρώσεων αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο είδος σφάλματος. Η μέθοδος είναι ακριβής και εύκολη στην ανάγνωση, ωστόσο παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι δεν περιέχει περιοχή που να αντιστοιχεί σε μετασχηματιστές που λειτουργούν φυσιολογικά.

Αυτό σημαίνει ότι η χρήση της πρέπει να γίνεται αφού προηγουμένως έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη σφάλματος με κάποια από τις προαναφερθείσες μεθόδους.



Σχήμα I.4-3: Το τρίγωνο Duval και οι περιοχές σφαλμάτων.

PD : μερικές εκκενώσεις

T1 : θερμικό σφάλμα σε θερμοκρασία <300°C

T2 : θερμικό σφάλμα μεταξύ 300°C και 700°C

T3 : θερμικό σφάλμα μεγαλύτερη από 700°C

D1 : Εκκενώσεις χαμηλής ενέργειας

D2 : Εκκενώσεις υψηλής ενέργειας (τόξα)

DT : Συνδυασμός θερμικών και ηλεκτρικών σφαλμάτων

Οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν το είδος του προβλήματος που δημιουργεί τα αέρια. Η γνώση του σχεδιασμού και του ιστορικού λειτουργίας του μετασχηματιστή είναι βασική για την αποδοτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Παράγοντες όπως ο τύπος και η ποσότητα των διαλυμένων αερίων σε συνδυασμό με το κόστος της συντήρησης, καθορίζουν την λήψη απόφασης για το αν ο μετασχηματιστής μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί ή όχι. Ένας μετασχηματιστής μπορεί να διατηρεί αέρια στο εσωτερικό του χωρίς να υπάρχει κίνδυνος καταστροφής, [11] σελ.38.

4.4.1.2 Άλλες δοκιμές του μονωτικού λαδιού

Το μονωτικό λάδι εξετάζεται με πολυάριθμες φυσικές και χημικές αναλύσεις. Ορισμένες από αυτές διεξάγονται επιτόπου ενώ άλλες εργαστηριακά. Στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότερες δοκιμές για τα μονωτικά λάδια εκτός της μεθόδου των διαλυμένων αερίων, η οποία αναπτύχθηκε προηγουμένως. Οι επόμενες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της κατάστασης του λαδιού και τη λήψη αποφάσεων σε περίπτωση παραβίασης των επιτρεπόμενων

ορίων. Περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο της συντήρησης (παράγραφος III.1) της παρούσης εργασίας.

- Διηλεκτρική αντοχή
- Επιφανειακή τάση
- Βαθμός εξουδετέρωσης
- Συντελεστής ισχύος λαδιού
- Επιβραδυντές οξείδωσης
- Ανάλυση Φουρανίων
- Χρώμα

4.4.2 Μέτρηση της αντίστασης μόνωσης

Η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης μέσω μεγγόμετρου (Megger) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κατάστασης της μόνωσης του τυλίγματος. Με αυτήν προσδιορίζονται τυχόν υγρασίες, ακαθαρσίες ή ελαττώματα. Επειδή η δοκιμή εφαρμόζει μια συνεχή τάση μεταξύ τυλιγμάτων και γης, είναι σημαντικό να γειώνονται σωστά όλα τα τυλίγματα εκτός εκείνου του οποίου μετράται η αντίσταση. Επίσης, είναι βασικό να γειώνονται όλοι οι ακροδέκτες για λίγα λεπτά μετά από κάθε μέτρηση, με σκοπό να απομακρυνθεί κάθε αποθηκευμένο φορτίο.

Σε ένα μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων εκτελούνται οι εξής μετρήσεις:

- Μέτρηση μεταξύ τυλίγματος υψηλής τάσης και γειωμένου τυλίγματος χαμηλής τάσης.
- Μέτρηση μεταξύ τυλίγματος χαμηλής τάσης και γειωμένου τυλίγματος υψηλής τάσης.
- Μέτρηση μεταξύ τυλίγματος υψηλής-χαμηλής τάσης και γης.
- Μέτρηση μεταξύ τυλιγμάτων υψηλής και χαμηλής τάσης.

Για τους μετασχηματιστές μεταφοράς 150/21kV η τάση δοκιμής είναι 2,5kV. Η αντίσταση μόνωσης μετράται σε MΩ και ανάγεται στη θερμοκρασία των 20°C για να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η αναγωγή γίνεται βάσει του παρακάτω πίνακα:

Θερμοκρασία °C	Συντελεστής διόρθωσης
0	0,25
5	0,36
10	0,50
15	0,70
20	1,00
30	1,95
40	3,95
50	7,85

Πίνακας I.4-10: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή διόρθωσης [3,46].

Οι κανονισμοί IEC 60076-1 και IEEE C57.12.90 δεν καθορίζουν συγκεκριμένα όρια για την αντίσταση μόνωσης. Ωστόσο για την κατάταξη των μονώσεων έχουν καθιερωθεί οι εξής λόγοι:

- α) Λόγος διηλεκτρικής απορρόφησης, που ισούται με την τιμή της αντίστασης στα 60 δευτερόλεπτα προς την τιμή της αντίστασης στα 30 δευτερόλεπτα.
- β) Δείκτης πόλωσης, που ισούται με το την τιμή της αντίστασης στα 10 λεπτά προς την τιμή της αντίστασης στο 1 λεπτό.

Η κατάταξη της μόνωσης γίνεται με βάση τον επόμενο πίνακα:

Κατάταξη μόνωσης	Δείκτης πόλωσης $R_{10'}/R_1'$	Λόγος διηλεκτρικής απορρόφησης $R_{60''}/R_{30''}$
Επικίνδυνη	<1,00	-
Πτωχή	1,00-1,10	<1,1
Προβληματική	1,10-1,25	1,10-1,25
Μέτρια	1,25-2,00	1,25-1,40
Καλή	2,00-4,00	1,40-1,60
Εξαιρετική	>4,00	>1,60

Πίνακας I.4-11: Κατάταξη μονώσεων βάσει του δείκτη πόλωσης και του λόγου διηλεκτρικής απορρόφησης, [3] σελ.29.

Παρατηρήσεις:

1. Ένας απλοποιημένος κανόνας είναι ότι αποδεκτή αντίσταση είναι $2M\Omega/1000V$ της ονομαστικής τάσης που αναγράφεται στην πινακίδα, [10] σελ. 7-5 παρ.7.2.2.
2. Η αντίσταση μόνωσης είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη θερμοκρασία. Σύμφωνα με το νόμο του Montsinger για μείωση της θερμοκρασίας κατά $6-8^{\circ}C$, δπλασιάζεται η αντίσταση μόνωσης, [52].

5. Είδη συντήρησης [40,47,48,93]

5.1 Συντήρηση βάσει χρονοδιαγράμματος

Βασίζεται στην εξέταση και συντήρηση ενός μετασχηματιστή σύμφωνα με ένα χρονοδιάγραμμα. Χρησιμοποιείται από πολλές βιομηχανίες και εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να αποτρέψει πιθανές βλάβες, ωστόσο μπορεί να δημιουργήσει άμεσα και έμμεσα κόστη που μπορούσαν να αποφευχθούν. Τέτοια μπορεί να είναι διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος, ανθρωποώρες, χρόνος και χρημα. Στην περίπτωση που τα χρονικά διαστήματα μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων είναι μεγάλα μπορεί να συμβεί σφάλμα, το οποίο να μην αντιμετωπιστεί.

Πλεονεκτήματα

- Γίνεται εύκολα κατανοητή από μηχανικούς και τεχνικούς.
- Μπορεί να ανιχνεύσει την έναρξη των σφαλμάτων, ειδικά εάν το ενδιάμεσο διάστημα είναι μικρό.
- Αυξάνει τη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή.

Μειονεκτήματα

- Είναι ακριβή λόγω των τακτικών μη αναγκαίων ελέγχων και του μεγάλου αριθμού του απαιτούμενου προσωπικού.
- Σε μερικές περιπτώσεις, δεν μπορούν να ανιχνευτούν σφάλματα που συμβαίνουν στα ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα.
- Απαιτεί επιπλέον διακοπές ηλεκτροδότησης με το αντιστοίχο κόστος.

5.2 Συντήρηση βάσει κατάστασης

Βασίζεται στην συντήρηση ενός μετασχηματιστή όταν οι έλεγχοι εκτίμησης κατάστασης ανιχνεύουν ένα σφάλμα σε πρώιμο στάδιο. Εάν αυτό δεν αντιμετωπιστεί εγκαίρως θα εξελιχθεί σε ολικό σφάλμα. Τα δεδομένα ιστορικού (παράμετροι λειτουργίας, διαγνωστικά τεστ, περιβαλλοντικές συνθήκες) προσδιορίζουν τα σημεία που χρήζουν παρακολούθησης καθώς και την απαιτούμενη μέθοδο ελέγχου. Με αυτήν την τεχνική η πιθανότητα ολικού σφάλματος μειώνεται. Προηγμένες μέθοδοι παρακολούθησης και εκτίμησης κατάστασης αποτελούν ή ανάλυση των διαλυμένων αερίων, των μερικών εκκενώσεων, των φουρανίων και η ανάλυση με απόκριση συχνότητας. Η πιο διαδεδομένη συντήρηση βάσει κατάστασης είναι η συνεχούς παρακολούθησης. Τα συλλεγόμενα στοιχεία προέρχονται από αισθητήρες που βρίσκονται τοποθετημένοι στον μετασχηματιστή και αφορούν πληροφορίες σχετικά με θερμοκρασίες, σήματα ταλαντώσεων, αέρια στα λάδια και άλλα. Μέσα από την επεξεργασία και απεικόνιση αυτών των σημάτων (πιθανότατα μέσω λογισμικού απεικόνισης σε υπολογιστή) γίνεται εκτίμηση της κατάστασης και προτείνονται εστιασμένες ενέργειες αποκατάστασης όπου αυτό απαιτείται.

Πλεονεκτήματα

- Η συντήρηση πραγματοποιείται όταν είναι απαραίτητη.
- Εξοικονόμηση ελέγχων.
- Εξοικονόμηση ανθρωποωρών.
- Μείωση των ηλεκτρικών διακοπών του συστήματος.
- Χαμηλή πιθανότητα συνολικού σφάλματος.

Μειονεκτήματα

- Η συνεχής παρακολούθηση πολλών παραμέτρων είναι ακριβή.
- Λιγότερο κατανοητή μέθοδος από μηχανικούς και τεχνικούς.
- Απαιτεί συστήματα υψηλής ταχύτητας επικοινωνίας, και επεξεργασίας δεδομένων.
- Ο σχεδιασμός του συστήματος απαιτεί ειδικά καταρτισμένο προσωπικό.

5.3 Συντήρηση βάσει αξιοπιστίας

Βασίζεται στην εξασφάλιση της λειτουργικότητας του μετασχηματιστή διατηρώντας παράλληλα το κόστος σε λογικά επίπεδα. Μπορεί να θεωρηθεί ως ο βέλτιστος συνδυασμός μεθοδολογιών συντήρησης, ο οποίος μειώνει σε αποδεκτά επίπεδα τη πιθανότητα σφάλματος. Η μέθοδος αυτή συλλέγει τα δεδομένα συνεπειών των αποτυχιών του μετασχηματιστή με τα οποία φτιάχνει ένα πιθανοτικό μοντέλο. Οι συνέπειες των βλαβών και η πιθανότητα να συμβούν, ορίζουν έναν δείκτη κινδύνου (ρίσκου). Έτσι κάθε είδος αποτυχίας αντιστοιχίζεται σε μια συγκεκριμένη πιθανότητα. Ανάλογα με τη σοβαρότητά τους, οι βλάβες κατατάσσονται σε χαμηλού ή υψηλού κινδύνου και αντίστοιχα προτείνεται η πιο συμφέρουσα μέθοδος συντήρησης. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη συντήρηση μέσα από την ανάλυση ρίσκου.

Πλεονεκτήματα

- Το κόστος της συντήρησης βασίζεται στο ρίσκο κινδύνου
- Μείωση των ηλεκτρικών διακοπών του συστήματος για δείκτες χαμηλού κινδύνου
- Χαμηλή πιθανότητα συμβάντων υψηλού κινδύνου

Μειονεκτήματα

- Λιγότερο κατανοητή μέθοδος από μηχανικούς και τεχνικούς
- Συνθετότητα στη δόμηση του μοντέλου συντήρησης
- Μεγάλη ποσότητα αναγκαίων στατιστικών δεδομένων, όπως ρυθμοί βλαβών, τρόποι αντιμετώπισης και συνέπειες

II. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η έννοια της συντήρησης σχετίζεται με κάθε εξοπλισμό που μπορεί να υποστεί βλάβη. Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα τέτοια εξαρτήματα μπορεί να είναι τα καλώδια, οι διακόπτες, οι αποζεύκτες, οι μονωτήρες, οι μετασχηματιστές και άλλα. Σε έναν υποσταθμό μεταφοράς ο μετασχηματιστής είναι όπως προαναφέρθηκε, το ακριβότερο και σημαντικότερο εξάρτημα. Το κόστος του ανέρχεται περίπου σε 500-600 χιλιάδες ευρώ, δηλαδή περί το 75% του συνολικού κόστους του υποσταθμού! Το κόστος των ενδεχόμενων βλαβών μπορεί να ανέλθει σε πολύ υψηλά επίπεδα αφού δεν αφορά μόνο την αντικατάσταση των χαλασμένων εξαρτημάτων του μετασχηματιστή αλλά και το κόστος από απόρριψη φορτίου ή και από νομικές κυρώσεις. Συνεπώς, η συντήρηση πρέπει να γίνεται όταν χρειάζεται με το βέλτιστο συνδυασμό ασφαλούς λειτουργίας-κόστους.

Ο προγραμματισμός της συντήρησης μπορεί να γίνει βάσει χρονοδιαγράμματος, κατάστασης ή αξιοπιστίας. Στις μέρες μας οι μέθοδοι ελέγχου που έχουν αναπτυχθεί σε συνδυασμό με τα εξελιγμένα εργαλεία λογισμικού δίνουν μία αξιόπιστη εκτίμηση της ανάγκης για συντήρηση. Το ερευνητικό έργο που έχει πραγματοποιηθεί έχει καλύψει σε μεγάλο βαθμό τα φαινόμενα που εξελίσσονται στο εσωτερικό των μετασχηματιστών. Επίσης, ο εξοπλισμός των μετασχηματιστών έχει εξελιχθεί ώστε οι ανακαλύψεις να είναι λιγότερες. Τα όργανα ελέγχου που χρησιμοποιούνται είναι ευρέως γνωστά και οι δοκιμές έχουν διατυπωθεί με σαφήνεια μέσω διεθνών κανονισμών. Η συνεχής έρευνα πάνω σε θέματα γήρανσης της μόνωσης, η βελτίωση των υλικών και η αυτοματοποίηση των τεχνικών διάγνωσης έχουν οδηγήσει στη δυνατότητα προσέγγισης της εναπομείνουσας διάρκειας ζωής. Μπορεί λοιπόν να ειπωθεί ότι πλέον διατίθενται οι απαραίτητες πληροφορίες και αυτό που απαιτείται είναι το εργαλείο, μέσω του οποίου αυτές θα οργανωθούν και θα αξιοποιηθούν.

Ο σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να παρουσιάσει τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των επιμέρους τμημάτων του μετασχηματιστή και να αναπτύξει οδηγίες συντήρησης, βάσει των σχετικών κανονισμών.

Οι παραπάνω οδηγίες βασίζονται στην εφαρμοσμένη πρακτική αλλά και στους ισχύοντες κανονισμούς. Συχνά, οι παράγοντες που διαμορφώνουν την κατάσταση του μετασχηματιστή αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα να απαιτείται διαφορετική αντιμετώπιση. Στην εργασία γίνεται προσπάθεια να συνδυαστούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες ώστε το αντικείμενο της συντήρησης να προσεγγίζεται με πληρότητα. Πολλές από τις διαγνωστικές μεθόδους περιγράφονται ώστε να καλυφθεί το αντικείμενο της συντήρησης. Ωστόσο, η πλήρης ανάπτυξη κάθε μίας από αυτές συνιστά πολύ μεγάλο και ξεχωριστό αντικείμενο, ξεφεύγοντας από τα όρια της παρούσης εργασίας.

Η δομή της παρούσας εργασίας βασίστηκε στον οδηγό συντήρησης που αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Ερευνών Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI). Για την λεπτομερή τεχνική περιγραφή των εξαρτημάτων (4^ο κεφάλαιο), έχει χρησιμοποιηθεί ο αμερικάνικος οδηγός συντήρησης μετασχηματιστών FIST 3-30. Από αυτόν έχουν εξαχθεί πολύτιμες τεχνικές λεπτομέρειες και αναφορές. Ιδιαίτερα σημαντική πηγή γνώσεων αποτέλεσε το βιβλίο του Σαμοίλη Γ. Βασίλη, Μηχανολόγου-Ηλεκτρολόγου ΕΜΠ με τίτλο «Μετασχηματιστές, Παρακολούθηση Διαγνωστική Εκτίμηση της Λειτουργικής Κατάστασης», τον οποίο και ευχαριστώ ιδιαίτερα. Τέλος σημειώνεται ότι για την εργασία χρησιμοποιήθηκαν κατάλογοι, τεχνικοί οδηγοί και εγχειρίδια από πλήθος εταιριών, οι οποίες αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

III. Η ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

1. Έλεγχος του μονωτικού λαδιού

Η προληπτική συντήρηση συμπεριλαμβάνει δοκιμές στο μονωτικό λάδι, ανά εξάμηνο ή χρόνο ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει υγρασία, οξείδωση ή και εύφλεκτα αέρια. Ο αμερικάνικος οργανισμός ASTM καθορίζει τις δοκιμές λαδιού στον κανονισμό D117. Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τις κυριότερες δοκιμές των μονωτικών λαδιών.

Αριθμός δοκιμής	Αντικείμενο
ASTM D913	Πρακτικές δειγματοληψίας στα ηλεκτρικά μονωτικά υγρά
ASTM D924	Μέτρηση του συντελεστή απωλειών (ή συντελεστή ισχύος)
ASTM D923	Πρακτικές δειγματοληψίας στα ηλεκτρικά μονωτικά υγρά
ASTM D1698	Μέτρησεις για ιζήματα και διαλυτής ιλύος
ASTM D1524	Οπτικοί έλεγχοι σε χρησιμοποιημένα ηλεκτρικά μονωτικά λάδια
ASTM D1298	Μέτρηση της σχετικής πυκνότητας (ειδικό βάρος)
ASTM D971	Μέτρηση της επιφανειακής τάσης του λαδιού έναντι του νερού
ASTM D1500	Έλεγχος του χρώματος των παραγώγων του πετρελαίου
ASTM D3613	Πρακτικές δειγματοληψίας στα μονωτικά υγρά για ανάλυση διαλυμένων αερίων και καθορισμό της περιεχόμενης υγρασίας
ASTM D5837	Μέτρησεις για ενώσεις Φουρανίων στα ηλεκτρικά μονωτικά υγρά μέσω της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης
ASTM D974	Μέτρηση του βαθμού εξουδετέρωσης μέσω χρωστικής

Πίνακας III.1-1: Κανονισμοί των δοκιμών εκτίμησης των μονωτικών λαδιών

Το ορυκτέλαιο υψηλής δύλισης είναι το ευρύτερα διαδεδομένο μονωτικό υγρό στους μετασχηματιστές ισχύος. Δίνει την απαιτούμενη διηλεκτρική αντοχή και ψύξη. Τόσο το ορυκτέλαιο, όσο και το υλικό στερεάς μόνωσης υπόκεινται σε χημικές διεργασίες κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή εξαιτίας της υγρασίας, του οξυγόνου και της θερμοκρασίας.

Η διαδικασία της δειγματοληψίας περιγράφεται στο πρότυπο ASTM D923 και D3613 και συμπεριλαμβάνει οδηγίες για τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τα δοχεία και τον τρόπο εκτέλεσης. Η ποσότητα του δείγματος λαδιού θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε να διεξάγονται οι απαιτούμενες δοκιμές. Κατά τη δειγματοληψία, η θερμοκρασία του λαδιού θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ώστε να αποτρέπεται εισχώρηση τυχόν υγρασίας στο δείγμα, [10] σελ 7-2. Η θερμοκρασία λαδιού, περιβάλλοντος καθώς επίσης και η σχετική υγρασία θα πρέπει να καταγράφονται. Αν η σχετική υγρασία υπερβαίνει το 50% (συνθήκες βροχής ή χιονιού), η δειγματοληψία θα πρέπει να προγραμματίζεται για άλλη χρονική στιγμή. Η δοκιμή περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο IEC 156/95.

Η διαδικασία της δειγματοληψίας περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο III.7 της παρούσης εργασίας.

1.1 Διηλεκτρική αντοχή

Η διηλεκτρική αντοχή ενός υγρού είναι δείκτης της μονωτικής του ικανότητας. Χαμηλές τιμές είναι αποτέλεσμα υγρασίας ή και ύπαρξης αιωρούμενων σωματιδίων. Η δοκιμή εκτελείται με συσκευή η οποία αυξάνει την τάση βαθμιαία, μέχρις ότου επέλθει διάσπαση του λαδιού. Η μετρηθείσα τιμή αναγράφεται και εκτυπώνεται. Οι ρυπαντές, οι οποίοι προκαλούν χαμηλή διηλεκτρική αντοχή είναι δυνατόν να αφαιρεθούν με διατάξεις καθαρισμού λαδιών (φίλτρα). Τυπικές τιμές της τάσης διάσπασης είναι 30kV/mm-40kV/mm. Όταν οι τιμές βρίσκονται κάτω από τα 26kV/mm απαιτείται προσεκτικός έλεγχος, [10] σελ.7-3. Για τους μετασχηματιστές 150/20kV του ελληνικού συστήματος μεταφοράς η δοκιμή γίνεται κατά το πρότυπο IEC 156/95 με ελάχιστη απαιτούμενη τάση διάσπασης 22kV/mm.

Ο κανονισμός IEEE C57.106-1991 δίνει πληροφορίες σχετικά με τις δοκιμές της διηλεκτρικής αντοχής. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται τα επιτρεπόμενα όρια διηλεκτρικής αντοχής ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο.

Μέθοδος δοκιμής	Ελάχιστη διηλεκτρική αντοχή		
	<69kV	69-288kV	>345kV
ASTM D1816, διάκενο 0.040 ίντσες	23	26	26
ASTM D1816, διάκενο 0.080 ίντσες	34	45	45
ASTM D877, διάκενο 0.10 ίντσες	26	26	26

Πίνακας III.1-2: Όρια διηλεκτρικής αντοχής.

1.2 Επιφανειακή τάση [53]

Αρχικά, το δείγμα λαδιού τοποθετείται σε δοχείο σε θερμοκρασία 25°C. Επειδή το λάδι έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το νερό επιπλέει, δημιουργώντας μια διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα δύο είδη υγρών. Επιφανειακή τάση μονωτικού λαδιού είναι η δύναμη σε δυνέες ανά

εκατοστό, η οποία απαιτείται για να διασπαστεί η διαχωριστική μεμβράνη μεταξύ αποσταγμένου νερού και λαδιού. Για τη δοκιμή χρησιμοποιείται δακτυλιοειδής αγωγός ο οποίος κινείται προς τα πάνω (διαμέσω της διαχωριστικής μεμβράνης). Όταν στο λάδι υπάρχουν ρυπαντές όπως βερνίκια, χρώματα και προϊόντα οξείδωσης, η ως άνω διαχωριστική μεμβράνη εξασθενεί, και απαιτείται μικρότερη δύναμη για να διασπαστεί. Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή τάση είναι [3,11]:

- α) η έκθεση του μονωτικού λαδιού στο φως
- β) η παρουσία σωματιδίων

Στον επόμενο πίνακα δίνονται ενδεικτικές τιμές για την επιφανειακή τάση για την περίπτωση λαδιού εκτεθειμένου στο φως της ημέρας και λαδιού τοποθετημένου σε δοχείο αλουμινίου (προστατευμένο από το φως της ημέρας). Επίσης δίνεται η συσχέτιση με τον συντελεστή απωλειών εφδ. Ένα καθαρό λάδι δίνει τυπικές τιμές 40-50 dynes/cm, ενώ ο σχηματισμός ιλύος (λάσπης) γίνεται στα 22 dynes/cm.

	Εφδ	Επιφανειακή τάση (dynes/cm)	Περιεχόμενη Υγρασία (ppm)
Λάδι τοποθετημένο σε γυάλινο δοχείο. Έχει εκτεθεί στο φως της ημέρας	0,0031	36	50
Λάδι τοποθετημένο σε δοχείο από αλουμίνιο. Δεν έχει εκτεθεί στο φως της ημέρας	0,001	44	18

Πίνακας III.1-3: Τυπικές τιμές επιφανειακής τάσης και συντελεστή απωλειών (εφδ) ανάλογα με το επίπεδο έκθεσης στον ήλιο, [3] σελ 24.

Ο επόμενος πίνακας δίνει τις τιμές της επιφανειακής τάσης, κάτω από τις οποίες ενδέχεται να υπάρχει υποβάθμιση λαδιού.

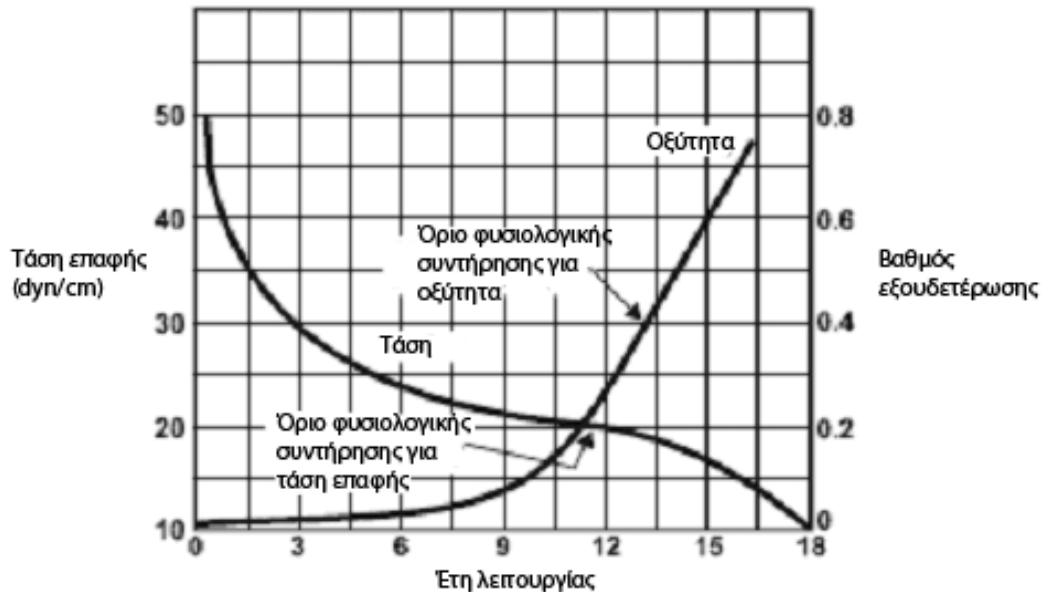
Δοκιμή	Επίπεδο τάσης		
	<69kV	69-288kV	>345kV
Τάση επαφής mN/m (ASTM D971)	24	26	30

Πίνακας III.1-4: Μέγιστες τιμές τάσης επαφής κατά IEEE C57.106

1.3 Βαθμός εξουδετέρωσης [53,3]

Ο βαθμός εξουδετέρωσης αποτελεί μέτρο της οξύτητας του λαδιού. Μαζί με την επιφανειακή τάση δείχνει εάν το μονωτικό λάδι χρειάζεται αναγέννηση. Η μέτρηση η οποία εκτελείται τόσο σε εργαστήριο όσο και επιτόπου με ανεκτή απόκλιση, προσδιορίζει το περιεχόμενο mg KOH/gr λαδιού. Τιμές μεγαλύτερες από 0,3 υποδηλώνουν την παρουσία οργανικών οξέων τα οποία είναι επιβλαβή για το μονωτικό σύστημα. Τα οξέα ενδέχεται να δημιουργούν διάβρωση, αυξάνουν τη

διαλυτότητα του νερού στο λάδι και δρουν καταλυτικώς στη διαδικασία αποσύνθεσης του χαρτιού.



Σχήμα III.1: Σχέση μεταξύ βαθμού εξουδετέρωσης, επιφανειακής τάσης και ετών λειτουργίας. Η καμπύλη δίνει τα όρια φυσιολογικής συντήρησης για την επιφανειακή τάση και τον βαθμό εξουδετέρωσης, [54].

1.4 Συντελεστής ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος αναπαριστά τις διηλεκτρικές απώλειες του λαδιού, λόγω του ρεύματος διαρροής διαμέσω αυτού. Υψηλή τιμή του συντελεστή ισχύος είναι ένδειξη μόλυνσης ή ύπαρξης προϊόντων υποβάθμισης όπως νερό, άνθρακας, μεταλλικοί σάπωνες και προϊόντα οξείδωσης. [3 σελ.17]. Τα εργαστήρια πραγματοποιούν την μέτρηση στους 25°C και 100°C. Η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί και επιτόπου με χρήση φορητού οργάνου.

Το σχετικό πρότυπο IEEE/ANSI C57.106 δεν ορίζει ακριβή όρια για τον συντελεστή ισχύος στα μονωτικά λάδια. Η εταιρία Doble Engineering συστήνει τον επόμενο πίνακα για την εκτίμηση της κατάστασης της μόνωσης ανάλογα με τα αποτελέσματα της δοκιμής, [58,20 σελ.139].

Συντελεστής ισχύος PF	Πιθανή κατάσταση μόνωσης
$PF \leq 0.5\%$	Καλή
$0.5\% < PF \leq 0.7\%$	Επιδεινωμένη
$0.7\% < PF \leq 1.0\%$	Απαιτείται έλεγχος
$1\% < PF$	Κακή

Πίνακας III.1-5: Διάγνωση βάσει του συντελεστή ισχύος

Παρατηρήσεις: [11] παρ.4.6.5.

1. Αν ο συντελεστής ισχύος είναι μεγαλύτερος από 2%, το λάδι πρέπει να απομακρύνεται και να αναγεννάται επειδή υπάρχει αυξημένη πιθανότητα αποτυχίας

2. Αν ο συντελεστής ισχύος είναι μεγαλύτερος από 1%, στους 25°C, το λάδι πρέπει να αντικαθίσταται ή και να αναγεννάται.

1.5 Επιβραδυντές οξείδωσης

Σε προηγούμενες ενότητες αναπτύχθηκε η σημασία της χρήσης αντιοξειδωτικών πρόσθετων στο μονωτικό λάδι. Όπως προαναφέρθηκε ο μετασχηματιστής πρέπει να είναι απαλλαγμένος από την υγρασία και το οξυγόνο. Η υγρασία καταστρέφει την κυτταρίνη σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό, παρουσία οξυγόνου. Τα οξέα που σχηματίζονται χειροτερεύουν την μόνωση και τα διάφορα μέταλλα, παράγοντας ακόμα περισσότερα οξέα. Η αντιμετώπιση αυτού του διαρκούς αυξανόμενου προβλήματος αντιμετωπίζεται με την προσθήκη αντιοξειδωτικών. Αυτά είναι ουσίες που προστίθενται στο λάδι σε συγκεκριμένες ποσότητες και δρουν όπως η θυσιαζόμενη άνοδος στα κυκλώματα γείωσης. Έτσι, το οξυγόνο καταστρέφει το αντιοξειδωτικό αντί για την μόνωση κυτταρίνης. Κατά τη διάρκεια ζωής των μετασχηματιστών, τα πρόσθετα χρησιμοποιούνται και σταδιακά εξαφανίζονται οπότε και πρέπει να αντικαθίστανται. Τα ευρύτερα διαδεδομένα αντιοξειδωτικά μέσα είναι η δι-τριτογενής βουτυλική φαινόλη (DBP) και η δι-τριτογενής βουτυλική παρα-κρεσόλη (DBPC), [56]. Η απαιτούμενη ποσότητα είναι 0,3% του συνολικού βάρους του λαδιού και καθορίζεται από την προδιαγραφή ASTM D3487. Ο υπολογισμός της υπολειπόμενης ποσότητας γίνεται βάσει του προτύπου ASTM D4768-03. Η περιεκτικότητα του αντιοξειδωτικού ελέγχεται κάθε 3-5 χρόνια.

Παράδειγμα υπολογισμού απαιτούμενου αντιοξειδωτικού μέσου σε μετασχηματιστή [11] σελ.63

Εστω ότι μετά από μέτρηση ένας μετασχηματιστής βρέθηκε να έχει 0,1% περιεκτικότητα DBPC. Επειδή ο μετασχηματιστής πρέπει να έχει περιεκτικότητα 0,3%, πρέπει να προστεθεί αντιοξειδωτικό 0,2% του συνολικού βάρους του λαδιού του. Αν θεωρηθεί ότι το βάρος του λαδιού είναι 20000kg (αναγράφεται στην πινακίδα) τότε θα πρέπει να προστεθούν $20000 \cdot 0,002 = 40\text{kg}$ αντιοξειδωτικό μέσο.

1.6 Ανάλυση φουρανίων

Τα υλικά κυτταρίνης υπόκεινται σε γήρανση ως αποτέλεσμα αφενός της θέρμανσης και αφετέρου της παρουσίας νερού και οξυγόνου. Η θερμική γήρανση προκαλεί την παραγωγή-διαλυτών στο λάδι-χημικών ενώσεων [3]. Οι κυριότερες ενώσεις είναι τα φουράνια, το CO και το CO₂. Τα φουράνια δημιουργούνται κυρίως από τη θερμική γήρανση του χαρτιού και σπανίως του λαδιού, ενώ το CO και το CO₂ μπορεί να προέρχονται από το λάδι, τα χρώματα ή και τα βερνίκια, [86]. Τα κυριότερα μέλη της ομάδας των φουρανίων είναι:

1. 2-φουρφοουράλη
2. ασετυλ-φουράνιο
3. 5-μεθυλ-2-φουρφοουράλη
4. 5-υδρομεθυλ-2-φουρφοουράλη
5. φαινόλη
6. φουρικό οξύ

Από αυτά το αέριο φουρφοουράλη ανιχνεύεται σε αφθονία στο λάδι του μετασχηματιστή και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Οι μέθοδοι εκτίμησης των περιεχόμενων στο λάδι φουρανίων υλοποιούνται με δειγματοληψία λαδιού χωρίς να απαιτείται διακοπή της λειτουργίας του μετασχηματιστή. Οι κυριότερες μέθοδοι είναι:

- χρωματογραφία υγρής φάσης
- αεριοχρωματογραφία
- χρωματομετρική μέθοδος ανίχνευσης φουρφουράλης
- χρωματογραφική μέθοδος διαπερατότητας πηκτής

Η επικρατέστερη από τις παραπάνω μεθόδους είναι η χρωματογραφία υγρής φάσης, η οποία περιγράφεται στο πρότυπο ASTM D3612-01. Προς το παρόν δεν υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές που να ορίζουν όρια στις συγκεντρώσεις φουρανίων. Μερικές έρευνες προσανατολίζονται στην ερμηνεία της συγκέντρωσης φουρφουράλης, ενώ άλλες στον προσδιορισμό λόγω άλλων χημικών ενώσεων. Συνεπώς δεν είναι δυνατόν να γίνει διάγνωση και να οργανωθεί συντήρηση, βασιζόμενη στην ανάλυση φουρανίων. Ενδεικτικά δίνονται οι εξής πληροφορίες για τις συγκεντρώσεις φουρανίων.

Τάξη μεγέθους	Αποτελέσματα
Μη ανιχνεύσιμα φουράνια ή συγκεντρώσεις <100ppb	Φυσιολογική λειτουργία μετασχηματιστή
συγκεντρώσεις τουλάχιστον 100ppb με τάσεις αύξησης	Σημαντική θερμική ζημιά επιβεβαιωμένη από οπτικό έλεγχο
συγκεντρώσεις >250ppb	Υποβαθμισμένο χαρτί-απαραίτητος έλεγχος
70ppm	Ακραία περίπτωση

Πίνακας III.1-6: Συσχέτιση λειτουργίας μετασχηματιστή με φουράνια ([10] σελ.6-35, ανάλυση Φουρανίων)

1.7 Χρώμα

Το μονωτικό λάδι πρέπει να είναι οσό το δυνατόν πιο ανοιχτόχρωμο και καθαρό. Κάθε μεταβολή του χρώματος κατά τη διάρκεια του χρόνου υποδηλώνει υποβάθμιση ή ρύπανση του μονωτικού λαδιού. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται για την κατάταξη του λαδιού καθορίζεται από το πρότυπο ASTM D1500-98. Κατά τη δοκιμή γίνεται σύγκριση με έγχρωμα τυποποιημένα γυαλιά (ή σπανιότερα με γυάλινους κυλίνδρους), τα οποία έχουν αρίθμηση 0,5-8. Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο σχεδόν διαφανές λάδι (καινούριο) ενώ ο αριθμός 8 στο σχεδόν μαύρο λάδι (άχρηστο).

2. Έλεγχος συστήματος μόνωσης

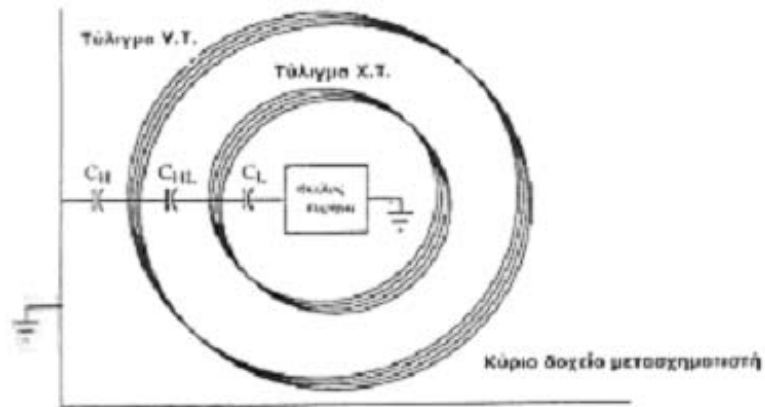
2.1 Αντίσταση μόνωσης

Η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης προσδιορίζει την ποιότητα της μόνωσης του μετασχηματιστή. Η μέθοδος μέτρησης και τα επιτρεπόμενα όρια έχουν αναπτυχθεί στο πρώτο κεφάλαιο στην παράγραφο των ποιοτικών ελέγχων (παράγραφος I.4.4.2).

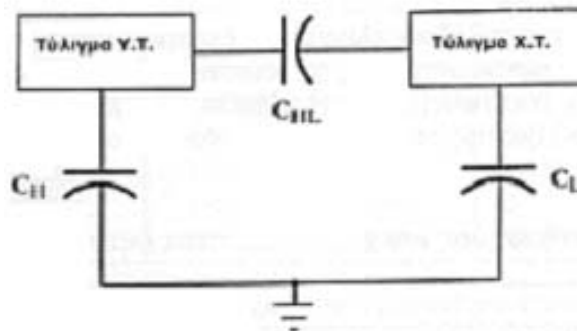
2.2 Συντελεστής ισχύος

2.2.1 Ισοδύναμο κύκλωμα μονώσεων

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός μετασχηματιστή φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Σε αυτό σημειώνονται οι διάφορες χωρητικότητες ανάμεσα στον πυρήνα, τα τυλίγματα και τη δεξαμενή για τη μία φάση.



Σχήμα III.2-1: Αναπαράσταση της μίας από τις τρεις φάσεις [3], σχ. IV 3.



Σχήμα III.2-2: Ισοδύναμο κύκλωμα δύο τυλιγμάτων μίας φάσης [3], σχ. IV 4.

Οι χωρητικότητες ορίζονται ως εξής:

C_H : Αναπαριστά τη μόνωση μεταξύ του τυλίγματος υψηλής τάσης και της γειωμένης δεξαμενής. Συμπεριλαμβάνει τους μονωτήρες διέλευσης υψηλής τάσης, τα δομικά στοιχεία και το μονωτικό λάδι.

C_L : Αναπαριστά τη μόνωση μεταξύ του τυλίγματος χαμηλής τάσης και του γειωμένου πυρήνα. Συμπεριλαμβάνει τους μονωτήρες διέλευσης χαμηλής τάσης, τη μόνωση του μεταγωγέα λήψεων και το μονωτικό λάδι.

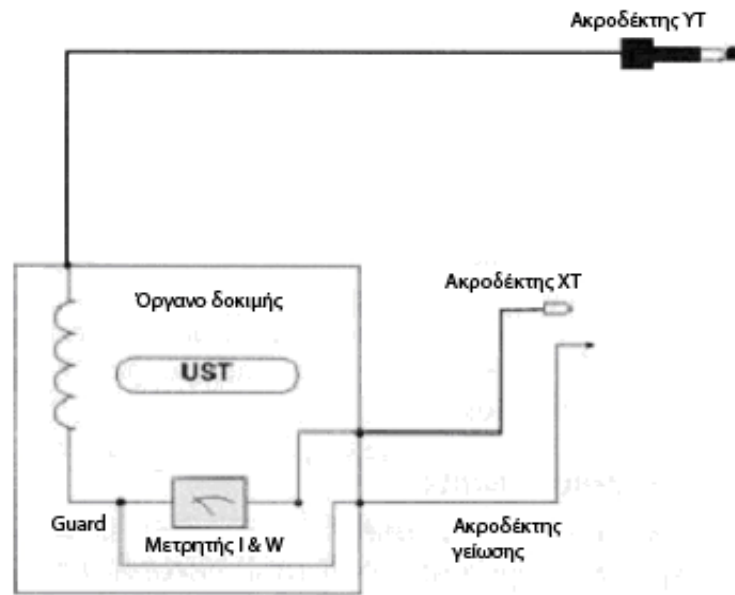
C_{HL} : Αναπαριστά τη μόνωση μεταξύ των τυλιγμάτων υψηλής και χαμηλής τάσης.

2.2.2 Συνδεσμολογίες

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι μέτρησης ανάλογα με τη συνδεσμολογία του οργάνου. Η κατανόηση τους είναι απαραίτητη ώστε κάθε φορά να χρησιμοποιείται η κατάλληλη. Αυτές χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της μόνωσης του μετασχηματιστή και των μονωτήρων διέλευσης.

Το όργανο μέτρησης διαθέτει τρεις ακροδέκτες: τον ακροδέκτη υψηλής τάσης, τον ακροδέκτη μέτρησης και τον ακροδέκτη γείωσης. Στη συνέχεια περιγράφονται οι τρεις θέσεις σύνδεσης των ακροδεκτών:

- UST: Σε αυτήν τη διαμόρφωση μετράται το ρεύμα που διαρρέει τη μόνωση ανάμεσα στους ακροδέκτες υψηλής τάσης και μέτρησης του οργάνου. Ο ακροδέκτης μέτρησης συνδέεται στην είσοδο του οργάνου. Ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στη θέση guard, με αποτέλεσμα τα ρεύματα που τον διαρρέουν να μην μετρώνται.
- GST: Σε αυτήν τη διαμόρφωση μετρώνται όλα τα ρεύματα που διαρρέουν τη μόνωση ανάμεσα στον ακροδέκτη υψηλής τάσης του οργάνου και της γης. Ο ακροδέκτης μέτρησης και ο ακροδέκτης γείωσης συνδέονται στην είσοδο του οργάνου.
- GSTg: Σε αυτήν τη διαμόρφωση μετράται μόνο το ρεύμα διαρροής ανάμεσα στον ακροδέκτη υψηλής τάσης προς γη. Ο ακροδέκτης μέτρησης συνδέεται στη θέση guard. Ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στην είσοδο του οργάνου.



Σχήμα III.2-3: Όργανο εκτίμησης μόνωσης σε συνδεσμολογία USTg. Διακρίνονται οι ακροδέκτες: υψηλής τάσης, χαμηλής τάσης και γείωσης. Ο ακροδέκτης γείωσης βρίσκεται στη θέση guard οπότε το ρεύμα που τον διαρρέει δεν μετράται, [20] (σχ.3-39 χωρίς τον μονωτήρα διέλευσης).

Για έναν μετασχηματιστή με δύο τυλίγματα, υπάρχουν έξι διαφορετικές δοκιμές εκτίμησης της μόνωσης. Σε κάθε δοκιμή εφαρμόζεται υψηλή τάση στο ένα τύλιγμα και μετράται το ρεύμα στο άλλο. Επίσης, ο ακροδέκτης της γείωσης συνδέεται στο όργανο μέτρησης. Ο πίνακας που ακολουθεί δίνει την συνδεση των ακροδεκτών του οργάνου για την υλοποίηση των δοκιμών. Επίσης αναφέρεται ποια χωρητικότητα μετράται σε κάθε μία από τις δοκιμές.

Συνδεσμολογία οργάνου	Τύλιγμα υψηλής τάσης	Τύλιγμα χαμηλής τάσης	Δεξαμενή/πυρήνας	Μετρούμενη χωρητικότητα
GSTg	Ακροδέκτης ΥΤ	Ακροδέκτης μέτρησης	Ακροδέκτης γείωσης	$C_H + C_{HL}$

GSTg	Ακροδέκτης YT	Ακροδέκτης μέτρησης (θέση guard)	Ακροδέκτης γείωσης	C_H
GSTg	Ακροδέκτης YT	Ακροδέκτης μέτρησης	Ακροδέκτης γείωσης (θέση guard)	C_{HL}
GSTg	Ακροδέκτης μέτρησης	Ακροδέκτης YT	Ακροδέκτης γείωσης	C_L+C_{HL}
GSTg	Ακροδέκτης μέτρησης (θέση guard)	Ακροδέκτης YT	Ακροδέκτης γείωσης	C_L
GSTg	Ακροδέκτης μέτρησης	Ακροδέκτης YT	Ακροδέκτης γείωσης (θέση guard)	C_{HL}

Πίνακας III.2: Συνδεσμολογίες μετρήσης συντελεστή ισχύος

3. Θερμογραφικός έλεγχος

Η θερμογραφική ανάλυση είναι μια μέθοδος ελέγχου του ηλεκτρικού και μηχανολογικού εξοπλισμού μέσω απεικόνισης της κατανομής θερμότητας. Βασίζεται στην αρχή ότι τα περισσότερα εξαρτήματα ενός συστήματος παρουσιάζουν αύξηση της θερμοκρασίας τους σε περίπτωση δυσλειτουργίας. Τυχόν τοπικά προβλήματα που οφείλονται σε μεταβολή της ωμικής αντίστασης, καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν θερμότητα. Έτσι, η τοπική θερμοκρασία ενός θερμού σημείου θα είναι υψηλότερη σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο ή ένα προκαθορισμένο σημείο αναφοράς. Παρατηρώντας τα θερμογραφήματα του εξοπλισμού, εντοπίζονται χαλαρές συνδέσεις, ασύμμετρη φόρτιση, συνθήκες υπερφόρτισης, φθορά και άλλα προβλήματα υλικού. Η θερμογραφία καλείται επίσης υπέρυθρη ραδιομετρία ή υπέρυθρη σάρωση ή σάρωση θερμοκρασιών. Το όργανο που χρησιμοποιείται είναι η θερμογραφική κάμερα ή αλλιώς θερμοκάμερα.



Σχήμα III.3-1: Θερμογραφική κάμερα, [57].

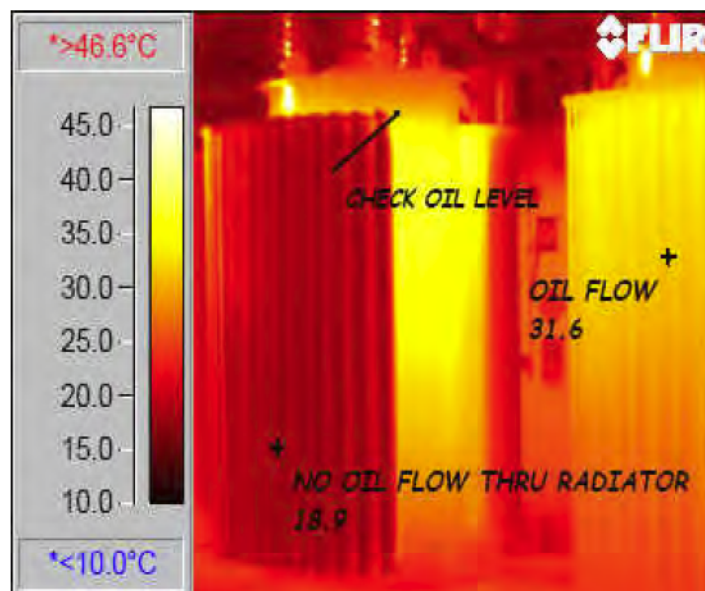
Πρόκειται για μια συσκευή υψηλής τεχνολογίας η οποία καταγράφει την φυσική υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει ένα θερμό σώμα, και στη συνέχεια παράγει μια θερμική απεικόνιση. Οι σύγχρονες κάμερες είναι εύκολες στον χειρισμό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενώ ο εξεταζόμενος εξοπλισμός βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία. Αυτό είναι σημαντικό διότι αποφεύγεται η διακοπή της ηλεκτρικής τροφοδότησής του, με το αντίστοιχο οικονομικό όφελος. Όταν διεξάγεται ένας θερμογραφικός έλεγχος, τα σφάλματα εντοπίζονται μέσω της σύγκρισης θερμικών δειγμάτων σε παρόμοια εξαρτήματα, αλλά υπό διαφορετικό φορτίο. Συνήθως οι κάμερες συνοδεύονται από το αντίστοιχο λογισμικό, με το οποίο πραγματοποιείται ανάλυση της θερμικής ταυτότητας του εξοπλισμού. Αρχικά ορίζεται ένα σημείο αναφοράς στο οποίο αντιστοιχίζεται η «φυσιολογική θερμοκρασία». Η θερμοκρασία κάθε άλλου σημείου συγκρίνεται και εκτιμάται βάσει της διαφοράς με τη θερμοκρασία αναφοράς. Η διαφορά αυτή, καλείται ανύψωση θερμοκρασίας. Υπάρχουν οδηγίες σχετικά με τον χαρακτηρισμό των ανυψώσεων θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, κατά την διεξαγωγή δοκιμής θερμοκρασίας ανύψωσης σε μετασχηματιστές, η συνιστώμενη διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας της δεξαμενής σε σχέση με το άνω στρώμα λαδιού δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 20°C (IEEE C57.119-2001 “Recommended Practice for performing temperature rise tests”).

Η έκθεση του EPRI “Guidelines for the Life Extension Of Substations” περιλαμβάνει οδηγίες σχετικά με τη θερμογραφική ανάλυση. Η θερμογραφία θεωρείται από πολλούς ως η ευκολότερη και πιο παραγωγική μέθοδος ανίχνευσης προβλημάτων τάσης προτού αυτά προκαλέσουν σφάλματα.

Παραδείγματα χρήσης θερμογραφικής εκτίμησης σε μετασχηματιστές ισχύος

3.1 Εφαρμογή σε δεξαμενές

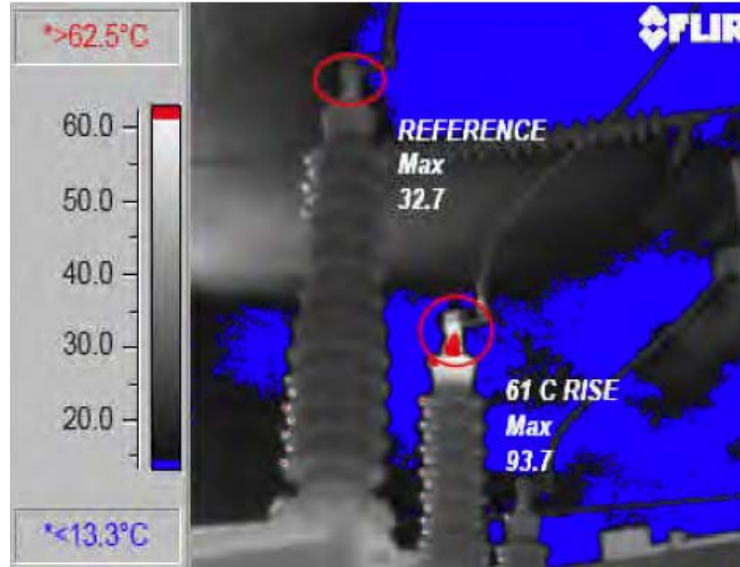
Αν ένας μετασχηματιστής έχει χαμηλή στάθμη ελαίου, ένα θερμογράφημα θα δείξει σκοτεινή εικόνα για το τμήμα χωρίς λάδι και μια πολύ φωτεινότερη για το τμήμα που περιέχει λάδι



Σχήμα III.3-2: Διαφορά θερμοκρασίας σε σημείο με ροή λαδιού (31,6°C) έναντι σημείου χωρίς ροή λαδιού (18,9°C), [20] σχ.3-34.

3.2 Εφαρμογή σε μονωτήρες διέλευσης

Αν ένας ακροδέκτης μονωτήρα διέλευσης έχει χαλαρή σύνδεση με αγωγό (ή τις μπάρες), υπό συνθήκες φόρτισης θα προκληθεί υπερθέρμανση.. Το θερμογράφημα θα εμφανίζει τον ακροδέκτη θερμότερο από το κυρίως σώμα της πορσελάνης.

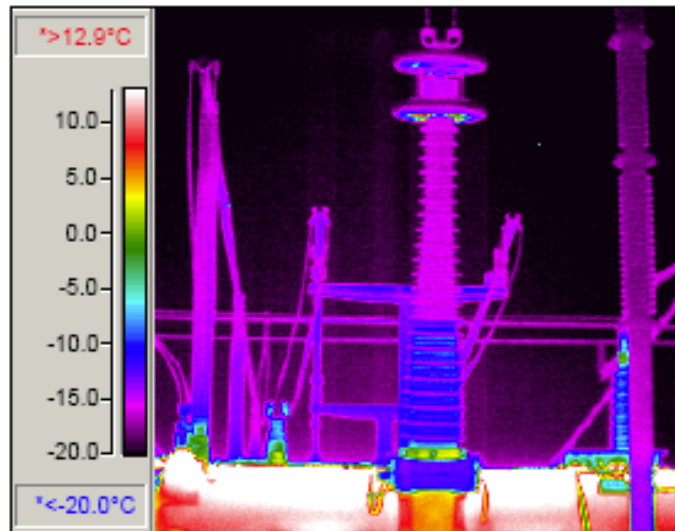


Σχήμα III.3-3: Υπερθέρμανση ακροδέκτη μονωτήρα διέλευσης, [20] σχ.3-31.

Οι θερμογραφικές σαρώσεις μπορούν να εμφανίσουν χαμηλές στάθμες λαδιού, πράγμα που σημαίνει αναγκαιότητα άμεσης απενεργοποίησης και αντικατάστασής τους. Αυτό ενδεχεται να οφείλεται στο ότι η στεγανοποίηση στο κάτω τμήμα του μονωτήρα έχει πρόβλημα, με διαρροή προς το εσωτερικό του μετασχηματιστή. Η στεγανοποίηση στο άνω τμήμα μπορεί να έχει και αυτή πρόβλημα, επιτρέποντας στον αέρα και την υγρασία να εισχωρήσει στο εσωτερικό του (μονωτήρα). Γενικά η υψηλή στάθμη λαδιού, υποδηλώνει ότι η στεγανοποίηση στο κάτω τμήμα του μονωτήρα έχει πρόβλημα

Η πλειοψηφία των σφαλμάτων σε μονωτήρες διέλευσης οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας από το άνω τμήμα, [43] σελ. 31. Είναι σημαντικό να συγκρίνουμε με προηγούμενα θερμογραφήματα που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στον ίδιο μονωτήρα. Σε περιπτώσεις σφάλματος τα αποτελέσματα μπορεί να είναι καταστροφικά για τον μετασχηματιστή, τον κεντρικό διακόπτη ή ακόμη και τους εργαζόμενους.

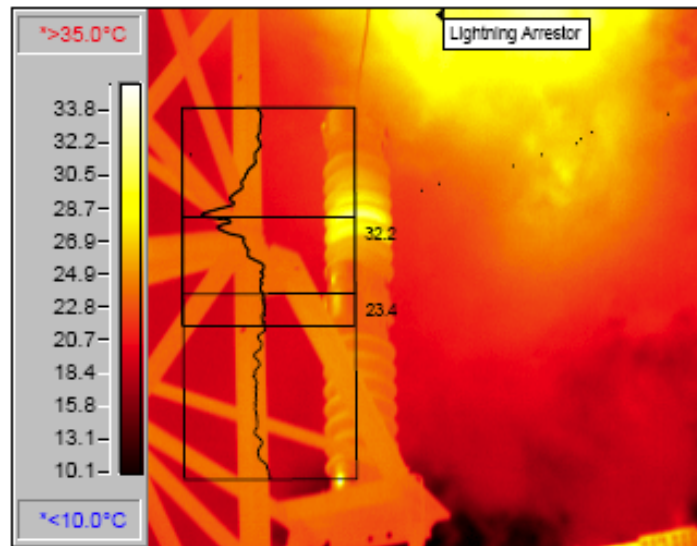
Η δοκιμή θερμού κολάρου μπορεί να εντοπίσει την εισχώρηση υγρασίας. Ωστόσο έχει τα μειονεκτήματα ότι δεν πραγματοποιείται συχνά, ότι ο μετασχηματιστής πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας και ότι οι αγωγοί σύνδεσης στο πρωτεύον και δευτερεύον πρέπει να απομακρυνθούν.



Σχήμα III.3-4: Στάθμη λαδιού σε μονωτήρα διέλευσης, [43] σχ.16.

3.3 Εφαρμογή σε αλεξικέραυνα

Όταν τα εσωτερικά εξαρτήματα ενός αλεξικέραυνου μολύνονται με υγρασία εξαιτίας κακής στεγανοποίησης ή ελαττωμάτων της πορσελάνης, η εσωτερική αντίσταση αυξάνεται. Ανάλογα με το βαθμό της μόλυνσης, ορισμένα τμήματα μπορεί να εμφανίσουν τοπικές υπερθερμάνσεις. Έτσι, οι περιοχές με υγρασία θα εμφανίζονται πιο σκοτεινές.



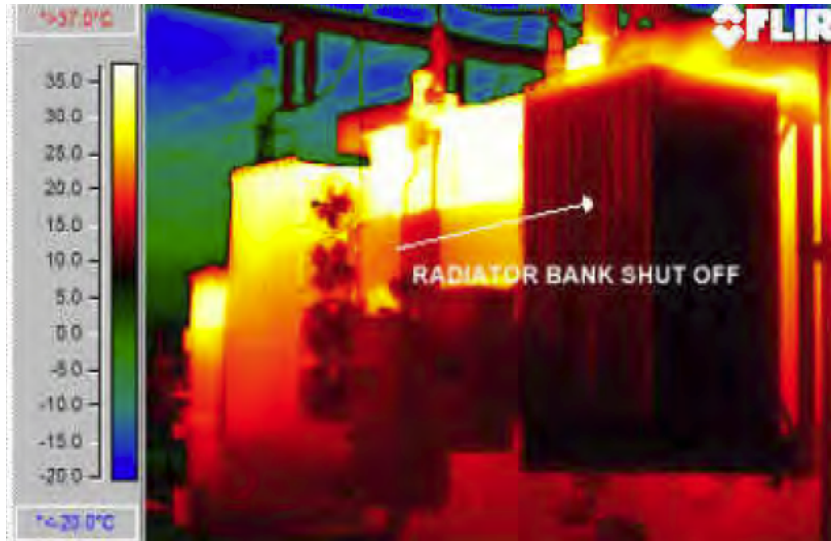
Σχήμα III.3-5: Ελαττωματικό αλεξικέραυνο, [43] σχ.15.

Παρατηρείται ότι στο θερμογράφημα του σχήματος, το αλεξικέραυνο εμφανίζει ένα ασυνήθιστο φωτεινό κίτρινο σημείο (περίπου στο 1/3 του μήκους από το πάνω άκρο), [43] παρ.10.2. Μια τέτοια ένδειξη θα σήμαινε αναγκαιότητα άμεσης απενεργοποίησης και αντικατάστασής του. Σε περιπτώσεις σφάλματος τα αποτελέσματα μπορεί να είναι καταστροφικά για τον γειτονικό εξοπλισμό ή ακόμη και το ίδιο το προσωπικό. Είναι σημαντικό τα αποτελέσματα να

συγκρίνονται με προηγούμενα θερμογραφήματα που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στο ίδιο αλεξικέρανο. Έτσι προκύπτουν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα και δημιουργείται ιστορικό για μεταγενέστερες συγκρίσεις.

3.4 Εφαρμογή σε ψυγεία

Σε περίπτωση που υπάρχει μια βλάβη η οποία παρεμποδίζει ή σταματά τη ροή του λαδιού μέσα από ένα ψυγείο θα απεικονισθεί ως εξής. Οι σκοτεινές περιοχές θα υποδηλώνουν περιορισμένη ροή λαδιού ενώ οι φωτεινότερες μια φυσιολογική ροή.

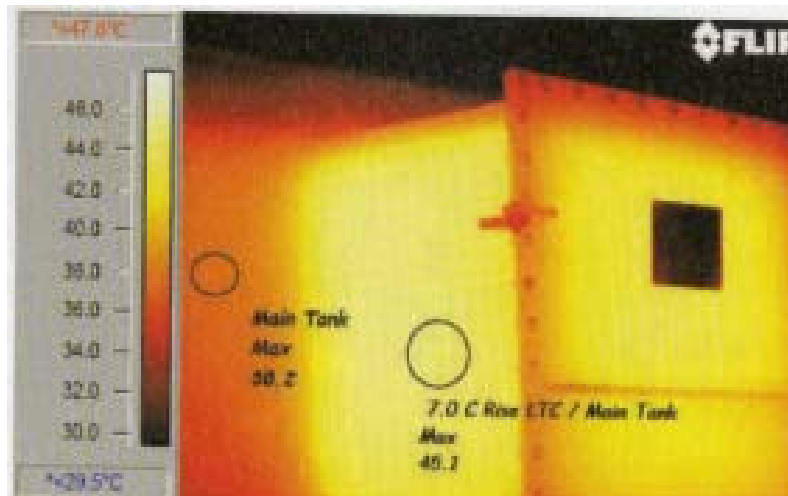


Σχήμα III.3-6: Μονάδα ψύξης που δεν λειτουργεί, [20] σχ.3-32.

Το θερμογράφημα στο σύστημα ψύξης, δίνει στοιχεία για κλειστές βάνες ή φραγμένες σωληνώσεις. Ένας μετασχηματιστής δεν πρέπει να λειτουργεί με μειωμένη ψύξη, αφού κάτι τέτοιο μειώνει τη διάρκεια ζωής του. Όπως έχει προαναφερθεί, μια αύξηση θερμοκρασίας της τάξεως των 6-8°C επιφέρει μείωση της διάρκειας ζωής του κατά 50% [52, 43 σελ.31]. Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι πρέπει να λαμβάνονται θερμογραφήματα από όλο τον εξοπλισμό του συστήματος ψύξης, όπως εναλλάκτες θερμότητας, ανεμιστήρες, αντλίες και κινητήρες. Επίσης, έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται και στους αντίστοιχους ηλεκτρικούς πίνακες, ώστε να εντοπίζονται υπερφορτίσεις αγωγών, χαλαρές συνδέσεις και υπερθερμαμένα ρελέ.

3.5 Εφαρμογή σε μεταγωγέα λήψεων

Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας, οι απώλειες χαλκού και τα δινορεύματα προκαλούν στην κυρίως δεξαμενή έκλυση θερμότητας, μεγαλύτερη από αυτή που αναπτύσσεται στο διαμέρισμα του μεταγωγέα, [20] σελ.139. Πιο συγκεκριμένα όταν δεν υπάρχει μεταβολή λήψεων, η θερμότητα στον μεταγωγέα πρέπει να είναι αμελητέα. Εάν δημιουργηθούν θερμά σημεία στον τελευταίο, αυτά θα αυξήσουν τη θερμοκρασία σε τέτοιο βαθμό, που πιθανότατα θα υπερβεί την θερμοκρασία της κυρίως δεξαμενής. Μια τέτοια κατάσταση απεικονίζεται στο επόμενο θερμογράφημα, όπου ο μηχανισμός εμφανίζει φωτεινότερο χρώμα.



Σχήμα ΠΙ.3-7: Διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην κυρίως δεξαμενή (30,2°C) και τον μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο (45,1°C), [20] σχ.3-33.

4. Εξωτερικός οπτικός έλεγχος-δεξαμενή

Ο εξωτερικός οπτικός έλεγχος είναι μια αποτελεσματική μέθοδος εντοπισμού προβλημάτων ενώ αυτά βρίσκονται σε πρώιμο ακόμα στάδιο. Με αυτόν εκτιμάται η κατάσταση του εξοπλισμού και οργανώνεται η απαιτούμενη συντήρηση. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης θα πρέπει να ελέγχονται τα εξής βασικά σημεία:

- λάδια χυμένα στη δεξαμενή
- παρουσία θερμών σημείων/αποχρωματισμός μετάλλων
- ζημιά σε μονωτήρες διέλευσης, αλεξικέραυνα ή και στο σύστημα ψύξης
- επαλήθευση σωστής στάθμης λαδιού (για δεξαμενή και μονωτήρες διέλευσης)
- οπτικός έλεγχος αφυγραντή
- φυσιολογική ένδειξη θερμοκρασίας
- θετική πίεση αερίου (για μετασχηματιστή με στρώμα αζώτου)
- ύπαρξη αερίων στον ηλεκτρονόμο Buchholz
- επαλήθευση των σημάνσεων, καθώς και των ρυθμίσεων ελέγχου και διακοπής
- επαλήθευση σωστής λειτουργίας ανεμιστήρων και αντλιών
- αναφορά για ασυνήθιστους θόρυβους

Όταν μια επιφάνεια παρουσιάζει φθορά στο χρώμα, πρέπει να βάφεται αφού προηγουμένως έχει καθαριστεί από σκουριά, ρύπανση και γράσο και στη συνέχεια έχει επικαλυφθεί με αστάρι. Το τελικό πάχος της βαφής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το πάχος του αρχικού χρώματος. Οι επιψευδαργυρωμένες επιφάνειες έχουν το χαρακτηριστικό να αυτοπροστατεύονται λόγω του στρώματος επικάλυψης που δημιουργεί ο ψευδάργυρος. Για αυτό το λόγο οι μικρές γρατσουνιές δεν χρήζουν επιδιορθωτικής βαφής. Οι προδιαγραφές της ΔΕΗ απαιτούν ο μετασχηματιστής και τα ψυκτικά σώματα να βάφονται με χρώμα γκρι, RAL 7040 και πάχους 120μm±20μm.

Φαινόμενο Corona [10] σελ.7-7

Μερικοί από τους παραπάνω ελέγχους ενδέχεται να απαιτούν μεγενθυντικό φακό, αφού η οπτική παρατήρηση μπορεί να μην είναι επαρκής. Το φαινόμενο Corona (ιονισμός του αέρα) μπορεί να είναι ορατό κατά τις βραδινές ώρες, ιδιαίτερα τις μέρες με βροχή, ομίχλη ή υψηλή

υγρασία. Η Corona φυσιολογικά συμβαίνει στο πάνω τμήμα του μονωτήρα. Ωστόσο, καθώς η ρύπανση του μονωτήρα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο, εμφανίζεται ερπυσμός όλο και πιο χαμηλά, [10] σελ.7-7. Σε αυτή την περίπτωση, ο μονωτήρας θα πρέπει να ελεγχθεί και να καθαρισθεί, και να πραγματοποιηθεί δοκιμή συντελεστή ισχύος το συντομότερο. Το όργανο μέσω το οποίου μπορούν να παρατηρηθούν χαμηλά επίπεδα του φαινομένου, ονομάζεται Corona-σκόπιο.

5. Μονωτήρες διέλευσης

5.1 Συντελεστής ισχύος (Συνθ)

Η μέτρηση του συντελεστή ισχύος της μόνωσης των μονωτήρων διέλευσης δίνει το επίπεδο μόλυνσης ή υποβάθμισής της. Οι συσκευές ελέγχου έχουν τη δυνατότητα μέτρησης και άλλων συναφών μεγεθών όπως οι διηλεκτρικές απώλειες και η χωρητικότητα. Έχει καθιερωθεί οι επιτόπου μετρήσεις του συντελεστή ισχύος, των διηλεκτρικών απωλειών και της χωρητικότητας να ονομάζονται δοκιμές Doble. Η μέτρηση προσδιορίζει εσωτερικές βλάβες σε ηλεκτρικά μηχανήματα, διατάξεις και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Σε ιδανικές συνθήκες ο συντελεστής ισχύος είναι ίσος με μηδέν. Οι αποκλίσεις από την τιμή αυτή οφείλονται στην υποβάθμιση των μονωτικών υλικών.

Ο μονωτήρας διέλευσης θεωρείται ότι διαθέτει την κύρια μόνωση που είναι η μόνωση του πυρήνα, και την μόνωση της λήψης. Η τελευταία αποτελείται από τη μόνωση του μονωτήρα λήψης, του πυρήνα μεταξύ στρώσης και γης, και μέρους του μονωτικού υλικού.

Ο πίνακας που ακολουθεί δίνει τις μετρήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν στους μονωτήρες διέλευσης

Συνδεσμολογία οργάνου	Κεντρικός αγωγός (πυρήνας)	Λήψη τάσης/δοκιμής συντελεστή ισχύος	Φλάντζα	Μετρούμενη χωρητικότητα	Μόνωση που εμπλέκεται
UST	Ακροδέκτης YT	Ακροδέκτης μέτρησης	Ακροδέκτης γείωσης	C ₁	Κύρια μόνωση
GSTg	Ακροδέκτης μέτρησης (θέση guard)	Ακροδέκτης YT	Ακροδέκτης γείωσης	C ₂	Μόνωση λήψης

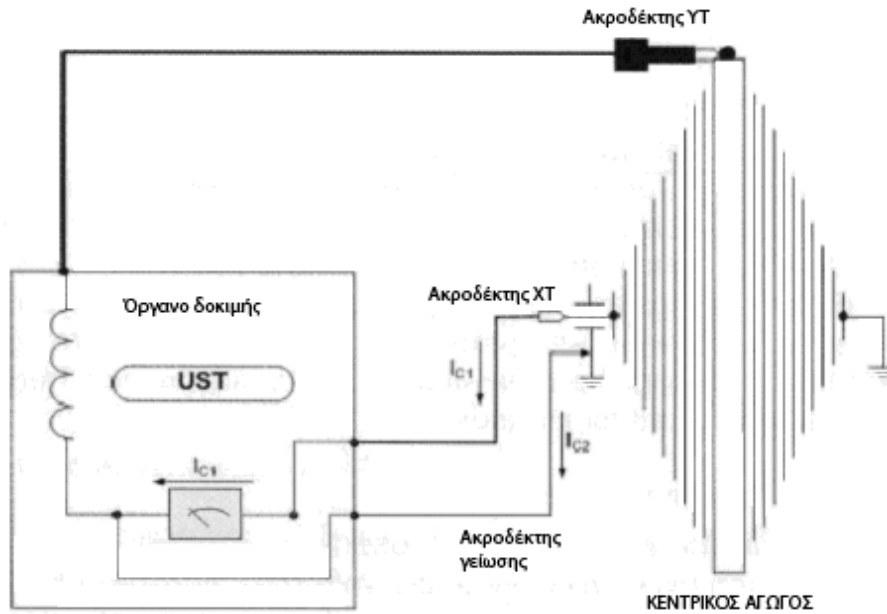
Πίνακας III.5: Συνδεσμολογίες μέτρησης συντελεστή ισχύος σε μονωτήρες διέλευσης, [20] πιν.3-35.

Κατά την διεξαγωγή μετρήσεων του συντελεστή ισχύος σε μονωτήρες διέλευσης, λαμβάνονται τα εξής βήματα [20] σελ. 157:

- α) Βραχυκύκλωση του τυλίγματος στο οποίο γίνεται η μέτρηση.
- β) Καθαρισμός των μονωτήρων ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιδράσεις από ρεύματα ερπυσμού.
- γ) Γείωση των απέναντι τυλιγμάτων.
- δ) Απομάκρυνση του καλύματος του ακροδέκτη λήψης.
- ε) Υλοποίηση της μέτρησης της χωρητικότητας C₁ σε συνδεσμολογία UST.
- στ) Υλοποίηση της μέτρησης της χωρητικότητας C₂ σε συνδεσμολογία GST.

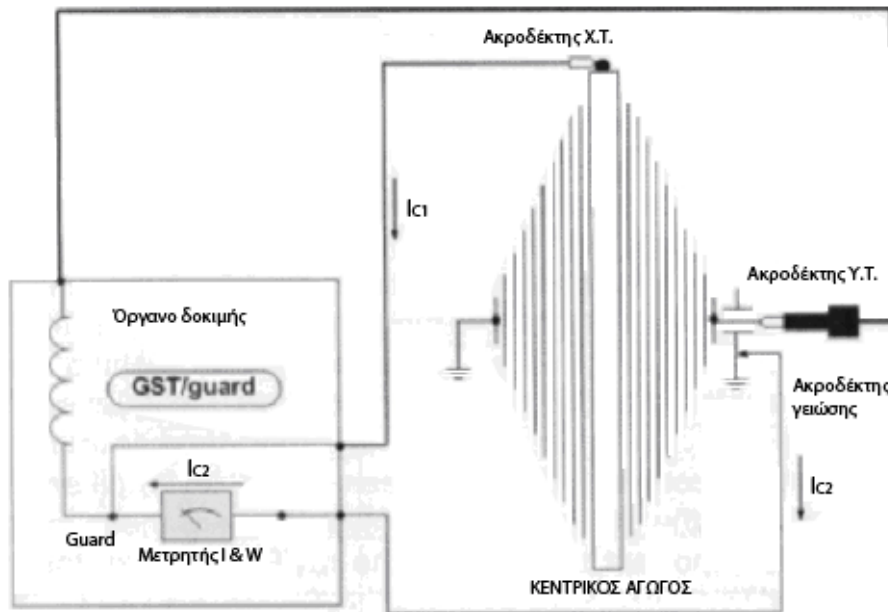
ζ) Επαναφορά του καλύματος του ακροδέκτη λήψης

5.1.1 Μέτρηση κύριας μόνωσης C_1

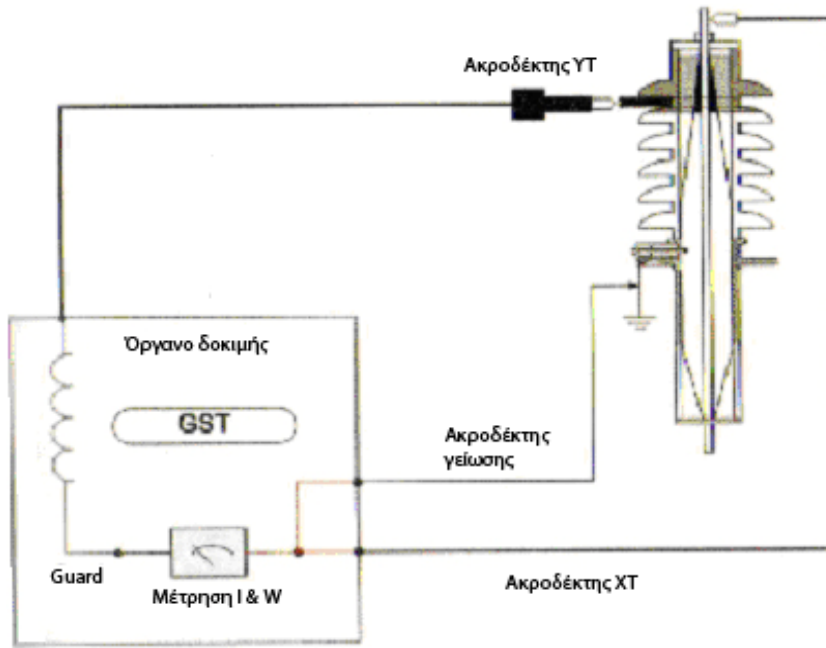


Σχήμα III.5-1: Μέτρηση συντελεστή ισχύος για τη κύρια μόνωση (χωρητικότητα C_1)
Χρησιμοποιούμενη συνδεσμολογία UST, [20] σχ.3-39.

5.1.2 Μέτρηση μόνωσης C_2



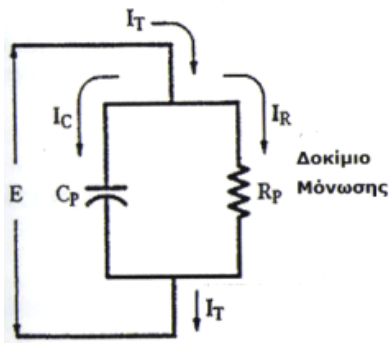
Σχήμα III.5-2: Μέτρηση συντελεστή ισχύος για τη κύρια μόνωση (χωρητικότητα C_2)
Χρησιμοποιούμενη συνδεσμολογία GST, [20] σχ.3-40.



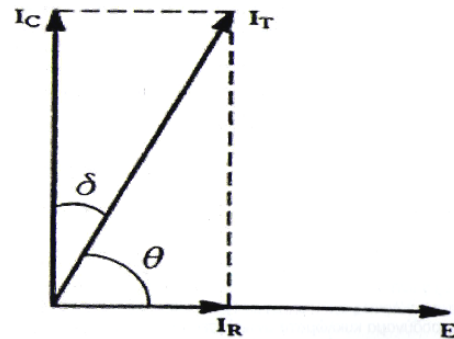
Σχήμα III.5-4: Μέτρηση συντελεστή ισχύος θερμού κολάρου με συνδεσμολογία GST, [20] σχ.3-42.

5.2 Συντελεστής απωλειών

Με τη μέτρηση του συντελεστή απωλειών (εφδ) εκτιμάται το ρεύμα διαρροής διαμέσω του λαδιού. Το ρεύμα διαρροής είναι μέτρο της μόλυνσης και δίνει την κατάσταση των μονωτικών του ιδιοτήτων. Σε όλες τις πρακτικές εφαρμογές ο συντελεστής ισχύος ταυτίζεται με το συντελεστή απωλειών μέχρι την τιμή 0,1. Από την τιμή 0,1 και πάνω οι δύο συντελεστές έχουν απόκλιση μέχρι 30%. Η τιμή της εφδ συμπίπτει με τον συντελεστή ισχύος, εφόσον η γωνία δ είναι μικρότερη από 10 μοίρες, [3] σελ.17. Η πλειονότητα των δοκιμών μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση οποιουδήποτε από τους παραπάνω συντελεστές. Γενικά η μόνωση μπορεί να αναπαρασταθεί με το κύκλωμα του σχήματος III-3, δηλαδή ως μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με μια αντίσταση. Οι σχέσεις μεταξύ των αναπτυσσόμενων ρευμάτων δίνονται στο σχήμα III-4 ([3] σχήματα IV 1 και IV 2 αντιστοίχως).



Σχήμα III.5-5. Σχηματική παράσταση μόνωσης



Σχήμα III.5-6. Διανυσματικό διάγραμμα

Όπου: E: η εφαρμοζόμενη τάση δοκιμής στη μόνωση
Cp: η ισοδύναμη παράλληλη χωρητικότητα
Rp: η ισοδύναμη παράλληλη αντίσταση
It: η συνολική ένταση που διαπερνά τη μόνωση λόγω της E
Ic: η κάθετη συνιστώσα (χωρητική συνιστώσα) του I_T
Ir: η ομοπολική συνιστώσα (ενεργός συνιστώσα) του I_T
ή συνιστώσα απωλειών του I_T
θ: η φασική γωνία του διηλεκτρικού
δ: η γωνία διηλεκτρικών απωλειών

Ο συντελεστής ισχύος (Σ.Ι.) και ο συντελεστής απωλειών (Σ.Α.) συνδέονται μεταξύ τους με τις σχέσεις:

$$(\Sigma.I.) = \frac{(\Sigma.A.)}{\sqrt{1 + (\Sigma.A.)^2}} \Rightarrow (\Sigma.A.) = \frac{(\Sigma.I.)}{\sqrt{1 - (\Sigma.I.)^2}}$$

Παρατηρήσεις:

1. Εκτός από τους μετασχηματιστές, η μέτρηση της εφδ εκτελείται και σε άλλο ηλεκτρικό εξοπλισμό όπως καλώδια και διακόπτες με μόνωση λαδιού.
2. Η περιοχή δυνατών τιμών του Σ.Ι. είναι μεταξύ 0 και 1. Μια μόνωση με Σ.Ι.=0 είναι καθαρά χωρητική δηλαδή δεν έχει απώλειες, ενώ μια μόνωση με Σ.Ι.=1 είναι καθαρά ωμική. Στην περίπτωση αυτή ο Σ.Α. απειρίζεται, αποτελώντας μη καλή ένδειξη της κατάστασης της μόνωσης.

5.3 Διηλεκτρικές απώλειες

Οι διηλεκτρικές απώλειες των διαφόρων τμημάτων ενός μονωτήρα διέλευσης προσδιορίζονται με την εφαρμογή τοπικών καταπονήσεων μέσω της δοκιμής θερμού κολάρου. Η δοκιμή προσδιορίζει τις απώλειες στο τμήμα του μονωτήρα που βρίσκεται κάτω από το κολλάρο. Η Megger δίνει τα επόμενα όρια και οδηγίες [58]:

Απώλειες <100mW → μονωτήρας αποδεκτός

Απώλειες >100mW → μονωτήρας μη αποδεκτός

Αν οι απώλειες βρίσκονται σε μη αποδεκτά επίπεδα ενδέχεται να χρειάζεται καθαρισμός της επιφάνειας του μονωτήρα διέλευσης. Οι διαρροές στην επιφάνεια του ελαχιστοποιούνται με καθαρισμό, στέγνωμα και εφαρμογή λεπτού στρώματος γράσου (Dow Corning #4 ή ομοίου), [58] σελ.7.

5.4 Μέθοδος των διαλυμένων αερίων

Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μονωτήρες διέλευσης που περιέχουν λάδι. Η δειγματοληψία λαδιού δεν συστήνεται από τους κατασκευαστές, επειδή το άνοιγμα του μονωτήρα καταργεί την αρχική συμπίεση και στεγανοποίηση που έχει γίνει από το εργοστάσιο. Ωστόσο, σε περίπτωση εμφάνισης προβλήματος όπως για παράδειγμα υψηλή τιμή της χωρητικότητας C₁, μπορεί να πραγματοποιηθεί έλεγχος των διαλυμένων αερίων και ερμηνεία των αποτελεσμάτων με βάση τον κανονισμό IEC 61464.

6. Εναλλάκτης θερμότητας

Η λειτουργία του εναλλάκτη καθορίζει την ανύψωση θερμοκρασίας. Ο πυρήνας και τα τυλίγματα εκλύουν θερμότητα μέσα στο λάδι, αυξάνοντας την θερμοκρασία αυτού. Το πόσο μεγάλη θα είναι αυτή η ανύψωση καθορίζεται από την απόδοση του εναλλάκτη. Η μείωση της απόδοσης σε έναν εναλλάκτη μπορεί να προέλθει από την ρυπαρότητα (σκόνη, βρωμιά) των επιφανειών ψύξεως. Η θερμογραφία μπορεί να καταδείξει θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τα φυσιολογικά όρια. Οι εναλλάκτες πρέπει να καθαρίζονται τακτικά. Όταν διαθέτουν πτερύγια, συνήθως καθαρίζονται με πεπιεσμένο αέρα. Χρησιμοποιείται επίσης νερό, νερό με διάλυμα, νερό υψηλής πίεσης ή ακόμα και ατμός. Πριν από κάθε μέθοδο καθαρισμού, πρέπει να ακολουθούνται οι συστάσεις του κατασκευαστή, ώστε να αποτρέπεται οποιαδήποτε ζημιά ή διάβρωση στον εναλλάκτη.

Μια σύνηθης βλάβη στους εναλλάκτες εξαναγκασμένης ψύξης λαδιού είναι οι φραγμένες σωληνώσεις. Το «φράξιμο» αυξάνει το φορτίο του κινητήρα, προκαλώντας πτώση του θερμικού του. Η λύση είναι καθαρισμός των σωληνώσεων.

Η ανακυκλοφορία του ζεστού αέρα ανάμεσα στις ψύκτρες, μπορεί να προκαλέσει υπέρμετρη άυξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την υπερφόρτιση των κινητήρων των ανεμιστήρων. Η λύση είναι να τοποθετούνται εκτροπείς (κλαπέτα) ώστε να ο αέρας να κατευθύνεται προς τα πάνω, και να μην επανακυκλοφορεί.

Η επισκευή των εναλλακτών είναι σχετική δύσκολη. Οι μικρές διαρροές μπορούν να επισκευαστούν προσωρινά με καθαρισμό και χρήση εποξειδικής ρητίνης. Οι μεγαλύτερες μπορεί να απαιτούν την απομάκρυνση του εναλλάκτη. Υπάρχουν περιπτώσεις που οι εναλλάκτες κολλούνται ενώ βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω στον μετασχηματιστή και πλήρεις από λάδι, ωστόσο αυτό είναι πολύ επικίνδυνο εγχείρημα.

7. Δειγματοληψία

7.1 Δειγματοληψία για ποιοτικό έλεγχο λαδιού [59]

Η διαδικασία που ακολουθεί υποδεικνύεται από την εταιρία ABB και φαίνεται στο σχήμα III.7-1.

Το δείγμα πρέπει να αποθηκεύεται σε αριθμημένο δοχείο αλουμινίου. Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας συστήνεται η χρήση ελαστικών γαντιών. Ο σωλήνας πρέπει να είναι καθαρός στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του.

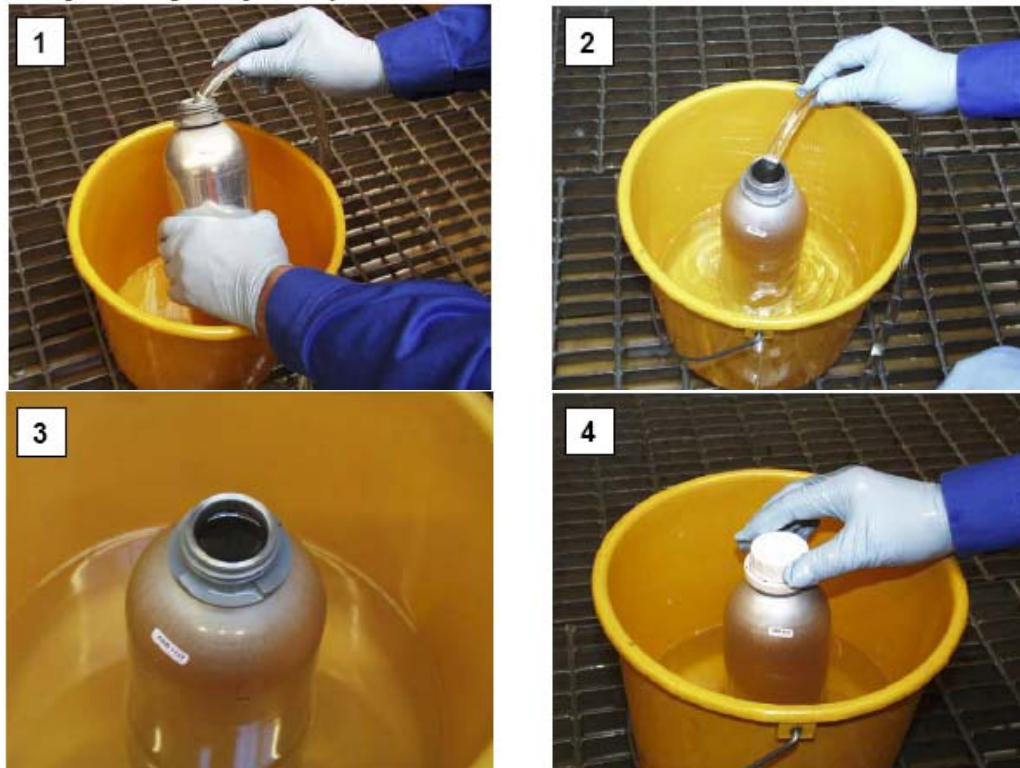
Βήματα διαδικασίας

α) Απόρριψη ποσότητας λαδιού ίσης με το τριπλάσιο του όγκου που περιέχεται στη βάνα και στο σωλήνα για λόγους καθαρισμού. Η ροή λαδιού είναι συνεχής κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας. Τοποθέτηση του σωλήνα 15 περίπου εκατοστά στο εσωτερικό της φιάλης (εικόνα 1).

β) Αφήνεται ροή λαδιού 3 λίτρα. Απομάκρυνση του σωλήνα αργά, καθώς το λάδι ρέει (εικόνα 2).

γ) Διατήρηση κενού 0.5 εκατοστά από το χείλος του δοχείου (εικόνα 3).

δ) Σφράγιση δοχείου (εικόνα 4).



Σχήμα III.7-1: Βήματα λήψης δείγματος σε δοχείο αλουμινίου (1 έως 4), [59] σελ.1.

7.2 Δειγματοληψία για ανάλυση διαλυμένων αερίων [11,20]

Η διαδικασία της δειγματοληψίας και των χειρισμών του δείγματος στο εργαστήριο παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα της ανάλυσης των διαλυμένων αερίων. Το δείγμα λαδιού πρέπει να λαμβάνεται με προσοχή ώστε να αποφεύγεται μόλυνση ή ατμοσφαιρική έκθεση. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι από συγκεκριμένα υλικά και να μην χρησιμοποιούνται περισσότερο από μία φορά. Η χρήση γυάλινης σύριγγας επιτρέπει την παρακολούθηση του δείγματος και τον εντοπισμό διαρροής στο κύκλωμα μέσω των δημιουργούμενων φυσαλίδων. Σωματίδια και ακαθαρσίες γίνονται επίσης ορατά. Το μειονέκτημα είναι ότι οι σύριγγες πρέπει να μην εκτίθενται στον ήλιο αφού κάτι τέτοιο μπορεί να δημιουργήσει υδρόγONO. Το υδρόγONO σχηματίζεται εύκολα όταν υπάρχει:

- υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος
- υψηλή θερμοκρασία λαδιού
- έκθεση στον ήλιο

Η διαδικασία που ακολουθεί υποδεικνύεται από την εταιρία ABB και φαίνεται στο σχ. III.7-2).

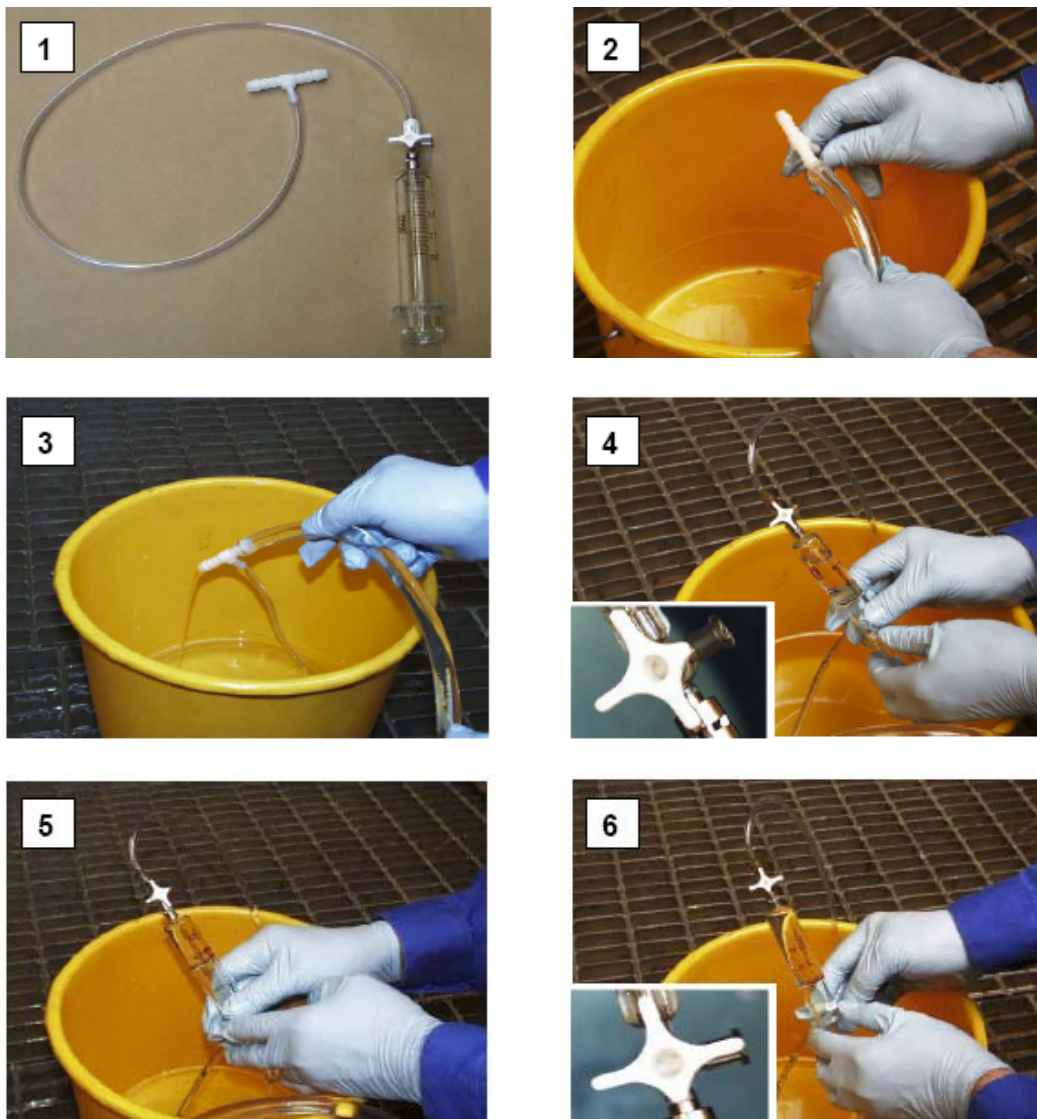
Βήματα διαδικασίας

- α) Σύνδεση σωλήνα με σύριγγα μέσω τρίοδης βάννας (εικόνα 1).
- β) Σύνδεση συστήματος σύριγγας-τρίοδης-σωλήνα με το σωλήνα από εξέρχεται από το στόμιο της βάννας δειγματοληψίας (εικόνα 2).
- γ) Ανοίγμα βάννας δειγματοληψίας (εικόνα 3).
- δ) Συγκέντρωση ποσότητας (εικόνα 4).
- ε) Αφαίρεση εγκλωβισμένου αέρα μέσω της τρίοδης. Πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να μην παραμένουν φυσαλίδες στη σύριγγα (εικόνα 5).

στ) Λήψη τελικού δείγματος 20ml, κλείσιμο τρίοδης βάννας (εικόνα 6).

Παρατηρήσεις:

1. Η δειγματοληψία δεν πρέπει να πραγματοποιείται σε περίπτωση που οι θερμοκρασίες πλησιάζουν τους 0°C.
2. Η βάννα δειγματοληψίας (εσωτερικό και εξωτερικό σπείρωμα) καθαρίζεται με ροή μικρής ποσότητας λαδιού πριν την έναρξη της δειγματοληψίας.
3. Σε περίπτωση κίνησης του λαδιού προς το εσωτερικό του μεταχηματιστή απαιτείται άμεσο κλείσιμο των βανών λόγω του αυξημένου κινδύνου εισχώρησης αέρα.
4. Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας συστήνεται η χρήση ελαστικών γαντιών.
5. Η σύριγγα πρέπει να είναι αριθμημένη ώστε μην υπάρχει πιθανότητα να χαθεί το δείγμα.
6. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη δειγματοληψία υγρών για ανάλυση αερίων υπάρχουν στους κανονισμούς IEC 60567 και ASTM 3613.

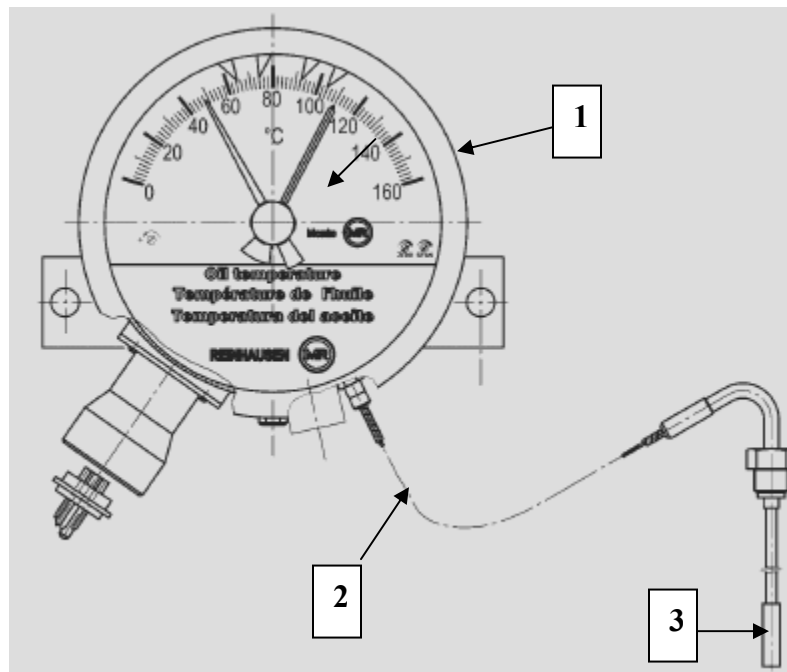


Σχήμα III.7-2: Βήματα λήψης δείγματος για ανάλυση διαλυμένων αερίων (1 έως 6), [59] σελ.2.

8. Όργανα μέτρησης και ηλεκτρονόμοι

8.1 Θερμόμετρο ελαίου

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του λαδιού του μετασχηματιστή είναι ιδιαίτερα σημαντικός αφού δείχνει τη λειτουργική του κατάσταση. Τα όργανα μέτρησης πρέπει να συντηρούνται ώστε να έχουν σωστές ενδείξεις θερμοκρασίας. Το θερμόμετρο ελαίου είναι όργανο του οποίου η λειτουργία βασίζεται στην μεταβολή της πίεσης. Αποτελείται από βολβό που περιέχει υγρό ή αέριο, και τοποθετείται κοντά στο πάνω τμήμα της δεξαμενής. Η μεταβολή στη θερμοκρασία του μονωτικού λαδιου προκαλεί συστολές και διαστολές στο υγρό (ή αέριο) του βολβού, μετακινώντας αντίστοιχα τον δείκτη του οργάνου. Η γνώση των επιμέρους εξαρτημάτων του θερμόμετρου είναι απαραίτητη, ώστε να συντηρείται και να λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Το σχήμα δείχνει τα κυριότερα εξαρτήματα ενός θερμόμετρου λαδιού.



Σχήμα III.8-1: Βασικά εξαρτήματα θερμόμετρου λαδιού, [60] σχ.1.

- 1 : Ενδεικτικό όργανο που περιλαμβάνει τους δείκτες.
- 2 : Βολβός του θερμόμετρου
- 3 : Λεπτός εύκαπτος χαλύβδινος σωλήνας που ενώνει το βολβό με το ενδεικτικό

Το θερμόμετρο πρέπει να ελέγχεται ετησίως ή και συχνότερα.

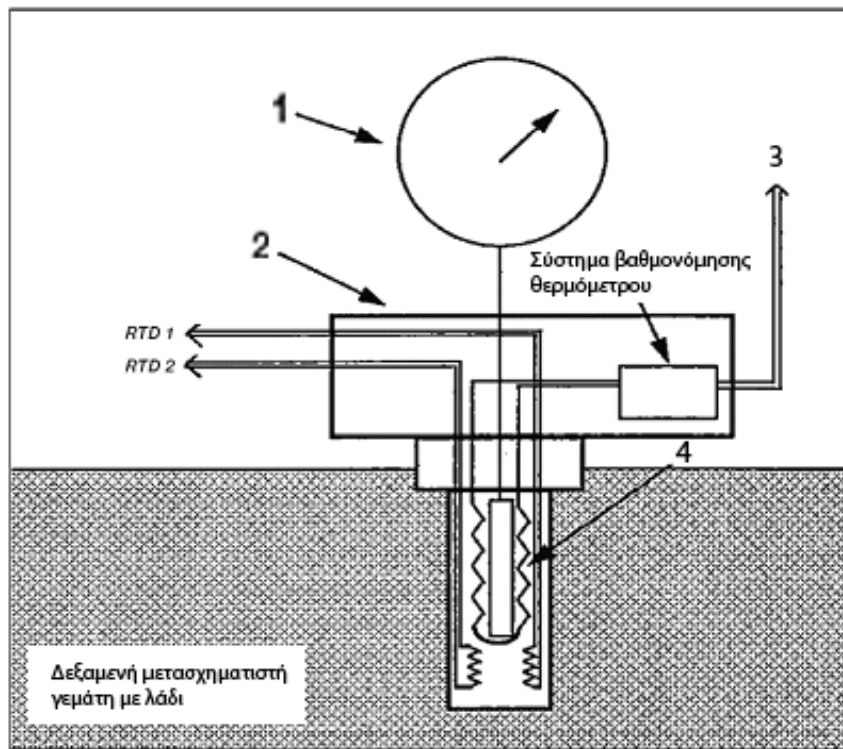
Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- φθορά του σπυράλ και του γραναζιού του ενδεικτικού.
- σύνδεση του σωλήνα με το ενδεικτικό
- η κίνηση του δείκτη (πρέπει να είναι ανεμπόδιστη).
- υπάρξη σκουριάς στο εσωτερικό του οργάνου
- υπαρκτή υγρασίας (θολό μπροστινό κρύσταλλο)

- ηλεκτρικός έλεγχος των επαφών

8.2 Θερμόμετρο τυλιγμάτων

Το θερμόμετρο τυλιγμάτων δίνει τη θερμοκρασία στο θερμότερο σημείο του τυλίγματος. Ωστόσο η μέτρηση δεν είναι άμεση αλλά έμμεση, αφού τα θερμόμετρα δεν μετρούν την πραγματική θερμοκρασία αλλά την τιμή που προκύπτει από προσομείωση. Το τύλιγμα προσομειώνεται από θερμαντική αντίσταση που περιτυλίγεται (ή περιέχεται) στο δοχείο τοποθέτησης του βολβού του θερμομέτρου. Η θερμαντική αντίσταση τροφοδοτείται από μετασχηματιστή έντασης, από τον οποίο διέρχεται ρεύμα ανάλογο του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα. Η θέρμανση της αντίστασης προκαλεί τη θέρμανση του βολβού και τελικώς, τη μετακίνηση του δείκτη. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η αρχή λειτουργίας ενός θερμόμετρου τοποθετημένου σε μετασχηματιστή ελαίου.



Σχήμα III.8-2: Τοποθέτηση και βασικά εξαρτήματα θερμόμετρου τυλιγμάτων, με δυνατότητα χρήσης θερμοζευγών (RTD1,RTD2) για απομακρυσμένο έλεγχο, [85].

- 1 : Ενδεικτικό όργανο που περιλαμβάνει τον δείκτη.
- 2 : Διάταξη προσομοίωσης θερμοκρασίας τυλίγματος. Περιέχει το σύστημα βαθμονόμησης.
- 3 : Είσοδος από μετασχηματιστή έντασης.
- 4 : Θερμαντική αντίσταση.

Το θερμόμετρο πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη ή και συχνότερα.

Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- καλιμπράρισμα μέσω αντικατάστασης των λήψεων του μετασχηματιστή έντασης ή μέσω σύνδεσης ωμικών αντιστάσεων στον πίνακα ελέγχου.
- σύνδεση του τριχοειδούς σωλήνα μεταξύ υποδοχής βολβού και ενδεικτικού.
- σύγκριση με υδραργυρικό θερμομέτρο σε λουτρό λαδιού. Η απόκλιση δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 5°C.
- έλεγχος για διαρροή (πολύ χαμηλή ένδειξη θερμοκρασίας).
- ηλεκτρικός έλεγχος των επαφών και επιβεβαίωση ενεργοποίησης των αντίστοιχων συσκευών (αντλίες, ανεμιστήρες).

Παρατηρήσεις:

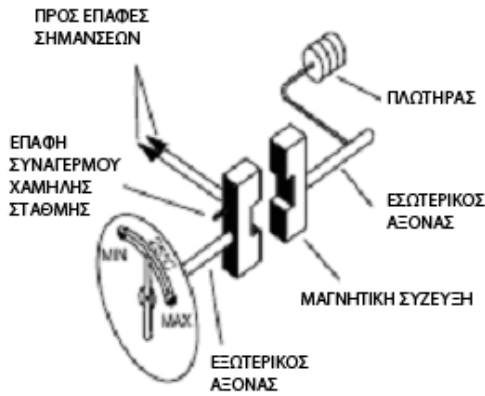
1. Τα θερμομέτρα τυλιγμάτων μετρούν με ακρίβεια μόνο όταν το φορτίο του μετασχηματιστή γίνεται ίσο με το ονομαστικό (πλήρες φορτίο).
2. Οι ενδείξεις δεν πρέπει να λαμβάνονται ως αξιόπιστο κριτήριο για λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τη κάλυψη φορτίων.
3. Έχουν διαπιστωθεί περιπτώσεις μη βαθμονομημένων θερμομέτρων, τα οποία παρουσίασαν ενδείξεις θερμοκρασιών μέχρι και 20°C χαμηλότερων των πραγματικών. Αυτό είναι ιδιαίτερος επικίνδυνος για έναν μετασχηματιστή αφού αυτός θα λειτουργήσει παρατεταμένα σε υψηλές θερμοκρασίες, εξαιτίας των καθυστερημένων συναγερωμών και εντολών ενεργοποίησης του συστήματος ψύξης.

8.3 Ενδεικτικό στάθμης ελαίου

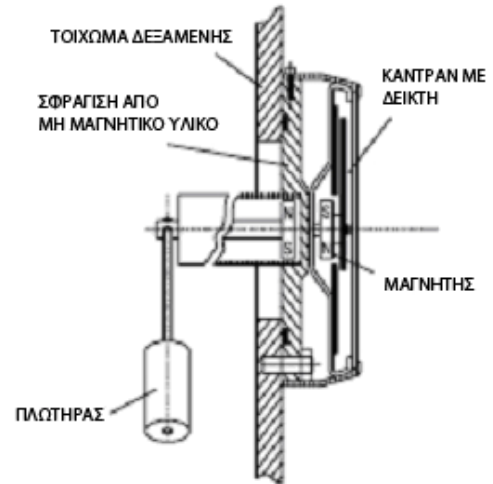
Είναι όργανα τα οποία μετρούν τη στάθμη του λαδιού με τη χρήση πλωτήρα. Ο πλωτήρας είναι μαγνητικά συζευγμένος με το ενδεικτικό. Καθώς η στάθμη αυξάνεται ο μηχανισμός του πλωτήρα περιστρέφει έναν μαγνήτη που βρίσκεται στην εσωτερική πλευρά της δεξαμενής. Η κίνηση αυτή προκαλεί την περιστροφή ενός άλλου μαγνήτη που βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά της δεξαμενής, μετακινώντας τον δείκτη. Στο κέντρο της κλίμακας μέτρησης του οργάνου αναγράφεται η θερμοκρασία των 25°C, ενώ στα άκρα είναι η ένδειξη χαμηλής και η ένδειξη υψηλής στάθμης. Ο έλεγχος της στάθμης του μονωτικού λαδιού γίνεται με συνδυασμό του θερμομέτρου ελαίου και του ενδεικτικού στάθμης. Η μεθοδολογία έχει την εξής σειρά:

α) Ελέγχεται το θερμομέτρο ελαίου

β) Ελέγχεται το ενδεικτικό στάθμης ελαίου. Η ένδειξη του τελευταίου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντιστοιχίζεται στην θερμοκρασία του άνω στρώματος λαδιού. Για παράδειγμα, εάν ο μετασχηματιστής λειτουργεί υπό πλήρες φορτίο η στάθμη θα είναι υψηλή. Εάν ο μετασχηματιστής είναι απενεργοποιημένος η θερμοκρασία του λαδιού θα είναι κοντά στους 25°C, οπότε και η ένδειξη από το ενδεικτικό στάθμης θα είναι κοντά στους 25°C.



Σχήμα.ΙΙΙ.8-3: Μηχανισμός ενδεικτικού στάθμης ελαίου, [11] σχ.2.



Σχήμα.ΙΙΙ.8-4: Πλάγια τομή ενδεικτικού στάθμης ελαίου. [11] σχ.2.

Το ενδεικτικό στάθμης λαδιού πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη

Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- απομάκρυνση του ενδεικτικού από τη δεξαμενή και έλεγχος της κίνησης του δείκτη με τη χρήση μαγνήτη.
- έλεγχος για διαρροή λαδιού.
- ύπαρξη υγρασίας (θολό μπροστινό κρύσταλλο).
- ηλεκτρικός έλεγχος των επαφών σήμανσης χαμηλής στάθμης.

8.4 Συσκευή ανακούφισης πίεσης

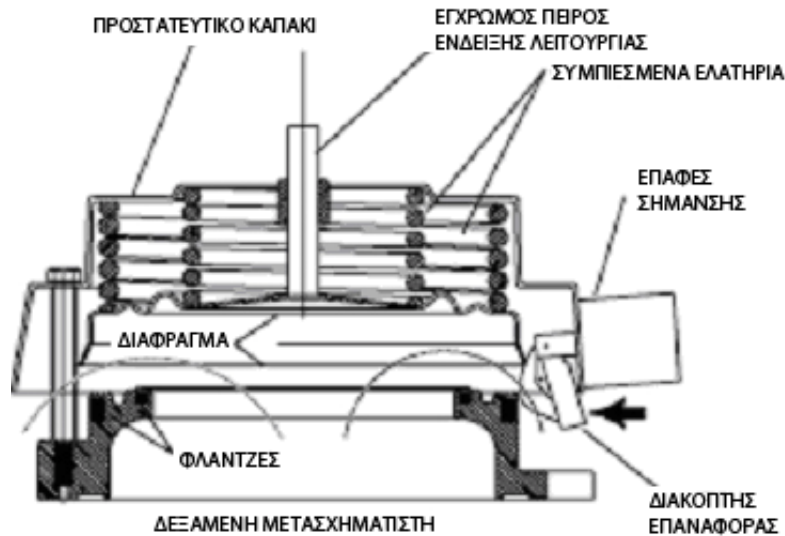
Οι συσκευές ανακούφισης πίεσης (ή ανακουφιστικές βαλβίδες) χρησιμοποιούνται για την προστασία από εσωτερική υπερπίεση, αποτελώντας το τελευταίο όργανο προστασίας. Όταν συμβαίνει ένα σφάλμα ή ένα βραχυκύκλωμα το δημιουργούμενο ηλεκτρικό τόξο ατμοποιεί ακαριαία το μονωτικό λάδι με αποτέλεσμα τη δημιουργία αερίων. Η ανακουφιστική βαλβίδα πρέπει να λειτουργεί κατάλληλα ώστε η πίεση να εκτονώνεται σε λιγα μόλις χιλιοστά του δευτερολέπτου. Διαφορετικά η δεξαμενή καταστρέφεται, θέτοντας σε κίνδυνο τον περιβάλλοντα χώρο και ενδεχομένως ανθρώπινες ζωές.

Η αρχή λειτουργίας είναι η εξής. Η συσκευή περιέχει ένα διάφραγμα το οποίο μπορεί να μετακινείται όταν ασκείται πίεση από το εσωτερικό της δεξαμενής. Καθώς το διάφραγμα μετακινείται, σπρώχνει προς τα πάνω έναν πείρο ο οποίος προεξέχει από το πάνω τμήμα του καλύματος της βαλβίδας, εκτονώνοντας έτσι την πίεση. Αυτός για λόγους ορατότητας είναι σεσημασμένος με κάποιο χρώμα. Στον επόμενο πίνακα δίνονται τα χρώματα που χρησιμοποιούνται για τις παλαιότερες και νεότερες βαλβίδες.

Ενδεικτικός πείρος	Χρώμα
Παλαιότερες βαλβίδες	Κόκκινο
Νεότερες βαλβίδες	Κίτρινο ή μπλε

Πίνακας ΙΙΙ.8-5: Χρώμα ενδεικτικού πείρου σε συσκευές ανακούφισης πίεσης, [11] παρ.4.15.

Σε κοντινή απόσταση ο πείρος είναι εύκολα ορατός αφού προεξέχει 5 περίπου εκατοστά, ωστόσο αυτό δεν ισχύει όταν ο έλεγχος γίνεται από το επίπεδο του δρόμου. Όταν η πίεση εκτονωθεί το διαφράγμα επανέρχεται στην αρχική του θέση με τη βοήθεια ελατηρίων που βρίσκονται κάτω από το κάλυμα στο εσωτερικό της βαλβίδας. Ο πείρος επανέρχεται στην αρχική θέση (εσοχή) μόνο μετά από χειροκίνητη επαναφορά.



Σχήμα III.8-6: Πλάγια τομή συσκευής ανακούφισης πίεσης σε ανοικτή θέση, [11] σχ.2.

Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης της συσκευής ανακούφισης πίεσης είναι:

Κάθε έτος και μετά από σφάλμα

- έλεγχος για το αν έχει λειτουργήσει η συσκευή μέσω του ενδεικτικού πείρου. Αν ο μετασχηματιστής είναι υπό τάση ο έλεγχος πρέπει να γίνεται με χρήση καλαθοφόρου οχήματος. Σε περίπτωση που έχει ενεργοποιηθεί ενώ ο μετασχηματιστής βρισκόταν υπό τάση, πρέπει να πραγματοποιούνται δομές Doble και δειγματοληψία λαδιού για ανάλυση.
- δοκιμή των επαφών σήμανσης με χειροκίνητο χειρισμό της βαλβίδας

Κάθε 3-5 έτη

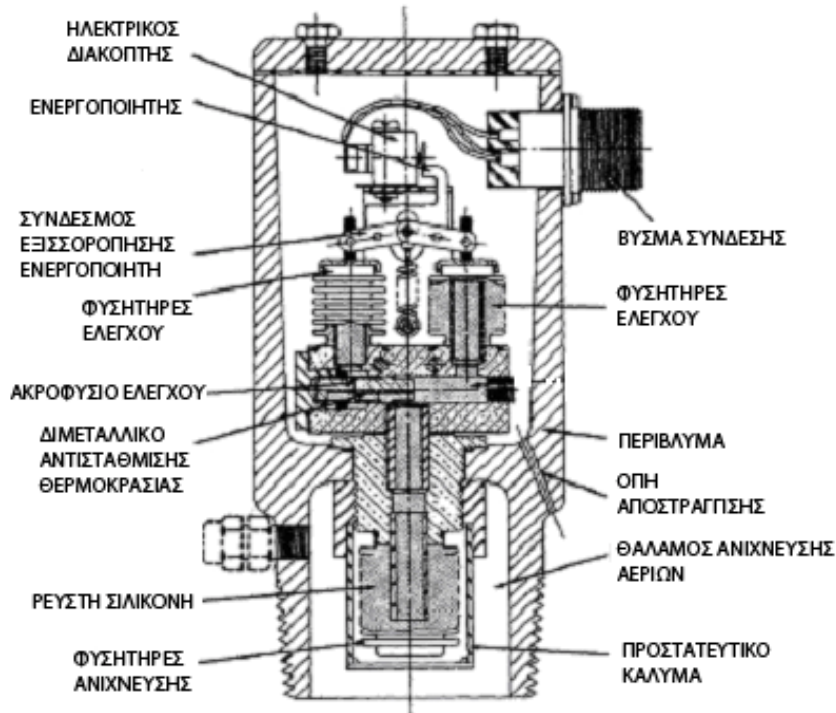
Έλεγχος του άνω τμήματος του μετασχηματιστή γύρω από την ανακουφιστική βαλβίδα. Σε περίπτωση διαρροής λαδιού η φλάντζα στεγανοποίησης ή και η βαλβίδα πρέπει να αντικαθίσταται. Το σύνηθες είναι η διαρροή να προέρχεται από τη φλάντζα και όχι από τη βαλβίδα, [11] σελ.15. Αν οφείλεται σε βλάβη της τελευταίας, κατά την παραγγελία πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε η νέα συσκευή να αντιστοιχεί στην υποδοχή της προηγούμενης.

Παρατηρήσεις:

1. Οι ανακουφιστικές βαλβίδες δεν πρέπει να βάνονται επειδή η μπογιά μπορεί να προκαλέσει το μπλοκάρισμα του πείρου. Σε αυτήν την περίπτωση η πίεση δεν πρόκειται να εκτονωθεί, έχοντας καταστροφικά αποτελέσματα για τον μετασχηματιστή. Η χρωματική σήμανση στο πάνω τμήμα του εξωτερικού περιβλήματος πρέπει να είναι εμφανής και όχι καλυμμένη από μπογιά. Αν έχει βαφεί, η βαλβίδα θα πρέπει να αντικατασταθεί.
2. Οι βίδες που συγκρατούν τη συσκευή πάνω στη δεξαμενή μπορούν να απομακρυνθούν. Οι βίδες όμως που συγκρατούν το προστατευτικό κάλυμα δεν πρέπει να απομακρύνονται διότι οι δυνάμεις των συμπιεσμένων ελατηρίων μπορεί να προκαλέσουν σοβαρό τραυματισμό.
3. Αν η βαλβίδα έχει βαφεί ή έχει ηλικία μεγαλύτερη από 30 έτη πρέπει να αντικαθίσταται κατά την επόμενη απενεργοποίηση του μετασχηματιστή.
4. Οι παλαιότερες ανακουφιστικές βαλβίδες έχουν ένα διάφραγμα και ένα πώμα εκτόνωσης που καταστρέφεται κάθε φορά που η βαλβίδα λειτουργεί. Κάθε πώμα αναγράφει πάνω του την πίεση λειτουργίας της βαλβίδας για την οποία προορίζεται, για αυτό το λόγο πρέπει να επιλέγεται με προσοχή.

8.5 Ρελέ άμεσης εκτόνωσης

Ο ηλεκτρονόμος είναι σχεδιασμένος ώστε να ανιχνεύει τυχόν απότομη αύξηση στην πίεση οφειλόμενη σε ηλεκτρικά τόξα στο εσωτερικό του μετασχηματιστή. Ενεργοποιείται πριν την συσκευή ανακούφισης πίεσης, θέτοντας εκτός λειτουργίας τον μετασχηματιστή. Φυσιολογικές μεταβολές στην πίεση όπως αιχμές από αντλίες και θερμοκρασιακές μεταβολές δεν ενεργοποιούν τον ηλεκτρονόμο. Οι σύγχρονοι ηλεκτρονόμοι αποτελούνται από τρεις διατάξεις γύρω από τις οποίες υπάρχει σιλικόνη. Είναι ο φυσητήρας ανίχνευσης και οι δύο φυσητήρες ελέγχου. Οι μεταβολές στην πίεση επιδρούν στο πρώτο φυσητήρα που τις ανιχνεύει. Η σιλικόνη επιδρά στους άλλους δύο που βρίσκονται αρχικά σε ισορροπία. Ο ένας από τους δύο ανιχνεύει τις μεταβολές της πίεσης μέσω ενός μικρότερου ακροφύσιου. Ο ρόλος του ενός ακροφύσιου είναι να επιβραδύνει τις μεταβολές ώστε να μην οδηγούν σε ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου. Ο άλλος ανιχνεύει τις άμεσες μεταβολές της πίεσης στις οποίες αποκρίνεται ταχύτητα. Η διαφορά στην πίεση ανασηκώνει τον σύνδεσμο εξισσορόπησης των δύο φυσητήρων και ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο. Όταν η πίεση εξισώθει, ο ηλεκτρονόμος άμεσης εκτόνωσης επαναφέρεται αυτόματα στην αρχική του κατάσταση.



Σχήμα III.8-7: Πλάγια τομή ηλεκτρονόμου άμεσης εκτόνωσης, [10] σχ.3.18.

Ο ηλεκτρονόμος άμεσης εκτόνωσης πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη.

Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- έλεγχος με μανόμετρο και βολβό συμπίεσεων
- έλεγχος του κυκλωματος διέγερσης με τη βοήθεια πολύμετρου και αντιστοίχιση των σημάνσεων

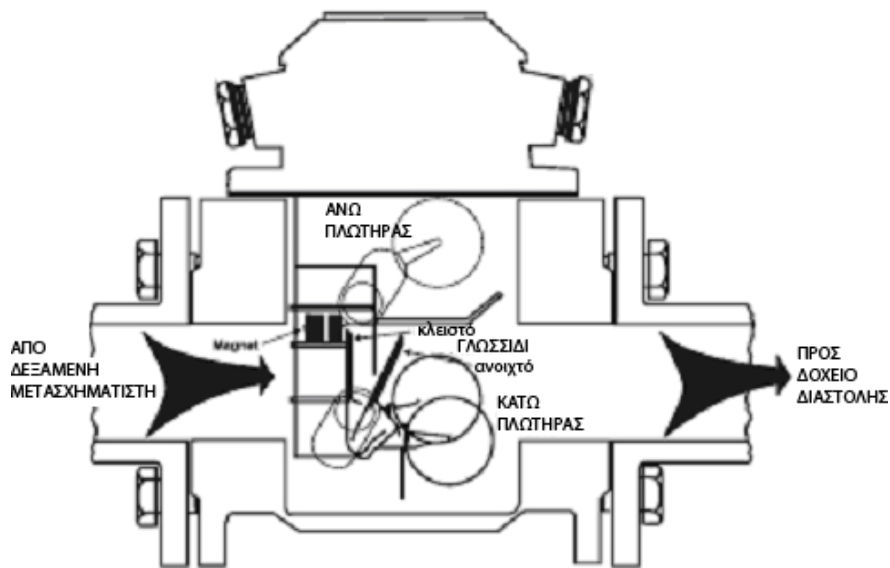
Παρατηρήσεις:

1. Σε περίπτωση ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου η επαναλειτουργία του μετασχηματιστή πρέπει να γίνεται αφού προηγουμένως έχουν εξακριβωθεί τα αίτια της βλάβης.
2. Οι παλαιότεροι ηλεκτρονόμοι διαθέτουν μόνο ένα ακροφύσιο. Μια απότομη παρατεταμένη πίεση προκαλεί την κίνηση ενός μηχανισμού, ο οποίος με τη σειρά του μετακινεί έναν πείρο. Ο πείρος ενεργοποιεί έναν διακοπτή με ταυτόχρονη σήμανση και διακοπή λειτουργίας του μετασχηματιστή. Για την επαναφορά του οργάνου θα πρέπει να απομακρύνεται το κάλυμα και να επαναφέρεται στην αρχική θέση χειροκίνητα.

8.6 Ηλεκτρονόμος Buchholz

Ο ηλεκτρονόμος συναντάται μόνο στους μετασχηματιστές με δοχείο διαστολής. Στο εσωτερικό του υπάρχουν δυο θάλαμοι που περιέχουν λάδι. Σε κάθε έναν από αυτούς υπάρχει ένας κάθετα τοποθετημένος πλωτήρας που ενεργοποιεί το αντίστοιχο ρελέ. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στο ότι σε περίπτωση ανάπτυξης δινορευμάτων, τοπικής υπερθέρμανσης ή μερικών εκκενώσεων στο εσωτερικό της δεξαμενής δημιουργούνται φυσαλίδες από τα εκλυόμενα αέρια. Αυτές κινούνται προς τα πάνω, με αποτέλεσμα να μεταφέρονται από τη δεξαμενή προς στο

δοχείο διαστολής μέσω των σωληνώσεων και επομένως του ηλεκτρονόμου Buchholz. Καθώς εισέρχονται σε αυτόν μεταφέρονται προς τον άνω θάλαμο, χαμηλώνοντας τη στάθμη του λαδιού. Όταν ο πλωτήρας κατέβει σε ένα προκαθορισμένο σημείο κλείνει έναν μαγνητικό διακόπτη και δίνει σήμανση. Αν η στάθμη του λαδιού πέσει πολύ χαμηλά (άδειο δοχείο διαστολής) μετακινείται ο πλωτήρας του κάτω θαλάμου και διεγείρεται το κύκλωμα απενεργοποίησης του μετασχηματιστή. Μια ακόμη λειτουργία του ηλεκτρονόμου είναι να αποσβένει τις μικρές μεταβολές της ροής του λαδιού. Όταν οι μεταβολές κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα, δεν είναι αρκετές για να μετακινήσουν το γλωσσίδι (του κάτω θαλάμου). Έτσι το λάδι μετακινείται από τη δεξαμενή στο δοχείο διαστολής και αντίστροφα μέσω ενός παρακαμπτήριου διαύλου, χωρίς να ενεργοποιείται το κύκλωμα διακοπής του μετασχηματιστή. Στην περίπτωση σφάλματος η αιχμή της πίεσης είναι αρκετή να μετακινήσει το γλωσσίδι, απενεργοποιώντας τον μετασχηματιστή. Ο ρυθμός ροής λαδιού που απαιτείται για τη κίνηση του γλωσσιδίου ρυθμίζεται.



Σχήμα.ΙΙΙ.8-9: Πλάγια τομή ηλεκτρονόμου Buchholz. Διακρίνονται οι δύο πλωτήρες, εκ των οποίων ο κάτω στις δύο δυνατές θέσεις (ανοιχτός, κλειστός), [11] σχ.5.

- 1: Τοίχωμα δεξαμενής μετασχηματιστή
- 2: Φλάντζες σφράγισης
- 3: Διάφραγμα

Ο ηλεκτρονόμος Buchholz πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη

Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- έλεγχος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου κατά την παραγωγή αερίων από το παράθυρο παρακολούθησης. Η δοκιμή πραγματοποιείται με τη παροχή αέρα. Ο άνω πλωτήρας μπορεί να ελεγχθεί με παροχή αέρα, ωστόσο ο κάτω πλωτήρας δεν μπορεί να ελεγχθεί με αυτόν τον τρόπο. Για αυτό το λόγο μερικοί κατασκευαστές δίνουν ειδικές ράβδους με τις οποίες κανείς μπορεί να μετακινήσει τους πλωτήρες.
- έλεγχος των επαφών με τη βοήθεια πολύμετρου.

9. Πίνακας ελέγχου

Ο πίνακας ελέγχου είναι ένα μεταλικό ερμάριο σχεδιασμένο να εμποδίζει τη συσσώρευση υγρασίας και τον σχηματισμό σκουριάς. Περιέχει όλα τα βοηθητικά εξαρτήματα εκτός εκείνων που είναι τοποθετημένα πάνω στον μετασχηματιστή. Τέτοια είναι:

- ασφάλειες
- διακόπτες
- ηλεκτρονόμοι και εκκινητές
- ηλεκτρονόμοι συναγερμών
- κλεμμοσειρές και ακροκιβώτια δοκιμών
- βοηθητική τροφοδοσία εναλασσόμενου ρεύματος για την ενεργοποίηση αντλιών και ανεμιστήρων
- βοηθητική τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος

10. Αφυγραντής

Η υγρασία η οποία βρίσκεται στον αέρα που περιέχεται στο άνω τμήμα του δοχείου διαστολής απομακρύνεται με τους αφυγραντές. Οι αφυγραντές περιέχουν υγροσκοπικούς κρυστάλλους (silica gel) που επιτρέπουν την αναπνοή του μετασχηματιστή, χωρίς ωστόσο να επιτρέπουν την εισχώρηση υγρασίας προς το εσωτερικό του. Μερικοί από αυτούς διαθέτουν μεμβράνη που αποτρέπει τη άμεση επαφή του ατμοσφαιρικού αέρα με τους κρυστάλλους. Το silica gel απορροφά υγρασία ίση με 15-20% του συνολικού βάρους και μεταβαίνει σε κατάσταση κορεσμού, όταν έχει απορροφήσει υγρασία 30-40% του βάρους του, [21] σελ.3 παρ.6 (η ενότητα 6 ονομάζεται «άλλος εξοπλισμός»). Όταν η περιεχόμενη υγρασία αυξηθεί, το χρώμα αλλάζει σε περισσότερο από τα 2/3 του μήκους του, ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω, [43] παρ. 9.5. Μέχρι πρόσφατα το χλωριούχο κοβάλτιο που περιείχε το silica gel άλλαζε το χρώμα του από μπλε σε ροζ, κατά τον κορεσμό. Στις σύγχρονες εφαρμογές το χλωριούχο κοβάλτιο αντικαθίσταται από-περιβάλλοντικά φιλικούς-οργανικούς χρωματικούς δείκτες οι οποίοι αλλάζουν το χρώμα από πορτοκαλί σε άχρωμο. Ο επόμενος πίνακας δίνει τα υπάρχοντα υλικά και τον κορεσμό τους σε σχέση με τη περιεχόμενη υγρασία.

Χρωστική silica gel	Κατάσταση υλικού	
	Ξηρή	Υγρή
Χλωριούχο κοβάλτιο	Μπλε	Ροζ
Οργανικό υλικό	Πορτοκαλί	Άχρωμο

Πίνακας III.10: Συσχέτιση χρώματος και ξηρότητας υλικού

Η συντήρηση είναι κάποια από τις επόμενες ενέργειες:

- αντικατάσταση του silica gel
- ξηρανση του silica gel μέσω θέρμανσής του, μέχρι να επανακτήσει το αρχικό χρώμα του.

Οι εταιρίες κατασκευής αφυγραντών έχουν δημιουργήσει εξοπλισμό με μειωμένη ανάγκη συντήρησης. Ένας σύγχρονος αφυγραντής με ενσωματωμένη διάταξη ξήρανσης του silica gel φαίνεται στο σχημα III.10-2. Η αρχή λειτουργίας είναι ότι τυχόν υγρασία ανιχνεύεται με ενσωματωμένους αισθητήρες και όταν ξεπερνάται ένα όριο, ενεργοποιείται μια θερμαντική αντιστάση που βρίσκεται στο εσωτερικό του δοχείου. Έτσι το περιεχόμενο υλικό θερμαίνεται

και αποβάλλει την υγρασία χωρίς την ανάγκη κάποιας άλλης εξωτερικής τεχνικής παρέμβασης. Προφανώς το κόστος των αφυγραντών αυτοματης ξήρανσης είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τους συμβατικούς, ωστόσο αντισταθμίζεται από αυτό της αντικατάστασης του υλικού.



Σχήμα III.10-1: Αφυγραντής με υγροσκοπικό υλικό (silica gel). Το μπλε χρωμα υποδηλώνει ξηρότητα, [94].



Σχήμα III.10-2: Αφυγραντής με αυτόματο σύστημα ξήρανσης. Ο κεντρικός κύλινδρος θερμαίνεται ξηραίνοντας το υγροσκοπικό υλικό, [62].

11. Μεταγωγέας λήψεων

Οι μετασχηματιστές μεταφοράς του ελληνικού συτήματος διαθέτουν μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο. Αυτός, είναι κατασκευασμένος ώστε να λειτουργεί ενώ ο μετασχηματιστής είναι ενεργοποιημένος. Βρίσκεται τοποθετημένος στην κύρια δεξαμενή μαζί με τον πυρήνα και τα τυλίγματα. Ο χειρισμός του πραγματοποιείται με ηλεκτροκίνητο μηχανισμό οδήγησης. Πριν την αρχική ενεργοποίηση του μεταγωγέα ή μετά από αλλαγή της θέσης λήψης πρέπει να γίνεται έλεγχος του λόγου μετασχηματισμού ώστε να διαπιστώνεται η καλή προσαρμογή των επαφών.

Κριτήρια διάγνωσης βλαβών και συντήρηση

11.1 Αριθμός χειρισμών

Η μέτρηση των χειρισμών λειτουργίας δίνει το επίπεδο φθοράς του μεταγωγέα λήψεων. Ο μετρητής τοποθετείται στον πίνακα ελέγχου του μεταγωγέα. Οι σύγχρονοι μεταγωγείς τύπου λαδιού αντέχουν περί τους 50000-100000 χειρισμούς, ή κάθε 4-7 έτη λειτουργίας, [97]. Οι μεταγωγείς τύπου κενού αντέχουν περί τους 300000 χειρισμούς, [32] Αν ληφθεί υπόψιν ότι η διάρκεια ζωής ενός μετασχηματιστή είναι γύρω στα 40 έτη, η απαιτούμενη συντήρηση θα πραγματοποιηθεί 5 περίπου φορές.



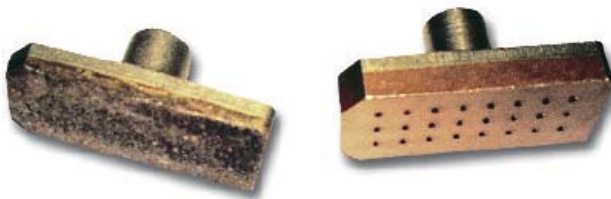
Μετρητής του αριθμού λειτουργιών

Πινακίδα με τα στοιχεία του μεταγωγέα λήψεων

Σχήμα III.11-1: Πίνακας ελέγχου μεταγωγέα, [63] σελ.4.

11.2 Αντίσταση των ηλεκτρικών συνδέσεων

Η μέτρηση της ωμικής αντίστασης των επαφών και η σύγκριση με την αρχική τιμή τους, είναι ένδειξη της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής τους. Καθώς η αντίσταση αυξάνεται η διάρκεια ζωής μειώνεται. Η εκτίμηση της γήρανσης γίνεται σε συνδυασμό με παραμέτρους όπως η ένταση του ρεύματος, ο σχεδιασμός των επαφών και η θερμοκρασία. Η ωμική αντίσταση μετράται με πολύμετρο κατά τη συντήρηση με απενεργοποιημένο μετασχηματιστή.



Σχήμα III.11-2: Επαφές μεταγωγέα. Διακρίνεται η φθορά των χρησιμοποιημένων (αριστερά) σε σχέση με τις καινούριες (δεξιά), [64] σελ.1.



Σχήμα III.11-3: Διακόπτης εκτροπής πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) από καθαρισμό επικαθήσεων άνθρακα, [63] σελ.6.

11.3 Θερμοκρασία

Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας η θερμοκρασία της κύριας δεξαμενής του μετασχηματιστή είναι υψηλότερη από αυτήν του διαμερίσματος του μεταγωγέα λήψεων, ειδικά εάν αυτός είναι σε σταθερή λήψη. Καθώς οι μεταγωγικές επαφές γηράσκουν και φθείρονται η αντίσταση τους αυξάνεται και δημιουργούνται θερμά σημεία. Αυτά αυξάνουν τη θερμοκρασία του δοχείου του μεταγωγέα, μειώνοντας τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αυτού και της κύριας δεξαμενής. Η διαπίστωση έναρξης έντονης φθοράς μπορεί να γίνει μέσα από την μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας με χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας.

11.4 Ρεύμα κινητήρα

Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας το ρεύμα του μηχανισμού οδήγησης έχει συγκεκριμένη μορφή. Η αποκλιση από αυτή τη μορφή υποδηλώνει φθορά σε γρανάζια, επαφές ή και άλλους συνδέσμους του μηχανισμού. Σε μεταγωγείς λήψεων που ελέγχονται από μηχανισμούς με ελατήριο, ο έλεγχος της μορφής του ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διάγνωση χαλαρότητας.

11.5 Έλεγχος αφυγραντή

Ο έλεγχος του αφυγραντή είναι απαραίτητος ώστε να εντοπίζεται τυχόν υγρασία στον μεταγωγέα. Ο έλεγχος πραγματοποιείται όπως στην περίπτωση του αφυγραντή της κύριας δεξαμενής, δηλαδή με οπτική παρατήρηση. Εάν το χρώμα των υγροσκοπικών κρυστάλλων είναι μπλε τότε είναι ξηρός. Εάν το χρώμα είναι ροζ σημαίνει ότι έχει εισωρήσει υγρασία, οπότε απαιτείται ξήρανση ή αντικατάσταση του υλικού και ενδεχομένως περαιτέρω έρευνα.

11.6 Ακουστικά σήματα

Ο έλεγχος με χρήση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων μπορεί να φανερώσει μεταβολές στα γρανάζια ή στις μεταγωγικές επαφές. Η διαγνωση επιτυγχάνεται με τη χρήση λογισμικού, συγκρίνοντας τα ακουστικά σήματα με πρότυπες τιμές.

12. Φλάντζες [11]

Οι φλάντζες παίζουν σημαντικό ρόλο στην στεγανοποίηση του εξοπλισμού. Τα κριτήρια και οι τεχνικές προδιαγραφές που πρέπει να εκπληρώνουν είναι πολλές. Πρέπει να είναι στεγανές για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα, να είναι αδιαπέραστες και να μην ρυπαίνουν το λάδι (ή το στρώμα αερίου). Η αφαίρεση και η αντικατάστασή τους πρέπει να είναι εύκολη. Επίσης, να έχουν ελαστικότητα ώστε να απορροφούν τυχόν ατέλειες των σφραγιζόμενων επιφανειών. Είναι επίσης προφανές, ότι πρέπει να αντέχουν σε υψηλές αλλά και χαμηλές θερμοκρασίες. Τέλος, πρέπει να έχουν αντοχή ώστε να μην συνθλιβονται όταν φορτίζονται ή δέχονται δυνάμεις από υπερπίεση ή υποπίεση (συνθήκες κένωσης). Όταν μια φλάντζα αποτυγχάνει να εκπληρώσει κάποιο από προαναφερθέντα κριτήρια, δημιουργείται διαρροή. Οι διαρροές οφείλονται συνήθως σε υπερβολική ροπή σύσφιξης ή σε επιλογή ακατάλληλου τύπου φλάντζας ως προς το υλικό και το μέγεθος. Επίσης, πιθανά αίτια είναι η μη σωστή προετοιμασία-καθαρισμός της επιφάνειας σφράγισης καθώς επίσης και το λεγόμενο «κλώτσημα». Αυτό είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μια φλάντζα σκληραίνει, χάνοντας την ελαστικότητά της, συμβαίνει δε ως φυσικό επακόλουθο γήρανσης και ακραίων θερμοκρασιών. Η σωστή επιλογή μιας φλάντζας σχετίζεται με το υλικό, το σχέδιο της επιφάνειας σφράγισης, την ελάχιστη και τη μέγιστη θερμοκρασία, τον τύπο του μονωτικού υγρού και την πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής. Το πρότυπο ASTM F104-3 (2009) δίνει τη γενική κατάταξη των φλαντζών.

Υλικά κατασκευής φλαντζών

Η συντήρηση προϋποθέτει τη γνώση των διαφορετικών υλικών κατασκευής και των τεχνικών δεξιοτήτων που απαιτούνται για αντικατάσταση και εφαρμογή μιας φλάντζας. Οι φλάντζες χωρίζονται στους παρακάτω τύπους ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους.

- Φελλού-νιτριλίου: Χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν αυλάκια ή όρια. Το υλικό αυτό προσαρμόζεται καλά στις επιφάνειες και έχει καλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες. Η αποθήκευση φλαντζών φελλού-νιτριλίου πρέπει να γίνεται προσεκτικά, επειδή το υλικό μοιάζει με το φελλό-νεοπρένιο. Ο χρόνος αποθήκευσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 2 έτη. Η δυνατότητα συμπίεσης είναι παρόμοια με αυτήν που έχουν οι φλάντζες από φελλό-νεοπρένιο.
- Φελλού-νεοπρένιου: Είναι μίγμα υλικών που χρησιμοποιείται, με κατώτερα χαρακτηριστικά του φελλού-νιτριλίου. Οι φλάντζες από αυτό το υλικό ενδέχεται να «κλωτσήσουν» κατά την έντονη συμπίεση. Επίσης κατά τις συστολές και διαστολές των εφραπτόμενων επιφανειών μπορεί να υπάρξουν διαρροές. Επειδή το υλικό είναι πολύ πορώδες πρέπει να στεγανοποιείται επαρκώς. Η εγκατάσταση σε χαμηλές θερμοκρασίες (πάγου) μπορούν να οδηγήσει σε ζημιά και τελικώς σε διαρροή.
- Νιτριλίου: Το υλικό αυτό είναι γωστό με την ονομασία NBR ή Buna N. Προτιμάται για τις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών σε μετασχηματιστές. Είναι διαφορετικό υλικό από το βουτυλοκαουτσούκ (Butyl Rubber), το οποίο δεν είναι κατάλληλο για χρήση σε μετασχηματιστές. Οι ονομασίες Butyl και Buna παρερμηνεύονται για αυτό θα πρέπει να δίνεται προσοχή κατά την επιλογή του υλικού. Οι φλάντζες νιτριλίου δεν πρέπει να εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία αφού αυτό προκαλεί τη φθορά τους. Η συμπεριφορά τους σε υψηλές θερμοκρασίες (65°C) είναι καλύτερη από αυτήν των φλαντζών φελλού-νεοπρενίου.

- Viton: Το υλικό χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 65°C ή σε εφαρμογές με κινούμενα μέρη. Είναι πολύ ανθεκτικό και παρουσιάζει μικρή φθορά. Ωστόσο, το κόστος του είναι πολύ υψηλό (περί τα 350 ευρώ ανά φύλλο) για αυτό και χρησιμοποιείται μόνο όταν απαιτείται αυξημένη αντοχή ή χρήση σε υψηλές θερμοκρασίες. Το Viton μοιάζει το νιτρίλιο, για αυτό θα πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να μην επιλέγεται φλάντζα από Viton όταν δεν χρειάζεται. Ο διαχωρισμός τους μπορεί να γίνεται με παραγγελία σε διαφορετικά χρώματα.

Υλικό φλάντζας	Εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας (°C)	Δυνατότητα συμπίεσης (%)	Συμβατά υγρά	Αντοχή σε υπερίωδη ακτινοβολία	Εφαρμογές
Νεοπρένιο	-54 έως 60	30-33	Askarels Υδρογονάνθρακες	Ναι	Χρήση με εσοχές περιορισμού συμπίεσης. σε υπερίωδη ακτινοβολία
Φελλός-νεοπρένιο	0 έως 60	40	Ορυκτέλαια R-Temp Alpha 1	Όχι	Χρήση σε επίπεδες επιφάνειες χωρίς αυλάκια, χωρίς εσοχές περιορισμού συμπίεσης
Φελλός-νιτρίλιο	-5 έως 60	40	Ορυκτέλαια R-Temp Alpha 1	Όχι	Χρήση σε επίπεδες επιφάνειες χωρίς αυλάκια, χωρίς εσοχές περιορισμού συμπίεσης
Νιτρίλιο	-5 έως 65	25-50	Ορυκτέλαια R-Temp Alpha 1 Υδρογονάνθρακες	Όχι	Κυκλικά και επίπεδα σχήματα επιφανειών, με εσοχές περιορισμού συμπίεσης
Viton	-20 έως 150	30-33	Σιλικονουχοι εστέρες Ορυκτέλαια	Ναι	Υψηλές θερμοκρασίες, επιφάνειες με εσοχές περιορισμού συμπίεσης

Πίνακας III.12: Συνοπτικός πίνακας εφαρμογής φλάντζων, [11] πιν.1.

Καθαρισμός επιφανείας

Η επιφάνεια πρέπει καθαρίζεται προσεκτικά, απομακρύνοντας υγρασία, λάδια, γράσα ή σκουριά. Χρησιμοποιείται βούρτσα ή διαλυτικό. Απαιτείται μεγάλη προσοχή ώστε η σκουριά και οι ακαθαρσίες να μην πέφτουν μέσα στον μετασχηματιστή. Κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά αποτελέσματα, όταν αυτός ηλεκτριστεί.

Εντοπισμός και αντιμετώπιση διαρροών [26], παραγρ.14

Όταν η διαρροή βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του λαδιού, η επηρεαζόμενη περιοχή πλένεται με διαλυτικό (νέφτι) ή οινόπνευμα. Αφού η σκόνη απομακρυνθεί, το σημείο της διαρροής εμφανίζεται σαν μαύρος λεκές.

Όταν η διαρροή βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του λαδιού χρησιμοποιείται άζωτο υπό καθορισμένη πίεση. Χρησιμοποιώντας ένα σαπωνώδες διάλυμα στην υποψιαζόμενη περιοχή, αν υπάρχει διαρροή θα σχηματιστούν φυσαλίδες.

Αν η διαρροή βρίσκεται σε δεξαμενή που περιέχει λάδι, υπάρχει η δυνατότητα συγκολλήσεων με τη προϋπόθεση ότι η θερμότητα της συγκόλλησης δεν πρόκειται να δημιουργήσει εύφλεκτα αέρια.

- Αν η διαρροή είναι σε απόσταση περίπου 7cm από τη στάθμη του λαδιού και το πάχος της δεξαμενής είναι μεγαλύτερο από 6mm δεν υφίσταται κίνδυνος, επειδή το λάδι ψύχει τη θερμότητα της συγκόλλησης.
- Αν το πάχος της δεξαμενής είναι μικρότερο από 4,5mm, τοποθετείται και κολλάται ένα μεταλλικό κομμάτι στο σημείο διαρροής
- Ο απλούστερος τρόπος στεγανοποίησης μιας μικρής τρύπας είναι μέσω προσεκτικού λαξέματος
- Οι μεγαλύτερες οπές δεν πρέπει να επισκευάζονται με συγκόλληση ή λάξεμα. Εφαρμόζεται στεγανοποίηση με γομαλάκα, ή ακόμα και αντικατάσταση του εξαρτήματος της δεξαμενής όταν αυτό είναι εφικτό.

Παρατηρήσεις

1. Είναι προτιμότερο να μην χρησιμοποιούνται ενώσεις φλαντζών. Ωστόσο αυτό δεν μπορεί να αποφευχθεί, όταν υπάρχουν πολύ μεγάλα μήκη.
2. Πολλά συνθετικά ελαστικά συμπεριλαμβανομένου του Buna N περιέχουν άνθρακα, κάτι που τα καθιστά ημιαγωγίμα. Πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να μην πέφτουν φλάντζες ή κομμάτια αυτών στο εσωτερικό του μετασχηματιστή.

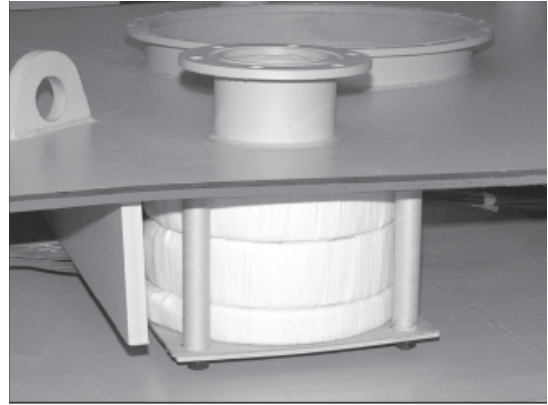
13. Μετασχηματιστές οργάνων

Οι μετασχηματιστές ισχύος μπορούν να διαθέτουν μετασχηματιστές έντασης για την μέτρηση του ρεύματος κάθε φάσης. Μπορεί να είναι εσωτερικοί ή εξωτερικοί. Οι εσωτερικοί βρίσκονται ενσωματωμένοι στους μονωτήρες διέλευσης, στην εσωτερική πλευρά της δεξαμενής. Οι εξωτερικοί είναι διατεταγμένοι στη γυάρδα, σε μικρή απόσταση από τον μετασχηματιστή. Στους εξωτερικούς πρέπει να γίνονται περιοδικές δειγματοληψίες λαδιού. Έπειτα πρέπει να υλοποιούνται δοκιμές συντελεστή ισχύος. Οι μετασχηματιστές τάσης παρουσιάζουν λιγότερα προβλήματα σε σχέση με τους μετασχηματιστές έντασης. Σε αυτούς οι τυπικές δοκιμές λαδιού πρέπει να γίνονται ανά τριετία,. [10] παρ.7.3.7. Οι επόμενες εικόνες δίνουν τα δύο είδη

μετασχηματιστών οργάνων (εσωτερικούς και εξωτερικούς). Οι προδιαγραφές για τους μετασχηματιστές οργάνων δίνονται στο πρότυπο IEEE C57.13.



Σχήμα III.13-1: Μετασχηματιστής έντασης εξωτερικού τύπου, [69].



Σχήμα III.13-2: Μετασχηματιστής έντασης εσωτερικού τύπου, [70] σχ.16.

14. Αλεξικέραυνα

Τα αλεξικέραυνα και οι απαγωγοί υπερτάσεων πρέπει να ελέγχονται οπτικά, με ιδιαίτερη έμφαση στα εξής σημεία:

- Διαβρωμένος ή χαλαρός αγωγός γείωσης
- Σπασμένη ή ραγισμένη πορσελάνη
- Ενεργοποιημένη συσκευή ανακούφισης πίεσης
- Υπερθερμάνσεις στις στεγανοποιήσεις του άνω και κάτω τμήματος
- Ενδείξεις σχηματισμού ηλεκτρικών εκκενώσεων

Οι προδιαγραφές για τους μετασχηματιστές οργάνων δίνονται στο πρότυπο IEEE C62.11

V. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ένας σημαντικός αριθμός τεχνολογιών έχει αναπτυχθεί και συνεχίζει να αναπτύσσεται σχετικά με την εκτίμηση της κατάστασης του μετασχηματιστή. Αναφέρουμε τις κυριότερες από αυτές και τις αντίστοιχες τρέχουσες τάσεις.

1. Η ανίχνευση μερικών εκκενώσεων μέσω ακουστικών σημάτων

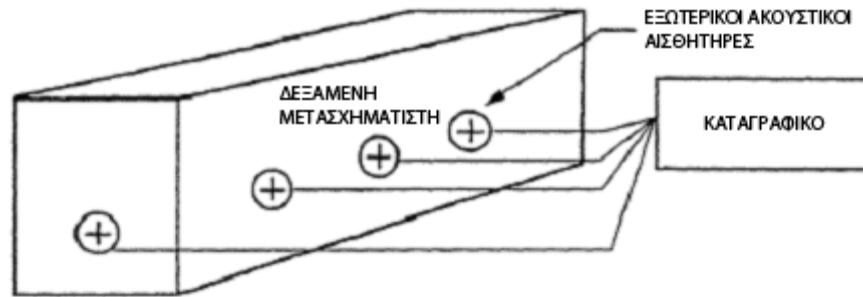
Η ακουστική μέθοδος ανιχνεύει μερικές εκκενώσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του μετασχηματιστή. Εφαρμόζεται αφού έχει προηγουμένως επιβεβαιωθεί η ύπαρξη μερικών εκκενώσεων με άλλες μεθόδους (όπως η ανάλυση διαλυμένων αερίων) και απαιτείται ο εντοπισμός της θέσης. Η μορφή των παραγόμενων παλμών μπορεί να προσδιορίσει σφάλματα στα ακόλουθα στοιχεία [3,95]:

- Σύνδεση του μονωτήρα διέλευσης με τα άκρα των τυλιγμάτων
- Σφάλμα σε τύλιγμα
- Κοιλίες ανύψωσης τυλιγμάτων
- Κοιλίες πυρήνα
- Εξαρτήματα μεταγωγέα σχέσης
- Σύνδεσμοι επί των αγωγών που εξέρχονται από το τύλιγμα.

Πιεζοηλεκτρικοί μορφοτροπείς ανιχνεύουν τα ακουστικά σήματα που παράγονται από τη συσκευή ακουστικής εκπομπής και μεταφέρονται μέσω του μονωτικού λαδιού. Οι παραγόμενοι παλμοί απεικονίζονται σε ψηφιακό παλμογράφο ενώ υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Εξωτερικοί αισθητήρες

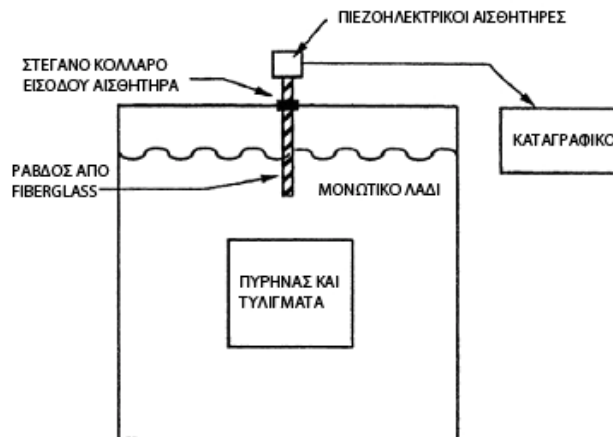
Σε αυτήν την περίπτωση οι αισθητήρες τοποθετούνται στην εξωτερική επιφάνεια της κύριας δεξαμενής (σχήμα V.1-1). Συνήθως μετακινούνται ώστε να βρεθεί το ισχυρότερο δυνατό σήμα. Η μέτρηση γίνεται υπό τάση για αυτό το λόγο η μετατόπιση των αισθητήρων πραγματοποιείται με τη χρήση μονωτικού κοντού. [3]



Σχήμα V.1-1: Ακουστικοί αισθητήρες μερικών εκκενώσεων εξωτερικού τύπου, [10] σχ.6-10.

Εσωτερικοί αισθητήρες

Η ευαισθησία της μεθόδου ανίχνευσης αυξάνεται με την τοποθέτηση εσωτερικών αισθητήρων. Αυτοί προσαρτώνται στη δεξαμενή (σχήμα V.1-2) και βρίσκονται σε άμεση επαφή με το μονωτικό λάδι. Οι μεταλλικοί αισθητήρες παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε περιοχές αυξημένης ηλεκτρικής καταπόνησης. Αυτό έχει οδηγήσει στην εφαρμογή του πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα στο άκρο ράβδου κατασκευασμένης από fiberglass. Η ράβδος αποτελεί καλό ηλεκτρικό μονωτή και καλό αγωγό για τα ακουστικά σήματα. Η διάταξη έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε μετασχηματιστές, ωστόσο υπάρχουν προβλήματα αντοχής και επίδρασης παρεμβολών, [10].



Σχήμα V.1-2: Ακουστικοί αισθητήρες μερικών εκκενώσεων εσωτερικού τύπου, [10] σχ.6-11.

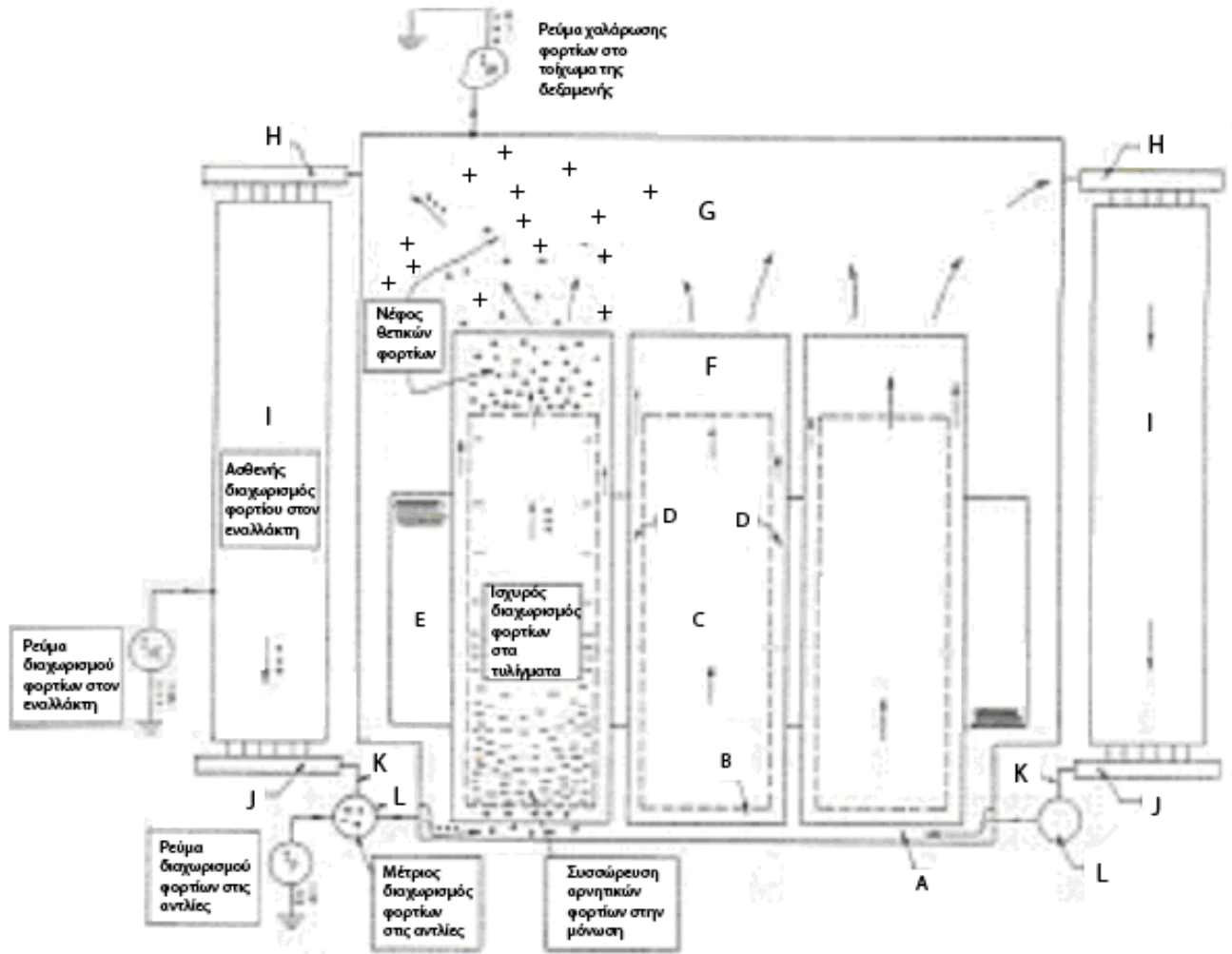
Οι αισθητήρες πρέπει να λειτουργούν σε περιβάλλον που περιλαμβάνει ηλεκτρικά τόξα, κραδασμούς, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στο φάσμα λειτουργίας τους και έντονες καιρικές

συνθήκες όπως βροχή ή και χιόνι. Η έρευνα που γίνεται έχει ως σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών των αισθητήρων και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως είναι οι αισθητήρες οπτικών ινών. Η χρήση των οπτικών αισθητήρων για την ανίχνευση μερικών εκκενώσεων μελετάται στην πράξη από το ινστιτούτο EPRI. Τα αποτελέσματα των πρόσφατων ερευνών σχεδιασμού και εφαρμογής δίνονται στην αναφορά με τίτλο: Optical Fiber Sensors for Inside-Transformer On-Line Detection of Partial Discharges, 10000016.

2. Η ανίχνευση του στατικού ηλεκτρισμού [20] παρ.1.8

Η εμφάνιση του στατικού ηλεκτρισμού οφείλεται σε παράγοντες όπως η τάση ηλεκτροστατικής φόρτισης του λαδιού, η ταχύτητα της ροής, η αγωγιμότητα του λαδιού, η θερμοκρασία και η περιεχόμενη υγρασία της μόνωσης.

Σε κάθε διαχωριστική επιφάνεια υγρού-στερεού παρατηρείται μια ανόμοια κατανομή φορτίου. Το ίδιο συμβαίνει μεταξύ του pressboard και του μονωτικού λαδιού του μετασχηματιστή εξαιτίας του βαθμού απορρόφησης διαφορετικών ιόντων που έχει το κάθε ένα από τα δύο υλικά. Ο κάτω και ο άνω χώρος μεταξύ δοχείου και συστήματος μόνωσης αποτελεί την είσοδο και την έξοδο του λαδιού. Τα ιόντα εισέρχονται από το κάτω τμήμα και εξέρχονται από το άνω τμήμα. Η στερεά μόνωση απορροφά τα αρνητικά ιόντα, σχηματίζοντας ένα συγκεντρωμένο φορτίο στρώματος στο pressboard. Τα θετικά ιόντα σχηματίζουν ένα κινούμενο στρώμα, το οποίο είναι διασκορπισμένο στο λάδι. Καθώς το λάδι κινείται, το πλήθος των διασκορπισμένων θετικών φορτίων αυξάνεται ενώ η στερεά μόνωση αποκτά σταθερό αρνητικό φορτίο. Ο σχηματισμός του ρεύματος ηλεκτρικής από τα εισερχόμενα ιόντα ονομάζεται ηλεκτρική ροή. Η συσσώρευση ηλεκτρικών δίπολων στο μονωτικό υλικό ονομάζεται στατικός ηλεκτρισμός. Αυτό έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη τάσης η οποία όταν το ηλεκτρικό πεδίο ξεπεράσει μια τιμή, προκαλεί μερικές εκκενώσεις. Οι μερικές εκκενώσεις επιφέρουν τη χειρότερη του μονωτικού λαδιού ή ακόμα και την ανάφλεξη μεταξύ των τυλιγμάτων υψηλής-χαμηλής τάσης ή τυλιγμάτων και γης.



Σχήμα V.2: Μηχανισμός δημιουργίας του στατικού ηλεκτρισμού σε μετασχηματιστή. Διακρίνεται η μετακίνηση των θετικών φορτίων προς το άνω τμήμα της δεξαμενής του μετασχηματιστή, [97].

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| A: Κάτω τμήμα δεξαμενής | H: Σωλήνας προς εναλλάκτη θερμότητας |
| B: Είσοδος φορτίων στη στερεά μόνωση | I: Εναλλάκτης θερμότητας |
| C: Τυλίγματα | J: Σωλήνας από εναλλάκτη θερμότητας |
| D: Δίαυλοι κυκλοφορίας λαδιού | H: Σωλήνας προς αντλία |
| F: Έξοδος φορτίων από στερεά μόνωση | K: Σωλήνας προς αντλία |
| G: Άνω τμήμα δεξαμενής | L: Αντλία |

Ο στατικός ηλεκτρισμός δημιουργείται σε όλους τους μετασχηματιστές με εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού και ειδικότερα σε αυτούς που διαθέτουν κατευθυνόμενη ροή. Η διατήρηση των επιδράσεων του σε αποδεκτά επίπεδα προϋποθέτει την κατανόηση των αιτιών και συνθηκών κάτω από οποίες ανάπτυσσεται. Η ABB υλοποίησε ένα πρόγραμμα για το ινστιτούτο EPRI όσον αφορά τις αιτίες δημιουργίας και τις επεμβάσεις που μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τη δημιουργία του στατικού ηλεκτρισμού, από το οποίο διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Ένας από τους κύριους παράγοντες εμφάνισης ηλεκτρισμού ροής είναι η τάση ηλεκτροστατικής φόρτισης του λαδιού. Αυτή ορίζεται ως το φορτίο που παράγεται ανά μονάδα όγκου λαδιού, καθώς διέρχεται από ένα φίλτρο ορισμένου τύπου. Εκφράζει τη δυνατότητα που έχει το μονωτικό λάδι να παράγει φορτία καθώς κινείται πάνω στην επιφάνεια των υλικών κυτταρίνης μέσα από τους διαύλους ψύξεως. Μονωτικά λάδια με υψηλή τάση φόρτισης εμφανίζουν μεγαλύτερη ανάπτυξη φορτίων και επομένως μεγαλύτερη πιθανότητα αποτυχίας λόγω στατικού ηλεκτρισμού. Ο επόμενος πίνακας είναι ενδεικτικός αφού τα ακριβή όρια δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί. Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν εμφανιστεί λιγιστές βλάβες στατικού ηλεκτρισμού σε μετασχηματιστές με τάση φόρτισης $>500\mu\text{C}/\text{m}^3$ όπως επίσης και $<200\mu\text{C}/\text{m}^3$.

Τάση φόρτισης λαδιού ($\mu\text{C}/\text{m}^3$)	Επίπεδο ανάπτυξης στατικού ηλεκτρισμού ροής
250	Φυσιολογικό
250-400	Μέσο προς υψηλό
400	Υψηλό

Πίνακας V.2: Πίνακας ενδεικτικών ορίων φόρτισης για λειτουργούντες μετασχηματιστές, [20] πιν.1-2.

- Η ταχύτητα ροής του λαδιού στους διαύλους της μόνωσης αποτελεί το σημαντικότερο αίτιο διαχωρισμού των ηλεκτρικών φορτίων. Στους μεγάλους μετασχηματιστές εξαρτάται από το σχεδιασμό των διαύλων (αυλάκια) της μόνωσης, τον αριθμό και τον όγκο παροχής των αντλιών. Η ταχύτητα της ροής του λαδιού πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται η ικανότητα ψύξης του μετασχηματιστή.
- Η ύπαρξη ακαθαρσιών στη μόνωση κυτταρίνης αυξάνει την τάση ηλεκτροστατικής φόρτισης. Η πλύση της μόνωσης με λάδι χαμηλής τάσης φόρτισης πριν την πλήρωση μπορεί να απομακρύνει τυχόν ακαθαρσίες. Επειτα από την πλύση γίνεται πλήρωση με μονωτικό λάδι χαμηλής τάσης φόρτισης.
- Οι χειρισμοί λειτουργίας του μετασχηματιστή μπορούν να ελέγξουν το φαινόμενο της ηλεκτρισμού. Μετρήσεις στην πυκνότητα φορτίου έδειξαν ότι η συσσώρευση φορτίου στο άνω τμήμα μειώθηκε δραματικά σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 50°C , ακόμη και με όλες τις αντλίες ενεργοποιημένες. Δηλαδή ο μετασχηματιστής πρέπει να μεταβαίνει σε αυτή τη θερμοκρασία με μειωμένη ροή, ενώ αφού την ξεπερνά μπορεί να γίνεται αύξηση της ροής χωρίς αυτό να δημιουργεί σημαντική αύξηση στην πυκνότητα των φορτίων. Το ίδιο ισχύει για τον αντίστροφο κύκλο, κατά τον οποίο ο μετασχηματιστής μεταβαίνει από κατάσταση υψηλής ροής σε χαμηλή μέσω της κρίσιμης θερμοκρασίας των 50°C .
- Η διαμόρφωση του κάτω τμήματος παίζει σημαντικό ρόλο για τα φορτία που αναπτύσσονται στους διαύλους. Ειδικότερα, οι ροδέλες που προεξέχουν και τα σημεία εισόδου δημιουργούν φορτία και δινορεύματα. Η αύξηση του ύψους του κάτω τμήματος προκαλεί τη διασκόρπιση των δινορευμάτων, μειώνοντας την ανάπτυξη φορτίων από τα προεξέχοντα δομικά στοιχεία του μετασχηματιστή.
- Καλή λειτουργική κατάσταση του θερμομέτρου τυλιγμάτων και του συστήματος ψύξης. Ρύθμιση ώστε να αποτρέπεται η λειτουργία όλων των αντλιών όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 50°C .

3. Οι σύγχρονοι αισθητήρες οπτικών ινών

Οι ηλεκτρικοί, θερμικοί και μηχανικοί μηχανισμοί γήρανσης επιδρούν στο σύστημα μόνωσης των μετασχηματιστών. Ηλεκτρικά σφάλματα όπως είναι οι μερικές εκκενώσεις και θερμικά σφάλματα (θερμά σημεία) συμβαίνουν στο εσωτερικό τους, οδηγώντας σε διάσπαση των υλικών μόνωσης και βλάβες. Η δραστηριότητα των μερικών εκκενώσεων και των θερμικών σφαλμάτων πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς ώστε οι βλάβες να ανιχνεύονται εν τη γεννέση τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση εξελιγμένων αισθητήρων οπτικών ινών οι οποίοι αν και υπήρχαν, εντούτοις δεν εφαρμόζονταν σε μετασχηματιστές.

Οι αισθητήρες οπτικών ινών έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν πλήθος από φυσικές και χημικές παράμετρος και φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένου των μερικών εκκενώσεων και των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών. Τα πλεονέκτηματά τους είναι:

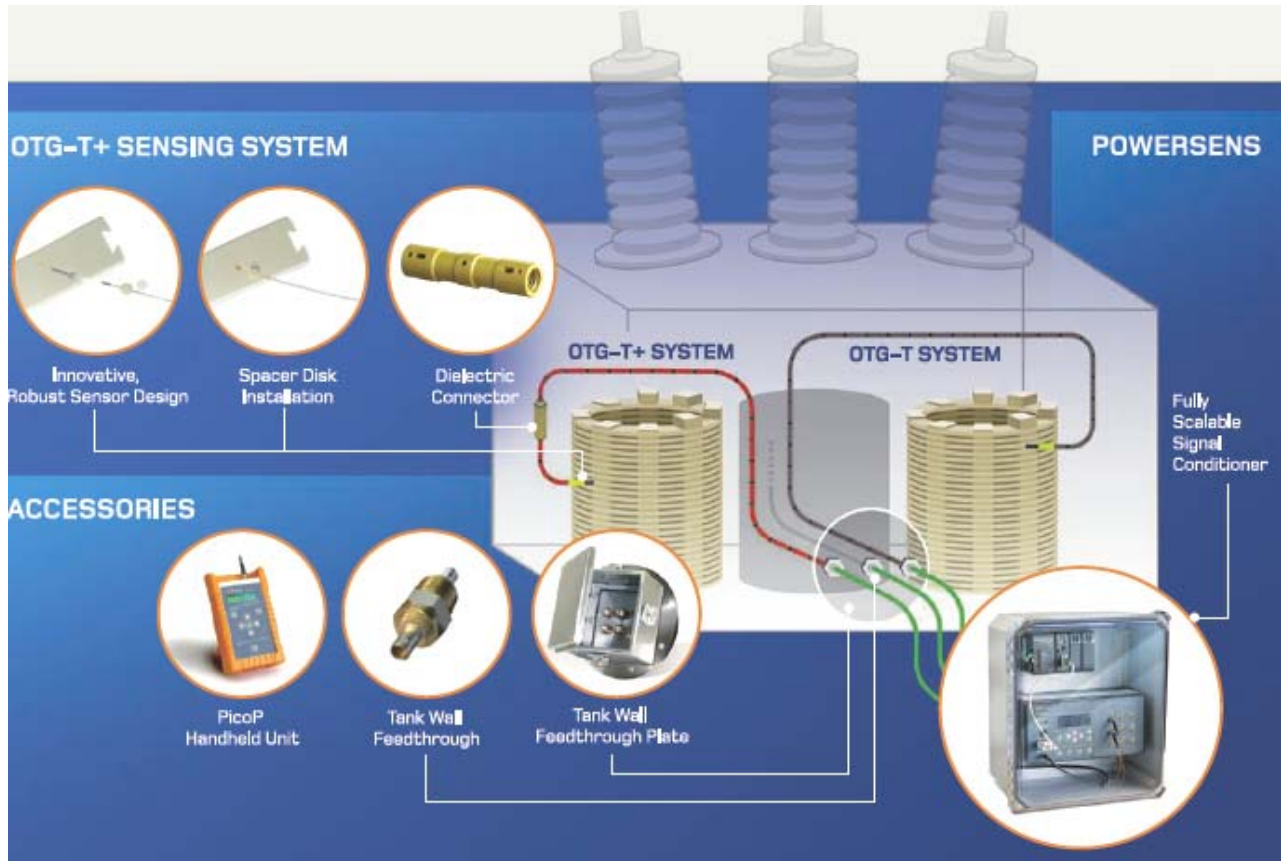
- είναι εγγενώς απρόσβλητοι από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- είναι ελαφριοί και με μικρό μέγεθος
- μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στη δεξαμενή του μετασχηματιστή χωρίς να επηρεάζουν την ακεραιότητα του συστήματος μόνωσης
- μπορεί να επιτευχθεί τοπική μέτρηση της θερμοκρασίας, σε αντίθεση με τη συμβατική μέτρηση της θερμοκρασίας τυλιγμάτων μέσω θερμομέτρου. Η μέτρηση μέσω της χρήσης οπτικών ινών δίνει με ακρίβεια τη θερμοκρασία του θερμότερου σημείου. Έτσι το σύστημα ψύξης λειτουργεί αποδοτικότερα, με το αντίστοιχο οικονομικό όφελος.
- μπορεί να επιτευχθεί ακριβέστερος προσδιορισμός της θέσης εκδήλωσης των μερικών εκκενώσεων, εξαιτίας της μειωμένης εξασθένισης των παραγόμενων ακουστικών κυμάτων
- υπάρχει η δυνατότητα πολυπλεξίας

Οι οπτικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται συνεθέστερα είναι τύπου Bragg Grating. Το άκρο μέτρησης του αισθητήρα τοποθετείται στο εσωτερικό του μετασχηματιστή. Το άλλο άκρο καταλήγει σε ένα σύνδεσμο διπλού βίσηματος, το εσωτερικό και το εξωτερικό. Στο εσωτερικό βύσμα πραγματοποιείται η σύνδεση που προαναφέρθηκε. Στο εξωτερικό βύσμα συνδέεται το καλώδιο οπτικών ινών που μεταφέρει τα σήματα στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Η συνδεσμολογία γίνεται σε στεγανό κουτί διακλάδωσης το οποίο τοποθετείται πάνω στη δεξαμενή.

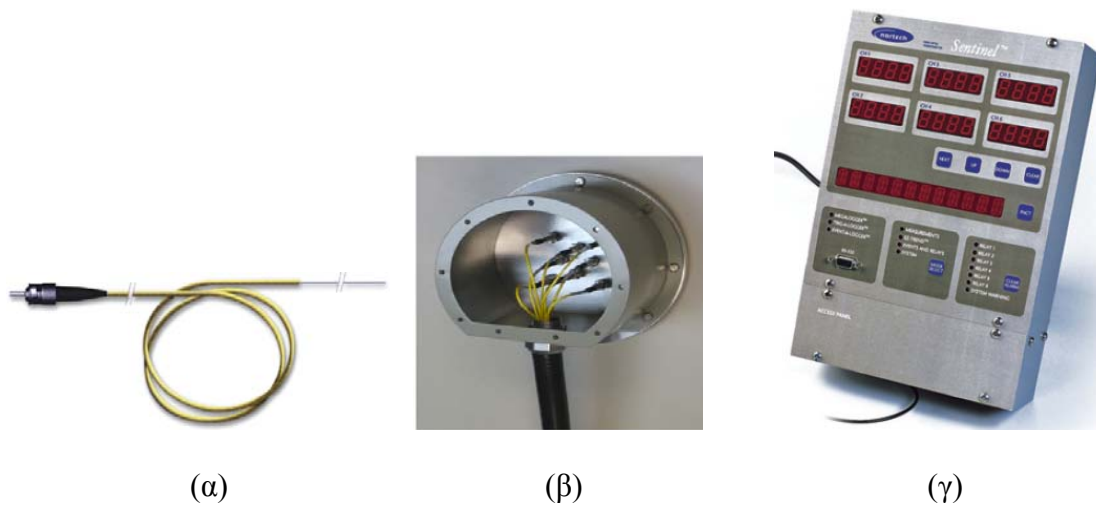
Στη συνέχεια αναφέρονται τα βασικότερα είδη οπτικών αισθητήρων που διατίθενται στην αγορά για εγκατάσταση σε μετασχηματιστές ισχύος [68,69].

- α) Αισθητήρες θερμοκρασίας
- β) Αισθητήρες πίεσης
- γ) Αισθητήρες μεταβολής μήκους (μηκυσιόμετρα)
- δ) Αισθητήρες μετατόπισης

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τη χρήση οπτικών αισθητήρων είναι της τάξης του $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ με ανάλυση $0,1^{\circ}\text{C}$. Το εύρος λειτουργίας κυμαίνεται από -40°C έως 250°C . Η πλήρης αξιοποίηση των αισθητήρων πραγματοποιείται με τη χρήση της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας. Αυτή είναι μια αυτόνομη μονάδα είτε ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με το κατάλληλο υλικό δισύνδεσης και με το συνοδευτικό λογισμικό. Σε κάθε περίπτωση οι μετρήσεις μπορούν να απεικονισθούν, να αποθηκευθούν σε ιστορικά αρχεία για περαιτέρω μελέτη της συμπεριφοράς του μετασχηματιστή.



Σχήμα V.3-1: Σύστημα παρακολούθησης με χρήσης οπτικών ινών, [37].



Σχήμα V.3-2: Τυπικός εξοπλισμός συστήματος οπτικών ινών

(α) : Οπτική ίνα [38].

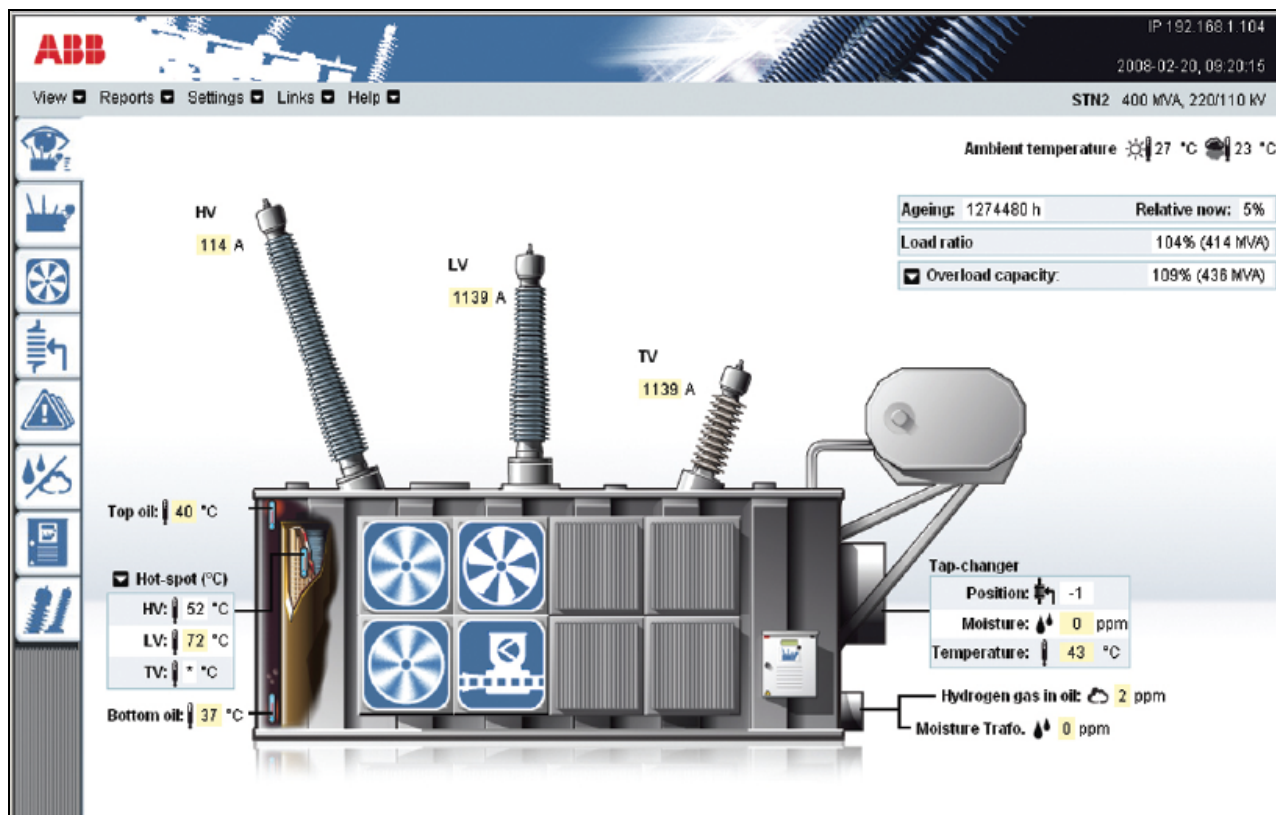
(β) : Κιβώτιο συνδέσεων, τοποθετημένο σε δεξαμενή, [61] σχ.7.

(γ) : Μονάδα συλλογής δεδομένων [39].

4. Η παρακολούθηση και διάγνωση πραγματικού χρόνου μέσω λογισμικού

Η παρακολούθηση, η εκτίμηση και η διάγνωση της κατάστασης των μετασχηματιστών διευκολύνεται σημαντικά με τη χρήση συσκευών, οι οποίες λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων γίνεται είτε τοπικά από τις ίδιες τις συσκευές, είτε απομακρυσμένα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η οργανωμένη εποπτεία όλων αυτών των πληροφοριών σε συνδυασμό με την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, είναι καθοριστικής σημασίας για την λήψη αποφάσεων από το μηχανικό. Πλέον, πολλές εταιρίες διαθέτουν στην αγορά εξελιγμένες συσκευές που έχουν τη δυνατότητα μετρήσης όλων ή μέρους των βασικών παραμέτρων λειτουργίας ενός μετασχηματιστή. Ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω εύχρηστου παραθυρικού περιβάλλοντος. Όταν οι μετρούμενες τιμές ξεπερνούν προκαθορισμένα όρια ασφαλείας συμβαίνει ενεργοποίηση συναγερμών, η οποία μπορεί να συνοδεύεται από προτεινόμενες δράσεις ανάλογα με το πόσο εξελιγμένο είναι το σύστημα παρακολούθησης. Επίσης, οι τιμές μπορούν να καταγράφονται και να καταχωρούνται σε ιστορικά αρχεία, ώστε να μελετώνται ρυθμοί μεταβολής μεγεθών. Τέλος, σημειώνεται ότι η διαδικασία ελέγχου μπορεί να πραγματοποιείται ακόμη και διαδικτυακά ελαχιστοποιώντας το κόστος μετακινήσεων του τεχνικού προσωπικού στον χώρο της εγκατάστασης. Έτσι η σχεδίαση της συντήρησης γίνεται ταχύτερα, με επαναληψιμότητα και ακρίβεια.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ένα σύγχρονο περιβάλλον απεικόνισης, που έχει αναπτυχθεί από την εταιρία ABB. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η κεντρική οθόνη του λογισμικού δίνει τα βασικά στοιχεία για έναν μετασχηματιστή ελαίου 400MVA, 220/110kV με τριτεύον τύλιγμα.



Σχήμα V.4: Τυπική οθόνη λογισμικού απεικόνισης και ελέγχου, [41]

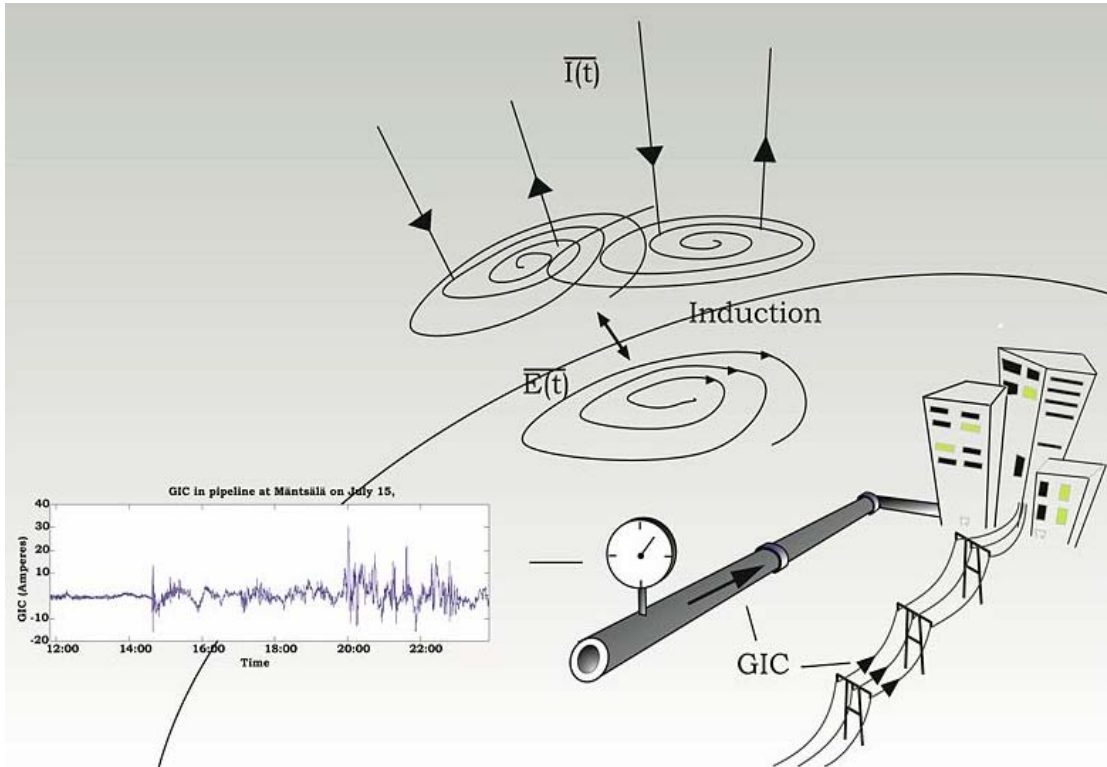
Οι παράμετροι λειτουργίας που μπορούν να ελέγχονται είναι:

- θερμοκρασίες
 - θερμοκρασία άνω στρώματος λαδιού
 - θερμοκρασία τυλιγμάτων (Υ.Τ. και Χ.Τ.)
 - θερμοκρασία περιβάλλοντος
 - σύγκριση μετρούμενων τιμών με θεωρητικά υπολογιζόμενες
 - ποσοστό φόρτισης
- σύστημα ψύξης
 - λειτουργία ή μη ανεμιστήρων
 - λειτουργία ή μη αντλιών
 - αριθμός ωρών συνεχούς λειτουργίας
 - αριθμός ωρών λειτουργίας από το τελευταίο σερβις
- μεταγωγέας λήψεων
 - θέση
 - αριθμός χειρισμών
 - φθορά επαφών
 - περιέχομενη υγρασία στο λάδι
- αναφορές
 - παραγωγή αναφορών αναλόγα με επίπεδο σοβαρότητας (προειδοποίηση, συναγερμός) συνοπτική περιγραφή της βλάβης, το εξάρτημα, την ημερομηνία εμφάνισης και την ημερομηνία ενημέρωσης του αρμόδιου προσωπικού.
- μονωτήρες διέλευσης
 - ρεύμα στους μονωτήρες
- υγρασία στο λάδι/ανίχνευση υδρογόνου εφόσον έχουν τοποθετηθεί οι αντίστοιχοι αισθητήρες
 - υπολογισμός σχετικής υγρασίας (%)
 - υπολογισμός συγκεντρώσεων (ppm)

5. Η επίδραση των γεωμαγνητικώς επαγόμενων ρευμάτων

Κάθε 11 περίπου έτη, συμβαίνουν διαταραχές στην επιφάνεια του ηλίου. Ισχυρά ηλεκτρικά ρεύματα (πλήθος κινούμενων φορτισμένων σωματιδίων), που ρέουν στην μαγνητόσφαιρα και την ιονόσφαιρα της Γης, προκαλούν μεταβολές στο γεωμαγνητικό πεδίο, οι οποίες με τη σειρά τους επάγουν ισχυρά ηλεκτρικά ρεύματα στο έδαφος και το υπέδαφος.

Σήμερα είναι γνωστό ότι σε περιόδους έντονης μαγνητικής δραστηριότητας μεταβάλλονται τα ηλεκτρικά ρεύματα που ρέουν στην μαγνητόσφαιρα και ιονόσφαιρα της γης. Ως συνέπεια, αναπτύσσονται στην επιφάνεια της γεωμαγνητικά ρεύματα από επαγωγή, τα οποία προκαλούν πλήθος δυσλειτουργιών σε δίκτυα ηλεκτροδότησης, συστήματα μεταφοράς ενέργειας, σωλήνες μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου, καλώδια τηλεπικοινωνιών, εγκαταστάσεις σιδηροδρόμων, καθώς και προβλήματα διάβρωσης σε πυλώνες υψηλής τάσης, [10].



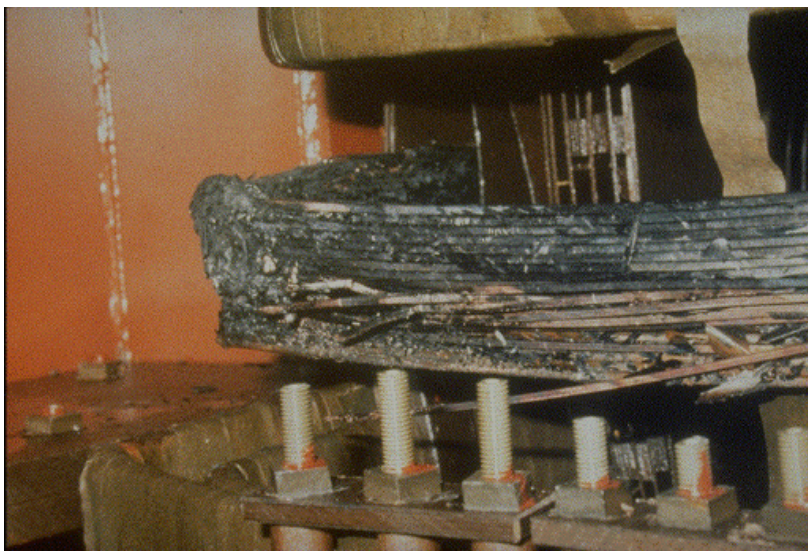
Σχήμα V.5-1: Εμφάνιση γεωμαγνητικώς επαγόμενων ρευμάτων (πηγή διαδίκτυο)

Κατά τη διάρκεια ισχυρών μαγνητικών καταιγίδων έχουν σημειωθεί διακοπές ρεύματος (“black-outs”) λόγω καταστροφής μεγάλων μετασχηματιστών του δικτύου ηλεκτροδότησης, καθώς επίσης και διακοπές των τηλεπικοινωνιών, τόσο μέσω εδάφους, όσο και μέσω δορυφόρων. Κατά τη διάρκεια ισχυρής μαγνητικής καταιγίδας το Μάρτιο του 1989, κατέρρευσε το δίκτυο ηλεκτροδότησης της επαρχίας Κεμπέκ του Καναδά. Το μπλακάουτ κράτησε εννέα ώρες και κόστισε στην εταιρεία ηλεκτρισμού περίπου πεντακόσια εκατομμύρια δολάρια, [70, 104].

Επίδραση στους μετασχηματιστές ισχύος

Τα γεωμαγνητικά ρεύματα οδηγούν στον κορεσμό του μετασχηματιστή. Αυτό σημαίνει:

- κατανάλωση μεγάλης ποσότητας αέργου ισχύος, με επακόλουθο τη μείωση της δυναμικότητας του ηλεκτρικού συστήματος μεταφοράς και την πτώση της τάσης.
- παραγωγή αρμονικών που οδηγούν αφενός σε ενδεχόμενες εσφαλμένες ενεργοποιήσεις, αφετέρου σε απώλειες στον εξοπλισμό
- αυξημένη μαγνητική ροή στον μετασχηματιστή με αποτέλεσμα την παρατεταμένη θέρμανσή του και τη δημιουργία θερμών σημείων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μόνιμη βλάβη ή και ολική καταστροφή του μετασχηματιστή.



Σχήμα V.5-2: Αλλοίωση μετασχηματιστή κατά τη διάρκεια ισχυρής μαγνητικής καταιγίδας, [71].

Μέθοδοι αντιμετώπισης

Η μείωση της επίδρασης των γεωμαγνητικών ρευμάτων συνιστά αντικείμενο έρευνας. Σε γενικές γραμμές, οι προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη συστημάτων πρόβλεψης των μαγνητικών καταιγίδων και διαταραχών. Οι προσομοιωτές χρησιμοποιούν δεδομένα πραγματικού χρόνου που δίνονται από τα παρατηρητήρια για να προσομοιώσουν την ροή των γεωμαγνητικών ρευμάτων μέσα από τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η μοντελοποίηση δίνει πίνακες και γραφικές παραστάσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς και τους διαχειριστές του συστήματος για να πραγματοποιηθεί η απαιτούμενη αντιστάθμιση του δικτύου. Αυτή γίνεται μέσω ([10] παραγρ.6.9.1, [101]):

- α) Πυκνωτών σε σειρά με τις γραμμές μεταφοράς ή στις γειώσεις των ουδετέρων κόμβων των μετασχηματιστών. Η χρήση των εν σειρά πυκνωτών είναι ακριβή και όχι τεχνικά άμεση.
- β) Απόρριψη φορτίου από το ηλεκτρικό σύστημα, ώστε να αυξάνεται το περιθώριο φόρτισης.

6. Η ανάλυση ταλαντώσεων

Ο μετασχηματιστής είναι μια διάταξη που δεν διαθέτει κινούμενα μέρη. Στην ιδανική περίπτωση οι κραδασμοί που παράγονται κατά τη λειτουργία του πρέπει να είναι αμελητέοι. Όσο πιο καλή είναι η αρχική κατασκευή, τόσο χαμηλότερα είναι και τα επίπεδα των έμφυτων κραδασμών. Όσο ο μετασχηματιστής φθείρεται/γηράσκει, το ποσοστό των κραδασμών αυξάνεται. Στην πράξη, οι κινήσεις του πυρήνα εξαιτίας της αλλαγής της φοράς του μαγνητικού πεδίου δημιουργούν κραδασμούς. Τα βραχυκυκλώματα και οι αιχμές από μεταγωγές ασκούν μεγάλες δυνάμεις, τείνοντας να μετακινήσουν, να σηκώσουν ή να αλλοιώσουν τα δομικά στοιχεία του μετασχηματιστή. Τέλος η σταδιακή χειροτέρευση του μονωτικού συστήματος λόγω της υγρασίας ή της θερμοκρασίας επιφέρει συρρίκνωση και τελικώς, χαλαρότητα στη στερεά μόνωση, [3].

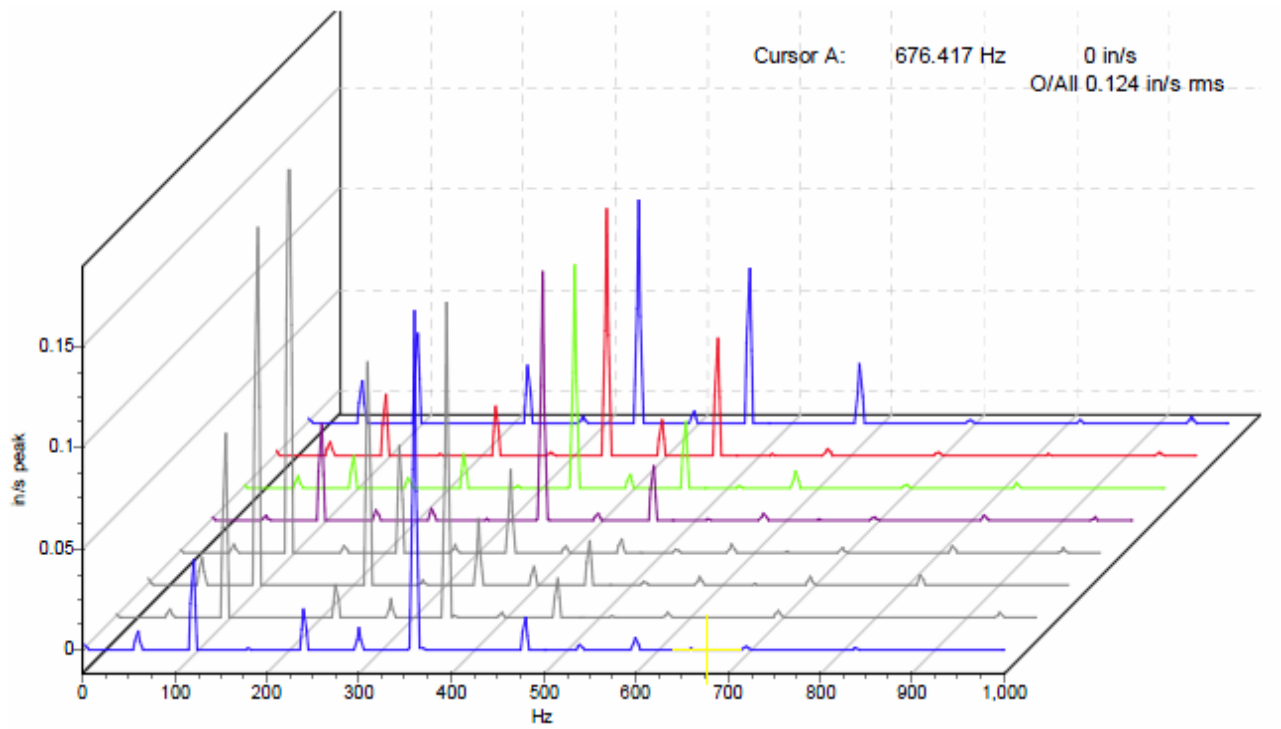
Η ανάλυση των ταλαντώσεων είναι μια μέθοδος που ανιχνεύει τους κραδασμούς, εντοπίζοντας πιθανά προβλήματα στον πυρήνα και τα τυλίγματα του μετασχηματιστή. Τα πλεονεκτήματα της ανάλυσης ταλαντώσεων είναι ότι πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο, με τον μετασχηματιστή υπό φορτίο και δεν προσβάλλει το εσωτερικό του.

Αρχή λειτουργίας-Μεθοδολογία μέτρησης [72]

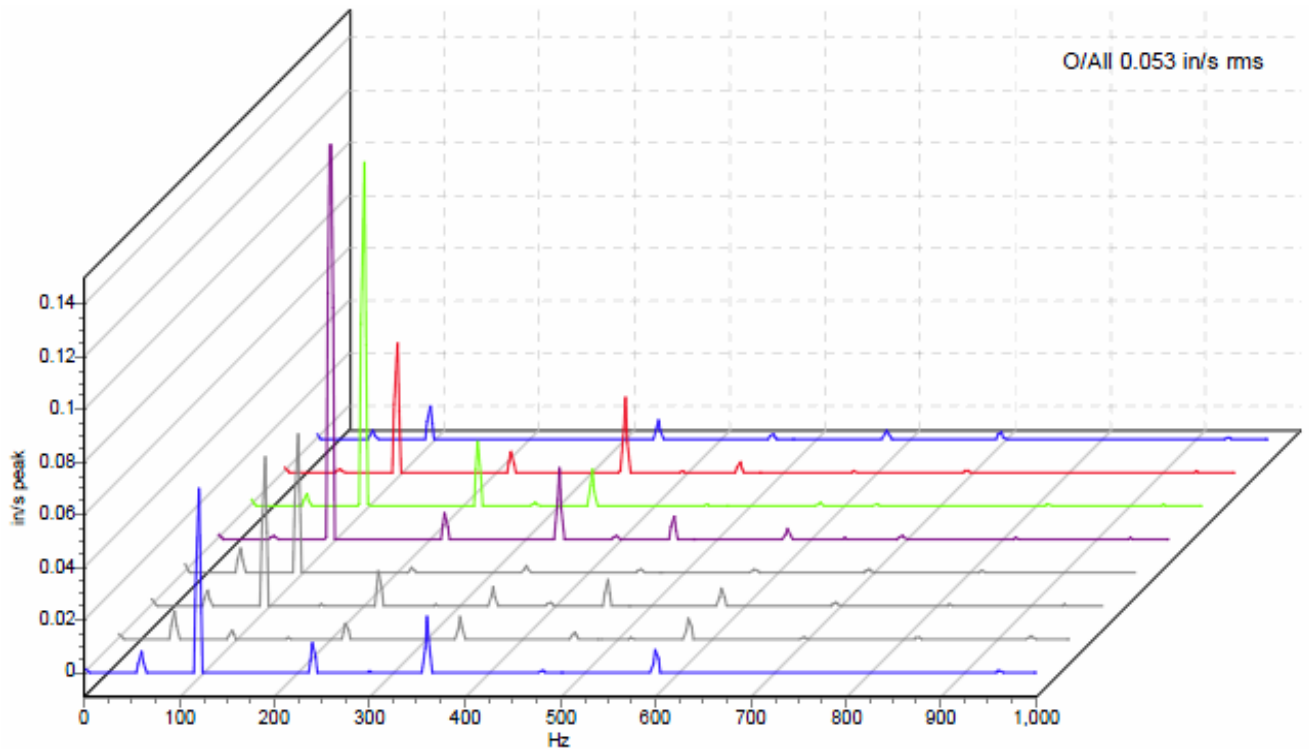
Ενα προσαρτημένο σε μια μαγνητική βάση επιταχυνσιόμετρο, μεταδίδει τα σήματα που περισυλλέγονται από το όργανο μέτρησης. Αυτά μεταφέρονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου γίνεται επεξεργασία των δεδομένων από κατάλληλο λογισμικό ανάλυσης κραδασμών. Τα σημεία τοποθέτησης των αισθητήρων πάνω στον μετασχηματιστή είναι συνήθως 8. Σε κάθε πλευρά του μετασχηματιστή τοποθετούνται 2 αισθητήρες, των οποίων η ακριβής θέση εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος του μετασχηματιστή. Η τοποθέτηση ξεκινά από την πλευρά υψηλής τάσης και συνεχίζεται με ανθρωπολογική φορά. Η κυρίαρχη συχνότητα κραδασμών είναι τα 100(120)Hz, καθώς και τα πολλαπλάσια αυτής: 200(240), 300(360), 400(480) και 500(600)Hz. Τα 100Hz παριστάνουν δύο πλήρη κύματα των 50Hz που κινούνται από τον πυρήνα προς το τοίχωμα του μετασχηματιστή διαμέσω του μονωτικού λαδιού. Στα επόμενα διαγράμματα δίνεται η απόκριση σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε δύο όμοιους μετασχηματιστές (πηγή Partial Discharge and Vibration Testing of Power Transformers, JLG, LLC).

Διάγραμμα V.6-1 : Μετασχηματιστής 100MVA με φορτίο 6 MVA. Μέση στάθμη θορύβου 92db. Ο μετασχηματιστής παρουσίασε έντονη δραστηριότητα όσον αφορά τους κραδασμούς και είχε αυξημένη στάθμη θορύβου. Η εξέταση έδειξε ότι υπήρχαν πολλές χαλαρωμένες βίδες σύσφιξης, [72], case study 3 σελ 15.

Διάγραμμα V.6-2 : Μετασχηματιστής 100MVA με φορτίο 6 MVA (πανομοιότυπος με τον προηγούμενο και τοποθετημένος στον ίδιο υποσταθμό). Μέση στάθμη θορύβου 68db. Ο μετασχηματιστής ήταν αθόρυβος και χωρίς κραδασμούς, [72], case study 3.1 σελ 16.



Διάγραμμα V.6-1



Διάγραμμα V.6-2

Τα κριτήρια κατάταξης της κατάστασης των μετασχηματιστών με βάση τους παραγόμενους κραδασμούς δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Επίπεδο κραδασμών (ips)*	Κατάσταση μετασχηματιστή
0,25-0,50	Ελάχιστο επίπεδο κραδασμών
0,50-0,75	Περαιτέρω έλεγχος
0,75-1,00	Λεπτομερής έλεγχος για διαρροές λαδιού, αέρια θερμών μετάλλων, αυξανόμενα επίπεδα θορύβου
≥ 1	Σημαντικές διαρροές λαδιού, συγκεντρώσεις αερίων, θερμά σημεία

*Σημείωση: ips: ίντσες ανά δευτερόλεπτο

Πίνακας V.6: Επίπεδα κραδασμών, [99].

Περαιτέρω έρευνα αφορά τα εξής αντικείμενα:

- καθορισμός ακριβέστερων κριτηρίων κατάταξης
- καθορισμός των θέσεων τοποθέτησης των αισθητήρων ανάλογα με το είδος του μετασχηματιστή (τύπος πυρήνα, τύπος μανδύα)
- συσχέτιση των αποτελεσμάτων της μεθόδου διαλυμένων αερίων όσον αφορά τα αέρια θερμών μετάλλων με τα επίπεδα ταλαντώσεων
- κατάταξη των δοκιμών ταλαντώσεων στις δοκιμές σειράς
- καθιέρωση της χρήσης της καμπύλης στάθμισης θορύβου τύπου C αντί της καμπύλης A που χρησιμοποιείται σήμερα (IEC 61672:2003, ANSI S1.4-1981)

Παρατήρηση: Η άναλυση ταλαντώσεων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της κατάστασης των αντλιών. Υψηλή στάθμη κραδασμών σημαίνει πιθανή ύπαρξη μεταλλικών σωματιδίων, οπότε απαιτείται λήψη μέτρων.

7. Οι δοκιμές διάβρωσης και εκτίμησης της επίδρασης του θειούχου χαλκού

Τα τελευταία χρόνια η δημιουργία θειούχου χαλκού έχει προκαλέσει βλάβες σε μετασχηματιστές, έχοντας ως αποτέλεσμα την υλοποίηση περαιτέρω έρευνας. Ο θειούχος χαλκός επικάθεται σε διάφορα στοιχεία των τυλιγμάτων, όπως είναι οι αγωγοί, το χαρτί και η εξωτερική μόνωση των τυλιγμάτων. Επειδή οι επικαθίσεις είναι αγωγίμες, υποβαθμίζουν την ηλεκτρική μόνωση και τη διηλεκτρική αντοχή του μετασχηματιστή. Το 2005, συστάθηκε από την Cigre η ομάδα εργασίας WG A2.32 για την αντιμετώπιση του πρόβληματος του σχηματισμού σουλφιδίων χαλκού στη μόνωση του μετασχηματιστή. Παρά το γεγονός ότι έχει σημειωθεί πρόοδος στον τομέα των δοκιμών, δεν έχουν ακόμα αποσαφηνιστεί θέματα όπως η ακριβής αιτία της δημιουργίας του θειούχου χαλκού και ποιος είναι ο απειλούμενος εξοπλισμός. [99]. Οι μέθοδοι μέτρησεων δεν έχουν προσδιοριστεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να δημιουργηθούν αποτελεσματικά μέτρα αντιμετώπισης.

Παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση θειούχου χαλκού [73] παρ.2.1.2

- Μια βασική προϋπόθεση είναι η παρουσία θειούχων ενώσεων μέσα στο μονωτικό λάδι. Το αργό πετρέλαιο μπορεί να περιέχει θειούχες ενώσεις έως και 20%. Πολλές από αυτές είναι ωφέλιμες για τη διάρκεια ζωής του λαδιού αφού δρουν ως φυσικά αντιοξειδωτικά. Οι

θειούχες ενώσεις κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες, ανάλογα με το πόσο διαβρωτικές είναι.

Πολύ ενεργές	Ενεργές	Σταθερές	Πολύ σταθερές
S (Θείο) R-SH (Μερκαπτάνες)	R-S-R ₁ (Σουλφίδια)	R-S-S-R (Δισουλφίδια)	RS RSR (Θειοφαίνεια)

Πίνακας V.7-1: Κλάσεις των ενώσεων φουρανίων και της συμπεριφοράς τους έναντι της διάβρωσης, [74] πιν.1.

Για λόγους ευκολίας στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων, οι συγκεντρώσεις της περιεκτικότητας σε θείο μετρήθηκαν σε µg S/g (ppm) λαδιού.

- Όλες οι χημικές αντιδράσεις εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Ο σχηματισμός θειούχου χαλκού επηρεάζεται από αυτήν, χωρίς ωστόσο να έχει συσχετιστεί επακριβώς με την εμφάνιση ή τη θέση δημιουργίας του. Σε εργαστηριακά πειράματα ο θειούχος χαλκός εμφανίζεται σε εύρος θερμοκρασιών από 80°C έως 150°C.
- Η παρουσία οξυγόνου.

Δοκιμές σε δοκίμια

Αρχικά είχαν προταθεί από τη Cigre τρεις δοκιμές. Η μία από αυτές ήταν μια εξέλιξη της δοκιμής που περιγράφεται στο πρότυπο ASTM D1275, ενώ οι άλλες δύο ήταν δοκιμές σε χάλκινα δοκίμια με διαφορετικό βαθμό επικάλυψης από χαρτί. Στην έρευνα συμμετείχαν δεκαοκτώ εργαστήρια που διεξήγαγαν πειράματα εις διπλούν σε δεκατρία διαφορετικά μονωτικά λάδια, χρησιμοποιώντας και τις τρεις μεθόδους. Η σύνοψη των συνθηκών των ως άνω δοκιμών δίνεται στον επόμενο πίνακα:

	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 2
Δοχείο δοκιμής	Φιάλη Erlenmeyer	Φυαλίδιο 20ml	Φυαλίδιο 20ml
Χαρτί	6x25mm	Πεπλατυσμένος αγωγός 6x25mm	6x25mm
Όγκος χαρτιού	Κανένα	Μια στρώση χαρτιού kraft	Χαλκινή λωρίδα πλάτους 50mm τυλιγμένη με χαρτί kraft
Έκθεση σε αέρα	250ml	15ml	19ml
Χρονικό διάστημα/ θερμοκρασία	48ώρες/150°C	72ώρες/150°C	96ώρες/140°C

Πίνακας V.7-2: Συνθήκες δοκιμών, [75].

Από τις παραπάνω δοκιμές, η δοκιμή 2 επιλέχθηκε ως η πιο αξιόπιστη (παραγωγισιμότητα και επαναληψιμότητα), και ικανή να ανιχνεύσει διαβρωτικά λάδια. Είναι η συνιστώμενη μέθοδος, ωστόσο είναι μόνο προσεγγιστική.

Μέθοδοι ανίχνευσης

Τα αποτελέσματα από τις τελευταίες έρευνες ([74], σύνοψη και αποτελέσματα) σχετικά με την ανίχνευση δυβενζιλικού δισουλφίδιου (DBDS) έδειξαν ότι:

- Η χρωματογραφία αερίων με ανίχνευση ηλεκτρονίων (GC/ECD) είναι απλή, ευαίσθητη και σχετικά αξιόπιστη. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε γηρασμένα και καινούρια λάδια με μικρή επιβάρυνση σε αυτά. Επίσης το απαιτούμενο δείγμα είναι μικρότερο από 1ppm.
- Η αεριοχρωματογραφία/φασματογραφία μάζας (GC/MS) είναι πιο καταφατική, μπορεί να ανιχνεύσει και άλλα σουλφίδια (όπως DMS) αλλά είναι λιγότερο ευαίσθητη και όχι ακόμα διαθέσιμη. Η ανίχνευση ατομικών ακτινοβολιών (GC/AED) έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να ανιχνεύσει όλα τα παραγόμενα σουλφίδια αλλά επηρεάζεται από την ακτινοβολία, με μεγαλύτερο κόστος και δυσχερέστερη εργαστηριακή υλοποίηση.
- Η στοιχειομετρική ανάλυση με Ag/Ag₂S μπορεί να ανιχνεύσει μερκαπτάνες και δισουλφίδια. Η μέθοδος είναι κοπιώδης και απαιτεί συχνό καθαρισμό των ηλεκτροδίων και ρυθμίσεις για υψηλότερες συγκεντρώσεις.
- Η ανίχνευση μεσω επαγωγικά συζευμένου πλάσματος (ICP) παρουσίασε χαμηλό βαθμό επαναληψιμότητας ανάμεσα στα διάφορα εργαστήρια.

Ανίχνευση βλαβών από θειούχο χαλκό

Ο θειούχος χαλκός δεν εντοπίζεται παρά μόνο αφού ανοιχθεί και εξετασθεί το εσωτερικό του μετασχηματιστή. Όταν οι επικαθίσεις είναι λιγοστές δεν είναι εύκολα παρατηρήσιμες. Η παρατήρηση γίνεται αφού προηγουμένως έχει καθαριστεί η λάσπη και οι ακαθαρσίες. Το χαρτί ξετυλίγεται προσεκτικά μέχρι τον αγωγό και παρατηρείται για επικαθίσεις.



Εικόνα V.7-1: Επικαθίσεις θειούχου χαλκού σε αγωγούς, [73] σχ.1f.



Εικόνα V.7-2: Επικαθίσεις θειούχου χαλκού σε χαρτί, [73] σχ.1g.

Μεθοδοι αντιμετώπισης [73] παρ.4

- Η προσθήκη μεταλλικών αδρανοποιητών αποτελεί την ευρύτερα διαδεδομένη τακτική. Το πιο κοινό πρόσθετο είναι το προϊόν με την εμπορική ονομασία Irgamet 39. Η ύπαρξη των αντιοξειδωτικών είναι ήδη γνωστή από την χρήση στα ορυκτέλαια που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη λίπανση και σε μικρότερο ποσοστό για τη μόνωση. Τα πρόσθετα εμποδίζουν το φαινόμενο της διάβρωσης, βελτιώνουν την αντοχή στην οξείδωση και καταστέλλουν την δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού. Τα κυριότερα από αυτά είναι η βενζοτριαζόλη, και το Irgamet 39. Τα αποτελέσματα της μακροχρόνιας χρήσης ανενεργών στοιχείων δεν είναι πλήρως γνωστά.
- Η αναγέννηση του λαδιού με τη μέθοδο της επιλεκτικής αποπόλωσης, η οποία πραγματοποιείται με την χρήση συνδυασμού αντιδραστηρίων και υλικών απορρόφησης μπορεί να επιφέρει μείωση στην εμφάνιση της διάβρωσης.

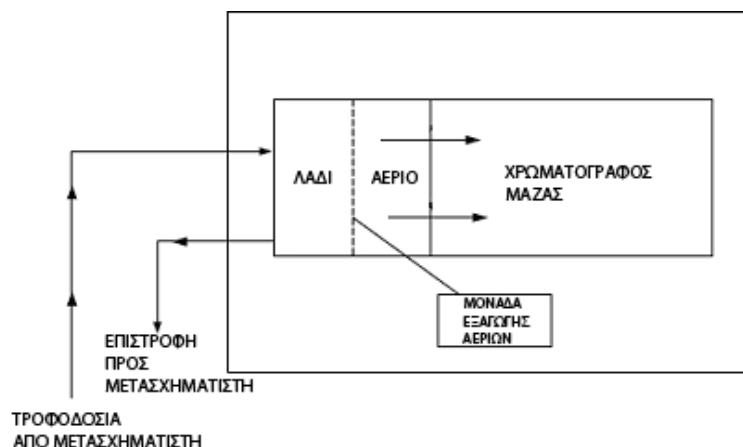
Η συγκέντρωση περισσότερων πληροφοριών σχετικά με το φαινόμενο ανάπτυξης του θειούχου χαλκού είναι απαραίτητη. Οι προτεινόμενες ενέργειες που οδηγούν σε αυτήν την κατεύθυνση, είναι:

- η συγκέντρωση αναφορών από τους χρήστες των μετασχηματιστών
- η χρήση του ερωτηματολογίου που έχει αναπτυχθεί από την ομάδα εργασίας SC A2 της Cigre
- μελέτη των μακροχρόνιων αποτελεσμάτων της χρήσης ανενεργών στοιχείων BTA, benzotriazol και tolytriazol
- μέθοδοι απομάκρυνσης του διαβρωτικού σουλφιδίου από το λάδι
- η δημιουργία συμπληρωματικών προδιαγραφών για το μονωτικό λάδι

8. Η ανίχνευση πρόσθετων αερίων εκτός του υδρογόνου

Η συνεχής εξέλιξη έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αισθητήρων ικανών να ανιχνεύσουν και άλλα αέρια εκτός από το υδρογόνο. Αυτοί έχουν τη δυνατότητα μέτρησης των διαλυμένων αερίων στο μονωτικό λάδι, υπό συνθήκες λειτουργίας του μετασχηματιστή. Δηλαδή οι συγκεντρώσεις των αερίων παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να υπάρχει ανάγκη δειγματοληψίας. Η σταδιακή μείωση του κόστους των αισθητήρων καθώς και ο έλεγχος της αξιοπιστίας τους ενδέχεται να αντικαταστήσει τη διαδικασία της δειγματοληψίας και ανάλυσης στο εργαστήριο, της οποίας το κόστος είναι υπολογίσιμο, [10] παρ.6.7.6. Οι αισθητήρες μέτρησης είναι συνήθως ενσωματωμένοι σε μια συσκευή. Αυτή παρεμβάλεται στις σωληνώσεις

του μετασχηματιστή, επιτρέποντας στο λάδι να περάσει από αυτήν. Στη συνέχεια πραγματοποιείται δειγματοληψία και με τη μέθοδο της αεριοχρωματογραφίας προσδιορίζονται οι συγκεντρώσεις των αέριων.



Εικόνα V.8-1: Υλοποίηση της συνδεσμολογίας μέτρησης με αεριοχρωματογράφο, [42].

Τα αέρια που μπορούν να ανιχνευθούν μέσω αισθητήρων με τις σημερινές τεχνολογίες είναι:

- Μονοξείδιο του άνθρακα
- Διοξείδιο του άνθρακα
- Ακετυλαίνιο
- Αιθυλαίνιο
- Υδρογόνο
- Αιθάνιο
- Μεθάνιο
- Οξυγόνο

Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα συσχέτισης των συγκεντρώσεων των παραπάνω αερίων, της περιεχόμενης υγρασίας του μονωτικού λαδιού, της θερμοκρασίας λαδιού και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με τις συνθήκες φόρτισης. Οι μετρηθείσες τιμές μπορούν να καταχωρούνται σε ιστορικά αρχεία, απαραίτητα για τη μετέπειτα μελέτη της συμπεριφοράς του μετασχηματιστή.



Εικόνα V.8-2: Συσκευή ανάλυσης αερίων πραγματικού χρόνου, [42].

9. Η συσχέτιση ανάλυσης φουρανίων με τα υλικά κυτταρίνης [3,76]

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο III.1.6, η ανάλυση φουρανίων αποτελεί μία μέθοδο προσέγγισης της υποβάθμισης της κυτταρίνης. Όταν το μονωτικό χαρτί γηράσκει, ο βαθμός πολυμερισμού του μειώνεται, το ίδιο και η μηχανική του αντοχή. Αν ο βαθμός πολυμερισμού είναι γνωστός, μπορεί να εκτιμηθεί η γήρανση του χαρτιού και συνεπώς ο βαθμός γήρανσης του ίδιου του μετασχηματιστή. Ο βαθμός πολυμερισμού μπορεί να υπολογιστεί άμεσα μόνο με δειγματοληψία χαρτιού, μια σύνθετη διαδικασία που σπανίως εφαρμόζεται στην πράξη. Για αυτό το λόγο η συσχέτιση γίνεται έμμεσα, με τη τεχνική της αεριοχρωματογραφίας υγρής φάσης υψηλής απόδοσης. Το επικρατέστερο από τα φουράνια είναι η φουρφουράλη. Από πειράματα έχει προκύψει ότι η σχέση της με τον βαθμό πολυμερισμού του χαρτιού είναι:

$$\text{Log}(Fur) = 1.51 - 0.0035 * PD \Rightarrow PD = \frac{\text{Log}(Fur) - 1.51}{-0.0035} \quad (1)$$

όπου Fur : η περιεχόμενη στο λάδι φουρφουράλη (mg/l)

PD : ο βαθμός πολυμερισμού του χαρτιού

Επίσης, από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε πλήθος από τυχαία επιλεγμένους μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης διαπιστώθηκε ότι το περιεχόμενο φουράνιο είναι συνάρτηση των ετών λειτουργίας και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Log}(Fur) = -1.83 + 0.058 * T$$

η οποία λαμβάνοντας υπόψιν την γραμμικότητα χρόνου λειτουργίας-περιεχόμενης φουρφουράλης, διαμορφώνεται ως εξής:

$$Fur = e^{-4.21 + 0.13 * T}$$

όπου Fur : η περιεχόμενη στο λάδι φουρφουράλη (mg/l)

T : τα έτη λειτουργίας του μετασχηματιστή (λαμβάνονται αυτά που μεσολαβούν από τον τελευταίο καθαρισμό του λαδιού ή αυτά της πραγματικής λειτουργίας του μετασχηματιστή εφόσον δεν έχει μεσολαβήσει καθαρισμός του λαδιού, επισκευή ή άλλη επέμβαση)

R: 0,708 ο συντελεστής γραμμικής εξάρτησης μεταξύ χρόνου λειτουργίας εξοπλισμού και του λογαρίθμου της περιεχόμενης φουρφουράλης)

Παράδειγμα υπολογισμού βαθμού πολυμερισμού μέσω φουρφουράλης

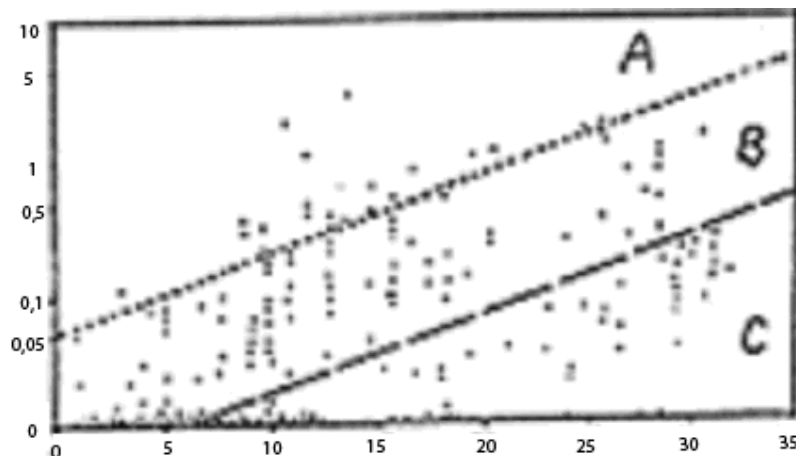
Σε μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης με 28 έτη λειτουργίας μετρήθηκε περιεχόμενο φουρφουράλης 0.71mg/l. Από την σχέση (1) υπολογίζεται ότι ο βαθμός πολυμερισμού είναι 473. Απευθείας μέτρηση που πραγματοποιήθηκε έδειξε βαθμό πολυμερισμού 443, δηλαδή παραπλήσιο του θεωρητικά υπολογιζόμενου.

Ερευνες που πραγματοποιήθηκαν από τον Xue Chendong οδήγησαν στην ομώνυμη μέθοδο. Σύμφωνα με αυτήν οι μετασχηματιστές κατατάσσονται σε τρεις ζώνες. Αυτές είναι:

- η ζώνη κανονικής γήρανσης, κατά την οποία η γήρανση της στερεάς μόνωσης εξελίσσεται κατά τη διάρκεια μακράς χρονικής περιόδου λειτουργίας υπό κανονικές συνθήκες
- η ζώνη μη κανονικής γήρανσης, κατά την οποία η γήρανση της στερεάς μόνωσης προκαλείται ταχέως λόγω υψηλών θερμοκρασιών, τοπικής υπερθέρμανσης και οφείλεται σε αστοχία μελέτης ή κατασκευής υλικών
- η ζώνη βραδείας γήρανσης, κατά την οποία η γήρανση της στερεάς μόνωσης προκαλείται αργά.

Οι παράμετροι που θεωρούνται δεδομένα είναι τα έτη λειτουργίας κι η δημιουργούμενη φουρφουράλη.

**Δημιουργούμενη
φουρφουράλη
(mg/L)**



Διάρκεια λειτουργίας (έτη)

Εικόνα V.9: Σχέση φουρφουράλης με τη διάρκεια λειτουργίας σε μετασχηματιστή υποβιβασμού, [76].

όπου: περιοχή A: ζώνη μη κανονικής γήρανσης

περιοχή B: ζώνη κανονικής γήρανσης

περιοχή C: ζώνη βραδείας γήρανσης

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης συνιστά αντικείμενο μελέτης. Η έμμεση συσχέτιση των φουρανίων με τον βαθμό πολυμερισμού δεν έχει δώσει συγκεκριμένη τυποποίηση, βάσει της οποίας να υπολογίζεται η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής ενός μετασχηματιστή. Αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους:

- α) Οι συγκεντρώσεις των φουρανίων εξαρτώνται από την ποιότητα και το ιστορικό του μονωτικού λαδιού. Όταν το μονωτικό λάδι αναγεννάται ή καθαρίζεται τα περιέχοντα φουράνια μειώνονται, καθιστώντας αδύνατη την εκτίμηση της κατάστασης της μόνωσης.
- β) η κατάταξη σε ζώνες βασίζεται σε αποτελέσματα στατιστικής, είναι συνεπώς μικρής ακριβείας.

VI. ΣΧΟΛΙΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

1. Υπολειπόμενος χρόνος ζωής με χρήση των θερμικών συντελεστών

Η διάρκεια ζωής ενός μετασχηματιστή προσεγγίζεται ικανοποιητικά από τη διάρκεια ζωής της μόνωσής του. Σε προηγούμενα χωρία της παρούσης εργασίας αναφέρθηκαν διάφορες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση του υπολειπόμενου χρόνου ζωής. Μια ακόμη προτεινόμενη μέθοδος, περιγράφεται στην διδακτορική διατριβή του Κουφάκη Εμμανουήλ., [77]. Η μέθοδος αυτή έχει ως παράδειγμα τους μετασχηματιστές διανομής, ωστόσο μπορεί να επεκταθεί και για τους μετασχηματιστές μεταφοράς. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο υπολειπόμενος χρόνος ζωής εκτιμάται με μετρήσεις της αντίστασης μόνωσης. Στη συνέχεια παρατίθεται συνοπτικά η μέθοδος και διατυπώνονται σχόλια για την εφαρμογή σε μετασχηματιστές μεταφοράς 150/20kV.

Για την ανάπτυξη της μεθόδου θεωρούνται πεδιακές εντάσεις κάτω από τις οποίες η καταπόνηση του διηλεκτρικού μπορεί να θεωρηθεί μόνο θερμική. Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές και μηχανές υφίστανται θερμική καταπόνηση εξαιτίας των απωλειών Joule, ιδιαίτερα όταν δεν πραγματοποιείται επαρκής απαγωγή θερμότητας. Η θερμική καταπόνηση του μονωτικού μπορεί να οδηγήσει σε θερμική διάτρηση αυτού. Τότε, το μονωτικό υλικό παρουσιάζει απανθράκωση ή και τήξη.

Κατά την εξέλιξη του φαινομένου της θερμικής καταπόνησης έχουμε αύξηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας σύμφωνα με τη σχέση:

$$\sigma = \sigma_o * e^{-W / KT} = \sigma_o * e^{\beta * \Delta\Theta}$$

- όπου: σ : η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα για διαφορά θερμοκρασίας $\Delta\theta$ ως προς το περιβάλλον
 σ_0 : η αρχική ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα
 W : η ενέργεια ενεργοποίησης (ενέργεια για τη μεταφορά ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας)
 K : η σταθερά Boltzmann ($1,37 \cdot 10^{-23}$ Ws/°K)
 T : η απόλυτη θερμοκρασία
 β : ένας συντελεστής, χαρακτηριστικός του υλικού

Συνεπώς:

$$\Delta\theta = \frac{\ln(\sigma / \sigma_0)}{\beta} \quad \text{και}$$

$$\Delta\theta = \frac{\ln(R_0 / R)}{\beta} \Rightarrow \beta = \frac{\ln(R_0 / R)}{\Delta\theta}$$

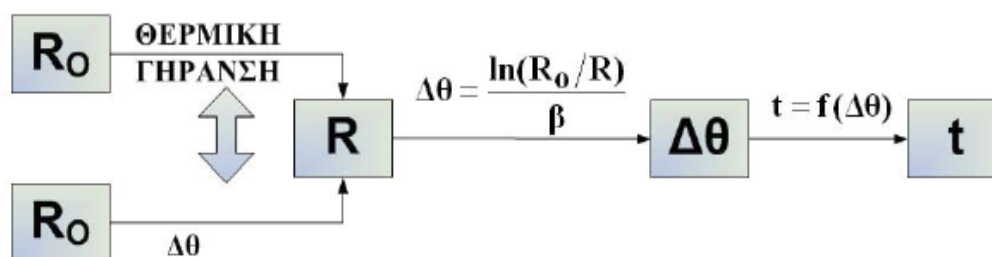
- όπου: R_0 : η αρχική αντίσταση μόνωσης (κατά την έναρξη της μέτρησης) που αντιστοιχεί στην αρχική ηλεκτρική αγωγιμότητα σ_0
 R : η αντίσταση μόνωσης κατά το χρόνο μέτρησης, που αντιστοιχεί στην ηλεκτρική αγωγιμότητα σ

Η μεταβολή της αντίστασης $\Delta R = R - R_0$ αντιστοιχίζεται σε μία αύξηση της θερμοκρασίας $\Delta\theta$. Η τιμή του συντελεστή β (ο οποίος καλείται θερμικός συντελεστής) περιγράφει ένα δεδομένο μονωτικό υλικό ή μονωτικό σύστημα και μπορεί να υπολογιστεί αν η αντίσταση της μόνωσης είναι γνωστή σε δύο διαφορετικές συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Ο συντελεστής αυτός μεταβάλλεται ελάχιστα με το χρόνο ζωής του μονωτικού και για αυτό η τιμή του μπορεί να θεωρηθεί στην πράξη σταθερή. Στο μονωτικό σύστημα του μετασχηματιστή το ρεύμα πόλωσης στο 1 min επηρεάζεται από την ποιότητα του λαδιού ενώ στα 10 min το ρεύμα πόλωσης επηρεάζεται κυρίως από το χαρτί. Έτσι, εφόσον ενδιαφέρει η κατάσταση του χαρτιού, πρέπει να επιλεγούν οι μετρήσεις στα 10 min για τον υπολογισμό των θερμικών συντελεστών β_1 και β_2 . Για τη μελέτη της μόνωσης υπολογίζονται θερμικοί συντελεστές β_1 και β_2 στα 10 min, για διαφορά θερμοκρασίας 80°C.

Από τυπικές μαθηματικές εκφράσεις για τη διάρκεια ζωής t του χαρτιού (στερεά μόνωση για μετασχηματιστές διανομής) σε συνάρτηση με την αύξηση θερμοκρασίας $\Delta\theta$, μπορεί να εκτιμηθεί η διάρκεια ζωής με τις επόμενες εξισώσεις:

- Υπολειπόμενος χρόνος ζωής σε ημέρες: $t = 264,29728 \cdot 10^5 \cdot e^{-0,0879 \cdot \Delta\theta}$
- Υπολειπόμενος χρόνος ζωής σε μήνες: $t = 3,96329 \cdot 10^5 \cdot e^{-0,0819 \cdot \Delta\theta}$
- Υπολειπόμενος χρόνος ζωής σε έτη: $t = 1,57945 \cdot 10^5 \cdot e^{-0,0938 \cdot \Delta\theta}$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η μελέτη της συμπεριφοράς και συγκεκριμένα της γήρανσης του μονωτικού συστήματος του μετασχηματιστή μπορεί να γίνει μέσω της διαφοράς θερμοκρασίας $\Delta\theta$ και των θερμικών συντελεστών β .



Σχήμα VI.1: Σχηματική παράσταση της βασικής ιδέας της προτεινόμενης μεθόδου

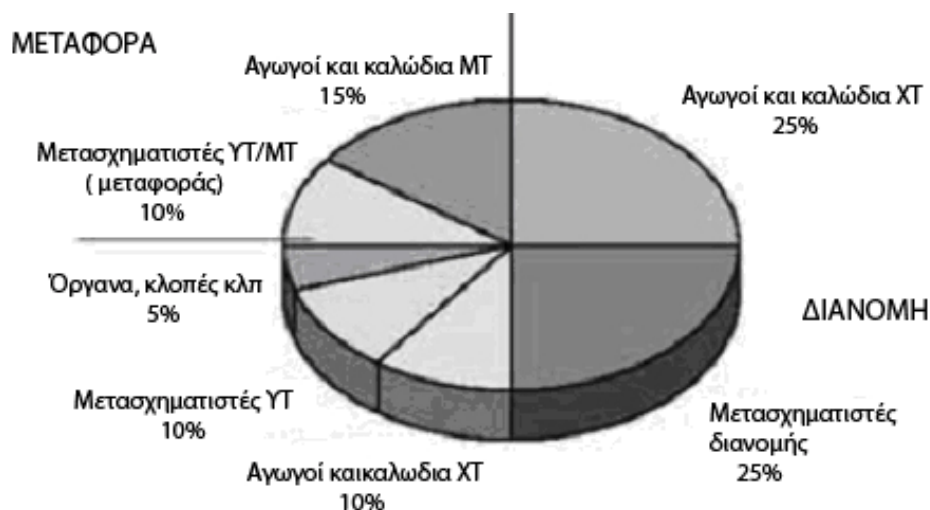
Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο οι τιμές των β_1 και β_2 (όπως και του R_0) να αναγράφονται στην πινακίδα του μετασχηματιστή σαν χαρακτηριστικά μεγέθη του μονωτικού του συστήματος.

Σχόλια πάνω στην εργασία :

- 1) Οι μετασχηματιστές που μετρήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας του κ.Κουφάκη είχαν τις εξής παραδοχές. Η αντίσταση μόνωσης ελήφθη $R=20\text{M}\Omega$, λόγω του «κανόνα του ενός $\text{M}\Omega$ ». Στην περίπτωση των μετασχηματιστών μεταφοράς η αντίσταση λαμβάνεται $R=150\text{M}\Omega$ (λόγω της ονομαστικής τάσης των 150kV). Το χρονικό διάστημα μετά το οποίο υπολογίζεται η τιμή της $\Delta\theta$ ήταν 10 λεπτά. Επειδή ωστόσο το υλικό της στερεάς μόνωσης ενδέχεται να διαφέρει στην περίπτωση των μετασχηματιστών μεταφοράς, πρέπει να διερευνηθεί η εξάρτηση του ρεύματος πόλωσης ανάλογα με το είδος χαρτιού (kraft, θερμικώς αναβαθμισμένο, pressboard, transformerboard κα) καθώς και η εξάρτηση σε υβριδικές συνθέσεις.
- 2) Η θερμοκρασία ελήφθη 80°C λόγω του ότι αυτή είναι η συνήθης ανύψωση στη θερμοκρασία του λαδιού συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Για τους μετασχηματιστές μεταφοράς μπορούν να επιλεγούν μικρότερα όρια ανύψωσης στη θερμοκρασία, αφού η υπερθέρμανση τους μπορεί να επιφέρει βλάβες μεγάλου κόστους και ζωτικής σημασίας για τα φορτία που τροφοδοτούνται (πόλεις, βιομηχανικές μονάδες).

2. Ενεργειακή απόδοση μετασχηματιστών

Οι σύγχρονοι μετασχηματιστές είναι συσκευές με υψηλό βαθμό απόδοσης, της τάξης του 98-99%. Ωστόσο λόγω του μεγάλου πλήθους τους στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, και του ότι τα μεταφερόμενα ποσά ενέργειας είναι τεράστια οι απώλειες είναι αξιοσημείωτες. Οι απώλειες που συσσωρεύονται υπολογίζονται στο ένα τρίτο των συνολικών απωλειών, [78]. Οι κυριότερες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για την εξοικονόμηση ενέργειας, αφορά τους μετασχηματιστές διανομής. Σύμφωνα με μελέτη του SEEDT η κατανομή των ηλεκτρικών απωλειών ανάλογα με το είδος του εξοπλισμού στα ευρωπαϊκά ηλεκτρικά δίκτυα, δίνεται στο επόμενο διάγραμμα.



Σχήμα VI.2-1: Κατανομή των ηλεκτρικών απωλειών σε διάφορα είδη εξοπλισμού, [79].

Παρατηρείται πως το 25% προέρχεται από τους μετασχηματιστές διανομής, ενώ το 10% προέρχεται από τους μετασχηματιστές μεταφοράς. Η έρευνα που αφορά τους μετασχηματιστές μεταφοράς υστερεί ως προς την αντίστοιχη των μετασχηματιστών διανομής. Αυτό οφείλεται στους εξής λόγους:

- Το κόστος της έρευνας είναι μεγαλύτερο. Αυτό σχετίζεται με τη χρήση ακριβότερων υλικών, το κόστος ανάπτυξης νέων μεθόδων επεξεργασίας και κατασκευής, και το κόστος των απαιτούμενων εργαστηριακών δοκιμών.
- Οι υπάρχουσες τεχνολογίες δεν επαρκούν.
- Οι απαιτήσεις ισχύος αυξάνονται ολοένα και περισσότερο, οπότε θα πρέπει να κατασκευάζονται ολοένα και πιο αποδοτικοί μετασχηματιστές
- Η αλλαγή σε νομοθεσίες και θεσμούς είναι ακόμη πιο δύσκολη στην περίπτωση μεγάλων μετασχηματιστών. Οι ως άνω μετασχηματιστές βρίσκονται σε υποσταθμούς οι οποίοι ενδέχεται να προκαλούν αντιδράσεις των τοπικών φορέων και κοινωνιών ή και περιβαλλοντικές αντιδράσεις

Μετασχηματιστές υψηλής απόδοσης

α) Άμορφου σιδήρου

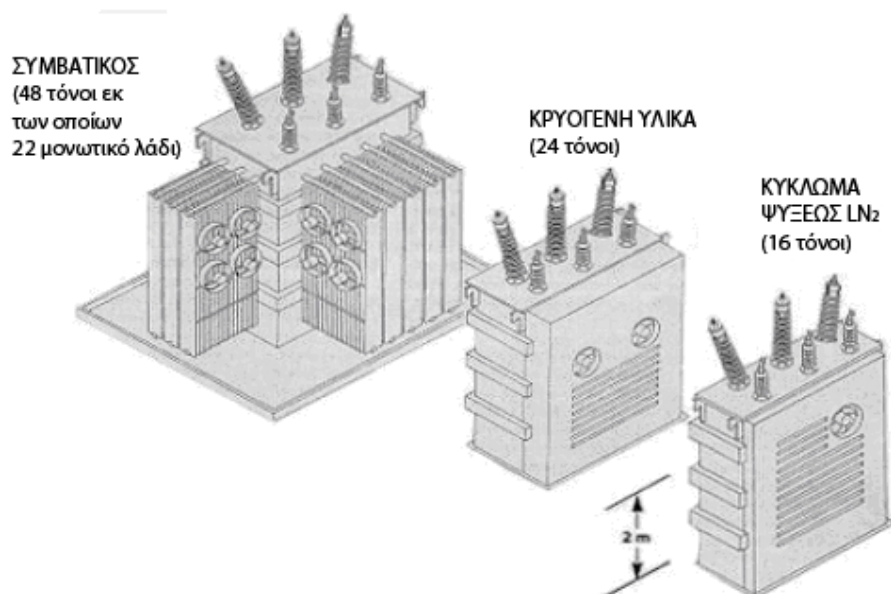
Αρχικά ο άμορφος σίδηρος χρησιμοποιήθηκε κυρίως στους μετασχηματιστές διανομής λόγω του περιορισμού των οβάλ τυλιγμάτων. Με τον καιρό η εταιρία Metglass, η οποία κατασκεύασε το υλικό του άμορφου σιδήρου, βελτίωσε τη διαδικασία παραγωγής και οδηγήθηκε στη δημιουργία πλαταιών λωρίδων. Το υλικό έγινε γνωστό ως POWERCORE. Σταδιακά τα μειονεκτήματα της χρήσης του άμορφου σιδήρου εξαλείφθηκαν, με επακόλουθο την ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή του στην πράξη. Στις μέρες μας είναι εγκατεστημένοι χιλιάδες τέτοιοι μετασχηματιστές διανομής, ενώ η εφαρμοσιμότητα σε μετασχηματιστές μεταφοράς είναι υπό έρευνα. Η μελλοντική μείωση του κόστους του άμορφου σιδήρου μέσω της μαζικής παραγωγής ενδέχεται να καταστήσει τους μετασχηματιστές άμορφου σιδήρου οικονομικότερους σε σχέση με τους συμβατικούς με πυρήνα από χάλυβα πυριτίου, [80].

β) Υπεραγώγιμα υλικά

Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση φορτίου σε συνδυασμό με την μείωση του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης δημιουργεί την ανάγκη χρήσης ακόμα πιο εξελιγμένων υλικών. Τα τυλίγματα που κατασκευάζονται από υπεραγώγιμα υλικά έχουν μικρότερες απώλειες, αυξάνοντας τον βαθμό απόδοσης σχεδόν στο 100%. Επίσης, οι διαφορετικές πυκνότητες ρεύματος επιτρέπουν το σχεδιασμό μικρότερων τυλιγμάτων με όφελος στις διαστάσεις του μετασχηματιστή. Τέλος, το βάρος μειώνεται δραστικά, λόγω της κατάργησης των τυλιγμάτων από χαλκό, της κατάργησης του μονωτικού λαδιού και της αναδιαμόρφωσης του πυρήνα, [3,4]. Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα είναι:

- υψηλότερη απόδοση και μείωση κατά το ήμισυ των ηλεκτρικών απωλειών
- αντοχή σε διπλάσια φόρτιση χωρίς κίνδυνο καταστροφής της μόνωσης
- αντικατάσταση του επιβλαβούς για το περιβάλλον μονωτικού λαδιού από υγρό άζωτο
- μικρότερη αντίσταση βραχυκύκλωσης
- μείωση βάρους σε σχέση με τους συμβατικούς μετασχηματιστές. Μείωση διαστάσεων κατά το ήμισυ

Η τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα των μετασχηματιστών από υπεραγώγιμα υλικά αποτελεί αντικείμενο μελέτης. Το 1997 η εταιρία Waukesha σε συνεργασία με την εταιρία ICG Superpower, το αμερικάνικο κέντρο ερευνών Oak Ridge National Lab και την εταιρία Rochester Gas & Electric προχώρησε στην μελέτη και υλοποίηση μετασχηματιστών από υπεραγώγιμα υλικά. Στην πρώτη φάση κατασκευάστηκε ένας μετασχηματιστής ισχύος 1MVA. Στην δεύτερη φάση το 2003 κατασκευάστηκε και μελετήθηκε μετασχηματιστής ισχύος 5/10 MVA ενώ ξεκίνησε η οργάνωση για κατασκευή ενός μετασχηματιστή ισχύος 30MVA. Η τρίτη φάση αφορά την δημιουργία πρότυπων μετασχηματιστών 30/60MVA με σταδιακή εφαρμογή τους σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα VI.2-2: Σύγκριση των διαστάσεων ενός συμβατικού μετασχηματιστή 30MVA σε σχέση με αντίστοιχο που διαθέτει σύστημα ψύξης από κρυογενή υλικά και υγρό άζωτο. Παρατηρείται μείωση του βάρους έως και το ένα τρίτο του αρχικού, [81].

Το πεδίο των υπεραγώγιμων υλικών σε μετασχηματιστές ισχύος μελετάται με δοκιμές και μετρήσεις σε πειραματικούς μετασχηματιστές.



Σχήμα VI.2-3: Μετασχηματιστής υπεραγώγιμων υλικών ισχύος 5/10 MVA, [82].

Προτεινόμενα μέτρα

α) σήμανση

- επίπεδο θορύβου
- θερμοκοί συντελεστές
- τάση φόρτισης λαδιού
- K factor

β) θεσμικά μέτρα

- δημιουργία ερευνητικού προγράμματος
- καθορισμός μέγιστων επιτρεπόμενων απωλειών
- επιδότηση/ποινή μέσα από νομοθεσία
- δημιουργία προδιαγραφών ενεργειακής απόδοσης

γ) χρήση φυσικών ή συνθετικών εστέρων

δ) εξυπνη συντήρηση μέσω λογισμικού

3. Μέτρα ασφάλειας προσωπικού

Διαδικασία εκπόνησης εργασιών [20] παρ.9.7.3

Τα σημαντικότερα βήματα για την εξασφάλιση ασφαλούς διεξαγωγής εργασιών είναι τα παρακάτω, τα οποία και περιγράφονται συνοπτικά.

α) Προσδιορισμός χώρου εργασίας:

Ο χώρος στον οποίο γίνονται εργασίες πρέπει να περιγράφεται σαφώς στα σχέδια και τα σχετικά έγγραφα. Οι σημάνσεις πρέπει να είναι ευδιάκριτες, να τοποθετούνται σε ύψος τέτοιο ώστε να είναι ορατές, και η παρακολούθησή τους συνεχόμενη. Πραγματοποιούνται από τον υπεύθυνο και αφορούν τα εξής.

- μαρκάρισμα καλωδίων και συνδέσεων
- χωροθέτηση του χώρου εργασίας με κορδέλες, πινακίδες και φράγματα
- σημάνσεις κινδύνου πλησίον εξαρτημάτων που βρίσκονται υπό τάση

β) Πλήρης ηλεκτρική απόζευξη και εξασφάλιση μη δυνατότητας επανασύζευξης:

Ο εξοπλισμός πρέπει να διακόπτεται και να γειώνεται. Κατά τη διάρκεια των εργασιών πρέπει να εξασφαλίζεται ηλεκτρική ασυνέχεια μέσω διατάξεων κλειδώματος, αφαίρεση των ασφαλειών ή τοποθέτησης φραγμάτων. Η συνιστώμενη διαδικασία έχει ως εξής: κάθε εργαζόμενος που εργάζεται σε εξοπλισμό ή κύκλωμα θα πρέπει να ασφαλίζει τον αντίστοιχο διακόπτη παροχής με λουκέτο. Το λουκέτο πρέπει να συνοδεύεται από το ονοματεπώνυμο και τα στοιχεία επικοινωνίας του εργαζομένου, ώστε όταν κάποιος θέλει να εκτελέσει εργασία να έχει τη δυνατότητα να τον βρει. Όταν η εργασία ολοκληρώνεται ο εργαζόμενος απομακρύνει το λουκέτο με το όνομα του και επαναφέρει τον διακόπτη στην αρχική του θέση.

γ) Προστασία από ενεργό εξοπλισμό:

Η σήμανση, η κατανόηση των κυκλωμάτων και η τήρηση των κανόνων ασφαλείας είναι βασικοί παραγόντες για την προστασία από ενεργό εξοπλισμό. Παρά το γεγονός ότι έχει προηγηθεί αποσύζευξη, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή. Τα βασικά σημεία είναι:

- εκτίμηση κινδύνου ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν πρόκειται να δημιουργηθεί επικίνδυνη τάση από γειτονικό ενεργό κύκλωμα ή από συνδέσεις των γειώσεων.
- κατανόηση της λειτουργίας των κυκλωμάτων και συνδεσμολογιών σε περίπτωση που ο εξοπλισμός μεταβαίνει από ενεργή σε ανενεργή κατάσταση και αντίστροφα σε στάδια, ώστε να είναι γνωστό ποιο τμήμα είναι ηλεκτρισμένο κάθε φορά.
- σε περιπτώσεις επαγόμενων τάσεων και ρευμάτων (γραμμές υψηλής τάσης, ουδέτεροι κόμβοι μετασχηματιστών) το προσωπικό πρέπει να χρησιμοποιεί τα κατάλληλα μονωμένα μέσα ατομικής προστασίας.

δ) Ειδικές προφυλάξεις κοντά σε γυμνούς αγωγούς:

Στην περίπτωση εργασίας κοντά σε γυμνούς αγωγούς πρέπει να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας που δίνονται στους πίνακες VI.3-1 και VI.3-2. Επίσης είναι σημαντικό να τηρούνται τα εξής μέτρα προστασίας:

- χρήση γαντιών κατάλληλων για το επίπεδο τάσης της εγκατάστασης
- εύκολη προσβασιμότητα για αποφυγή πτώσεων
- παρουσία δεύτερου ατόμου για δυνατότητα βοήθειας

ε) Έλεγχος μη υπάρξης ηλεκτρικού ρεύματος:

Η επαλήθευση πρέπει να γίνεται με όργανα δοκιμής, διαπιστευμένα πριν και μετά από κάθε δοκιμή.

στ) Έλεγχος γειώσεων και βραχυκυκλώσεων:

- Ο εξοπλισμός πρέπει να γειώνεται με συνδέσεις και αγωγούς ικανούς να μεταφέρουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης.
- Οι γειώσεις πρέπει να εφαρμόζονται μεταξύ του σημείου εργασίας και οποιασδήποτε πιθανής πηγής υψηλής τάσης. Πραγματοποιούνται από διαπιστευμένο άτομο, εφοδιασμένο με τα κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας.
- Οι φορητές γειώσεις πρέπει να εφαρμόζονται σε όλες τις φάσεις με τρόπο ώστε να εκφορτίζονται τα εναπομείναντα φορτία και οι επαγόμενες τάσεις.
- Ο χώρος εργασίας πρέπει να γειώνεται ώστε να αποτελεί ισοδυναμική επιφάνεια.

ζ) Έκδοση άδειας εργασιών:

Η άδεια εργασιών πιστοποιεί ότι ο χώρος εργασίας έχει ελεγχθεί ως προς την καταλληλότητα και ότι το προσωπικό είναι σε θέση να πραγματοποιήσει εργασίες. Επίσης, αποτελεί έγγραφο νομικής ευθύνης εκ μέρους του εξουσιοδοτημένου προσώπου όσον αφορά τη λήψη και την τήρηση των απαιτούμενων μέτρων ασφαλείας. Η άδεια δίνει τις εξής πληροφορίες:

- χώρος εργασίας και μέτρα προστασίας
- σκοπός των εργασιών
- υφιστάμενοι κίνδυνοι
- δήλωση ολοκλήρωσης της εκτίμησης ρίσκου
- δήλωση ολοκλήρωσης του φύλλου ελέγχου
- στοιχεία προσωπικού και υπογραφές

Οι σημάνσεις που τοποθετούνται πριν την έναρξη της εργασίας δεν πρέπει να απομακρύνονται παρά μόνο με την ακύρωση της άδειας εργασιών. Επίσης κάθε φορά που ο χώρος εργασιών μεταβάλλεται, απαιτείται έκδοση νέας άδειας η οποία να αντιστοιχεί στα νέα χωροταξικά σύνορα.

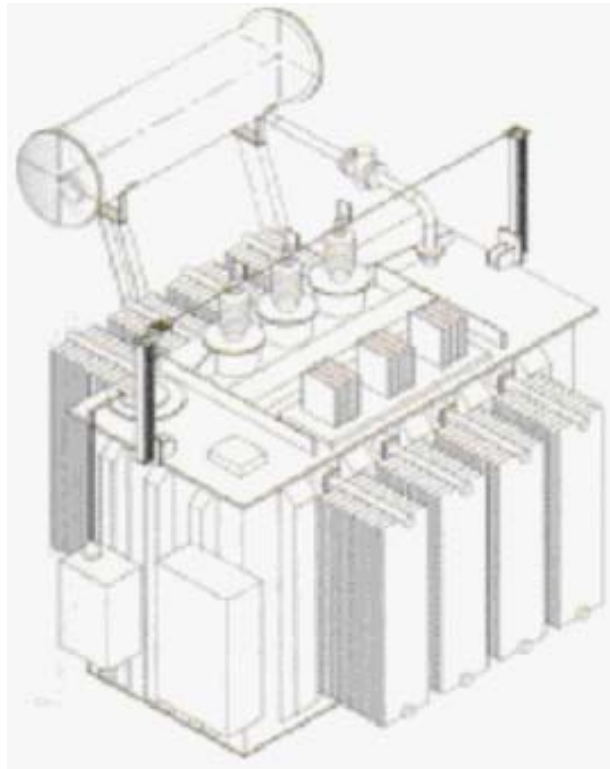
Εργασία σε ύψος

Κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων και ελέγχων ενδέχεται να χρειαστεί το τεχνικό προσωπικό να ανέβει πάνω στον μετασχηματιστή. Στην περίπτωση αυτή, η εργασία καθίσταται δυσχερής λόγω της περιορισμένης εργονομίας. Τα μέτρα ασφαλείας και ο ενδεικνύμενος εξοπλισμός περιγράφεται από το κανονισμό ANSI/ASSE Z359, οι αναβαθμίσεις του οποίου δίνονται στο τεχνικό άρθρο [83]. Η ασφάλεια του προσωπικού πρέπει να εξασφαλίζεται με μέσα ατομικής προστασίας και διατάξεις προστασίας από πτώση. Τέτοιες είναι:

- Σύστημα με συρματόσχοινο ασφάλισης

Η πρόσδεση του προσωπικού με ένα σταθερό σημείο αποτρέπει την πτώση κατά την εργασία. Ωστόσο το σημείο προσδέσεως θα πρέπει να έχει κάποιο βαθμό ελευθερίας ώστε οι εργαζόμενοι να μπορούν να κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις.

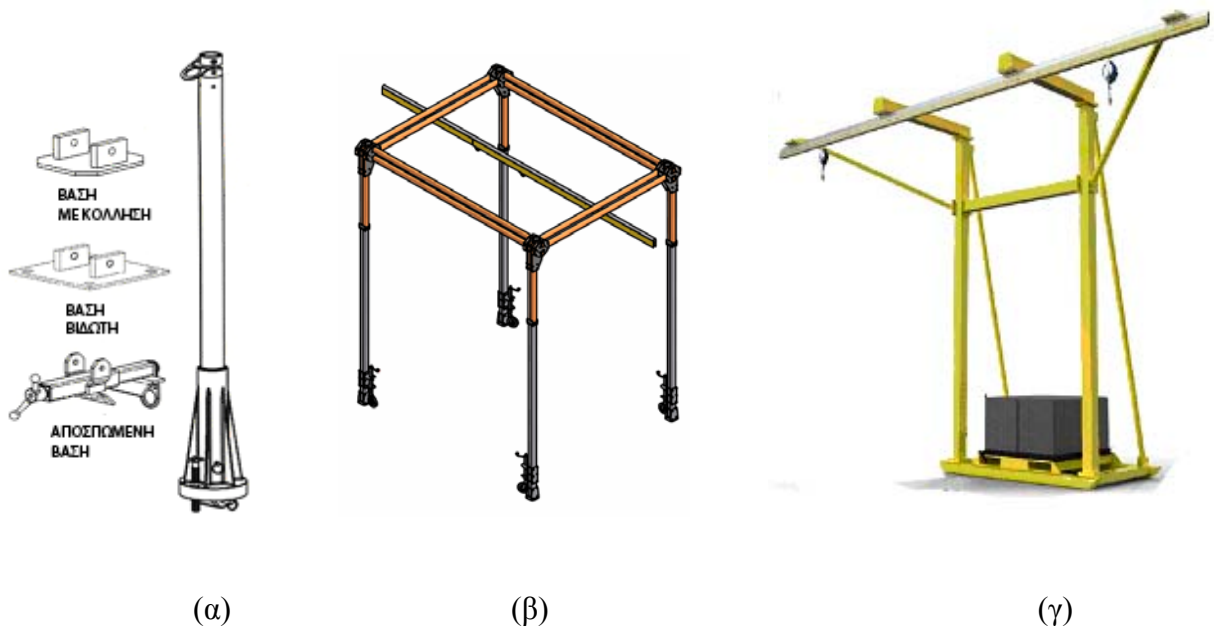
Ένα τέτοιο σύστημα προστασίας από πτώση έχει αναπτυχθεί από την εταιρία ABB, το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε μετασχηματιστή. Αποτελείται από δύο κάθετα στηρίγματα που βιδώνονται σε ειδικές βάσεις, οι οποίες κολλούνται στην επιφάνεια του μετασχηματιστή. Κατά την μεταφορά του μετασχηματιστή τα στηρίγματα μπορούν να αφαιρεθούν. Τα δύο στηρίγματα ενώνονται μεταξύ τους με συρματόσχοινο στο οποίο συνδέεται το σκοινί ασφαλείας του προσωπικού.



Σχήμα VI.3-1: Σύστημα προστασίας από πτώση NO-RISK της εταιρίας ABB

- Πύργος προστασίας από πτώση

Ο πύργος προστασίας από πτώση είναι μια μεταλλική κατασκευή με μεγάλο ύψος πάνω στην οποία προσδένεται το σκοινί ασφαλείας του τεχνικού προσωπικού. Ο ιστός βιδώνεται σε μεταλλική επιφάνεια έδρασης ή απευθείας σε βάση οπλισμένου σκυροδέματος. Η σύνηθης τακτική είναι η σταθερή στερέωση της μεταλλικής επιφάνειας έδρασης με δυνατότητα απομάκρυνσης του πύργου. Το άνω άκρο του ιστού μπορεί να περιστραφεί κατά 360 μοίρες, διευκολύνοντας την κίνηση των εργαζομένων. Οι πύργοι έχουν την δυνατότητα ανάρτησης περισσότερων του ενός εργαζομένου ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι. Ο πύργος και ο συνοδευτικός εξοπλισμός στερέωσης φαίνεται στο σχήμα VI.3-2 (α). Εκτός από τους πύργους υπάρχουν κατασκευές από δοκούς, σε διάφορα σχήματα ανάλογα με την εφαρμογή. Αυτές έχουν αυξημένη ακαμψία και σταθερότητα, ωστόσο το κόστος τους είναι μεγαλύτερο.



Σχήμα VI.3-2: Τυπικές μεταλλικές κατασκευές προστασίας από πτώση, [84].

- (α) – Πύργος προστασίας
- (β) – Ορθογώνιο πλαίσιο
- (γ) – Ικρίωμα με αντίβαρο

Μέσα ατομικής προστασίας

- γάντια
- κράνος
- μπότες
- ζώνη
- γυαλιά
- γιλέκο
- επιγονατίδες
- ωτασπίδες
- αναπνευστική μάσκα

Αποστάσεις ασφαλείας

Οι εργασίες και οι επισκευές πρέπει να γίνονται τηρώντας τις αποστάσεις ασφαλείας από ρευματοφόρους αγωγούς, εξαρτήματα υπό τάση κλπ. Οι αποστάσεις είναι γενικά συνάρτηση του επιπέδου τάσης, και ενδέχεται να διαφέρουν ανάλογα με την ιδιομορφία της εκάστοτε εγκατάστασης. Στη συνέχεια παρατίθενται πίνακες για τις κυριότερες περιπτώσεις όπως αυτές καθορίζονται στο πρότυπο BS EN 50110-1. Στο πρότυπο αυτό δίνονται οι εξής ορισμοί: η ελάχιστη απόσταση εργασίας ονομάζεται “Dv” (ανώτατο όριο ζώνης εγγύτητας) και η ενεργή ζώνη εργασίας ονομάζεται “Dc” (ελάχιστη απόσταση ασφαλείας).

Τάση συστήματος (kV)	Ελάχιστη απόσταση εργασίας (mm)	Ενεργή ζώνη εργασίας (mm)
<1	700	200
10	1350	350
20	1400	400
36	1580	580
70	1900	900
132	3100	1100
275	3800	1800
480	5200	3200

Πίνακας VI.3-1: Ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας ανάλογα με το επίπεδο τάσης σύμφωνα με τον κανονισμό BS EN 50110-1.

Ο αμερικάνικος οργανισμός NFPA έχει αναπτύξει προδιαγραφές που αποσκοπούν στον περιορισμό των εργατικών ατυχημάτων, τα οποία οφείλονται σε ηλεκτροπληξία και κεραυνούς. Συγκεκριμένα το πρότυπο NFPA 70E ορίζει τρία σύνορα πρόσβασης/προσέγγισης.

- Σύνορο ορισμένης πρόσβασης
- Σύνορο περιορισμένης πρόσβασης
- Σύνορο απαγορευμένης πρόσβασης

Σύνορο ορισμένης πρόσβασης: Είναι το σύνορο προστασίας από ηλεκτροπληξία το οποίο μπορούν να περνούν μόνο εξουσιοδοτημένα πρόσωπα (σε μία απόσταση από ενεργά εξαρτήματα). Μη εξουσιοδοτημένα πρόσωπα δεν πρέπει να περνούν αυτό το σύνορο.

Σύνορο περιορισμένης πρόσβασης: Είναι το σύνορο προστασίας από ηλεκτροπληξία το οποίο μπορούν να περνούν μόνο εξουσιοδοτημένα πρόσωπα (σε μία απόσταση από ενεργά εξαρτήματα), το οποίο λόγω της εγγύτητάς του σε πηγή κινδύνου προϋποθέτει την χρήση κατάλληλων αντιηλεκτροπληξιακών τεχνικών και μέσων ατομικής προστασίας. Μη εξουσιοδοτημένα πρόσωπα δεν πρέπει να περνούν αυτό το σύνορο.

Σύνορο απαγορευμένης πρόσβασης: Είναι το σύνορο προστασίας από ηλεκτροπληξία το οποίο μπορούν να περνούν μόνο εξουσιοδοτημένα πρόσωπα (σε μία απόσταση από ενεργά εξαρτήματα), το οποίο προϋποθέτει τη χρήση των μέτρων προστασίας που θα απαιτούσε εργασία με άμεση επαφή σε ενεργό εξοπλισμό.

Ο πίνακας που ακολουθεί δίνει τα παραπάνω σύνορα σε συνάρτηση με το επίπεδο τάσης της εγκατάστασης.

Εύρος ονομαστικής τάσης συστήματος (πολική, kV)	Σύνορο ορισμένης πρόσβασης (mm)	Σύνορο περιορισμένης πρόσβασης (mm)	Σύνορο απαγορευμένης πρόσβασης (mm)
	Θέση προστατευτικών φραγμάτων για προστασία μη διαπιστευμένων προσώπων από ηλεκτροπληξία	Διαπιστευμένα πρόσωπα με χρήση μέσων ατομικής προστασίας	Είσοδος σε αυτή τη ζώνη μπορεί να προκαλέσει σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο
0,051-0,750	3050	305	25
0,751-15	3050	660	180
15,1-36	3050	790	255
36,1-46	3050	840	430
46,1-72.5	3050	990	635
72,6-121	3250	1050	815
138-145	3350	1100	940
161-169	3550	1220	1070
230-242	3950	1600	1450
345-362	4700	2600	2450
500-550	5800	3450	3300
765-800	7300	4550	4400

Πίνακας VI.3-2: Σύνορα ασφαλείας όπως ορίζονται από τον οργανισμό NFPA.

4. Προτεινόμενες φόρμες ελέγχου και ασφάλειας

Πριν την έναρξη εργασιών πρέπει να γίνεται εκτιμηση του κινδύνου, ανάλυση των χαρακτηριστικών και των ειδικών απαιτήσεων ώστε αυτή να εκτελείται με ασφάλεια. Όλοι οι εργαζόμενοι, πρέπει-ανεξαρτήτως ιεραρχίας-να διαθέτουν επίγνωση των κινδύνων και να είναι ενημερωμένοι σχετικά με τους τρόπους αντιμετώπισης αυτών. Είναι προφανές ότι η ασφάλεια κατά την εργασία απαιτεί ένα οργανωμένο σύστημα εκπαίδευσης και εφαρμογής. Μέσα από αυτό οι κανόνες αφομοιώνονται καλύτερα και ταχύτερα, προλαμβάνοντας επικίνδυνες καταστάσεις. Ένας σχετικά εύκολος τρόπος οργάνωσης είναι η θέσπιση ερωτηματολογίων που πρέπει να συμπληρώνονται πριν από κάθε εργασία. Με αυτά μπορούν να προσδιοριστούν κενά ασφαλείας στον εξοπλισμό και στα μέσα ατομικής προστασίας. Είναι σημαντικό ότι τα ερωτηματολόγια πρέπει να συμπληρώνονται με εγκυρότητα, οικειοθελώς και από το σύνολο των εμπλεκόμενων εργαζομένων. Οι επόμενες φόρμες προέρχονται από την εταιρία ABB, είναι ενδεικτικές, και προσαρμόσιμες ανάλογα με την εφαρμογή.

Η πρώτη φόρμα (πίνακας VI.4-3) συμπληρώνεται από όλους τους εργαζόμενους που συγκροτούν την ομάδα εργασίας. Συμπεριλαμβάνει γκρίζα πεδία για την περίπτωση της αρνητικής απάντησης. Όταν αυτά ξεπερνούν έναν προκαθορισμένο αριθμό (για παράδειγμα δύο γκρίζα πεδία) μπορεί να ενεργοποιείται ένα μηχανισμός ασφαλείας, όπως ενημέρωση του προσωπικού ή έλεγχος των προδιαγραφών των εργαλείων. Όταν το ποσοστό των αρνητικών απαντήσεων αυξηθεί, σε συνδυασμό με περαιτέρω ελέγχους από τους αρμόδιους η έκδοση άδειας εργασιών θα καταστέλεται.

ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΔΞ/ΔΑ	ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
			Έχει γίνει ο σκοπός της εργασίας κατανοητός; Ο σκοπός της εργασίας πρέπει να γίνει κατανοητός πριν την έναρξη των εργασιών.
			Είμαι κατάλληλα εκπαιδευμένος και καταρτισμένος για να πραγματοποιήσω την εργασία; Μόνο εκπαιδευμένοι και καταρτισμένοι εργαζόμενοι μπορούν να πραγματοποιούν ηλεκτρολογικές εργασίες ή να συμπληρώνουν αυτό το ερωτηματολόγιο. Καταρτισμένος θεωρείται εκείνος ο οποίος έχει κατανοήσει τη κατασκευή και τη λειτουργία του εξοπλισμού για τη συγκεκριμένη εργασία και των κινδύνων που αυτή εγκυμονεί.
			Έχω πραγματοποιήσει την ίδια εργασία στο παρελθόν; Σε περίπτωση ανεπάρκειας γνώσεων συστήνεται επαφή με τον υπεύθυνο.
			Έχω παρακολουθήσει μια προκαταρκτική ενημέρωση; Πριν την έναρξη εργασιών, ο επικεφαλής πρέπει να ενημερώσει τους εμπλεκόμενους εργαζόμενους. Η ενημέρωση περιλαμβάνει τα εξής αντικείμενα: σκοπός εργασίας, σχετικοί κίνδυνοι, μέτρα αποφυγής κινδύνων, καθορισμός ρόλων. Η ενημέρωση πρέπει να γίνεται ακόμη και σε περίπτωση ατομικής εργασίας.
			Είναι ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ασφαλισμένος και με σημάνσεις; (σε κατάσταση πλήρους απενεργοποίησης)
			Έχω επαληθεύσει την μη ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος; Πρέπει να προηγείται έλεγχος καλής λειτουργίας του ανιχνευτή ή πολυμέτρου που θα χρησιμοποιηθεί.
			Υπάρχει εκτεθειμένος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός υπό τάση; Εάν ναι, επιλέξτε το επίπεδο τάσης. <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> >49 έως 250V >250 έως 600V >600V </div>
			Διαθέτω τα κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της εργασίας; Τα μέσα ατομικής προστασίας πρέπει να συγκεντρώνονται και να ελέγχονται πριν την έναρξη των εργασιών.
			Διαθέτω τα κατάλληλα μονωμένα εργαλεία και εξοπλισμό δοκιμών; Ο έλεγχος των εργαλείων και συσκευών δοκιμών πρέπει να προηγείται της έναρξης των εργασιών.
			Απαιτείται άδεια έναρξης εργασιών; Εάν ναι, ποιές από τις επόμενες απαιτούνται; <input type="checkbox"/> Άδεια εργασιών υπό τάση <input type="checkbox"/> Άδεια εισόδου <input type="checkbox"/> Άλλα έγγραφα
			Έχω τον έλεγχο του περιβάλλοντος χώρου; Ο έλεγχος του χώρου πρέπει να εξασφαλίζεται πριν την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου και την έναρξη των εργασιών. <input type="checkbox"/> Χώρος περιορισμένης εργονομίας <input type="checkbox"/> Εκκρηκτικό περιβάλλον <input type="checkbox"/> Αδυναμία περιορισμού πρόσβασης από τρίτους <input type="checkbox"/> Αυξημένη πιθανότητα πτώσης εργαλείου/εξαρτήματος σε ενεργό εξοπλισμό, αγωγό ή μπάρα <input type="checkbox"/> Περιοχή αυξημένης κυκλοφορίας

			Υγρό ή σαθρό περιβάλλον
			Κατανοώ ότι η ολοκλήρωση της εργασίας με ασφάλεια είναι πιο σημαντική από την πίεση για έγκαιρη ολοκλήρωση;
			Εχω απορίες ή ανησυχίες σχετικά με θέματα ασφάλειας για την εκπόνηση των εργασιών;

Πίνακας VI.4-1: Φόρμα κινδύνου για συμπλήρωση από εργαζόμενους, [20] παραρτημα 7.

Η δεύτερη φόρμα (πίνακας VI.4-4) συμπληρώνεται από τον υπεύθυνο και σχετίζεται με τα βασικά σημεία ελέγχου για την εκπόνηση εργασιών. Υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης σχολίων και παραπομπών. Η φόρμα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί καθιστά το άτομο που την συμπληρώνει υπεύθυνο για τις εργασίες που θα εκτελεστούν. Συνεπώς, η ακρίβεια και η σχολαστικότητα είναι βασικές προϋποθέσεις για την συμπλήρωσή της. Να σημειωθεί ότι μπορεί να συνοδεύεται από έγγραφα τεκμηρίωσης, όπως φωτογραφίες, πιστοποιήσεις οργάνων και άλλα.

	ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΣΧΟΛΙΟ
1	Υπάρχει ασφαλής τρόπος διαφυγής σε περίπτωση ατυχήματος;			
2	Είναι ο σκοπός της εργασίας εγγράφως τεκμηριωμένος και σαφώς κατανοητός;			
3	Διαθέτουν όλα τα μέλη της ομάδας τις δεξιότητες που απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί η εργασία;			
4	Διαθέτουν όλα τα μέλη της ομάδας τα κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας;			
5	Εχει γίνει εκτίμηση του κινδύνου της εργασίας και του περιβάλλοντος χώρου;			
6	Εχει ληθεί υπόψιν το ενδεχόμενο άμεσης ή έμμεσης επαναφοράς της ηλεκτρικής τάσης;			
7	Είναι ο χώρος σαφώς προσδιορισμένος και σεσημασμένος;			
8	Είναι σαφής η ταυτοποίηση των εξαρτημάτων που βρίσκονται υπό τάση;			
9	Τα μέλη της ομάδας έχουν κατανοήσει πλήρως ποιά εξαρτήματα βρίσκονται υπό τάση και ποιά όχι;			
10	Κατά τη διάρκεια των εργασιών πρόκειται να ενεργοποιηθούν κυκλώματα ακολουθιακά; Υπάρχει μετάβαση από κατάσταση ανενεργή σε ενεργή και αντίστροφα; Εάν ναι, με κάθε αλλαγή: <ul style="list-style-type: none"> ● Αλλαγή σημάτων και προειδοποιήσεων ● Κατανόηση ποιό κύκλωμα είναι ενεργό από κάθε μέλος της ομάδας 			
11	Εχει απομονωθεί και γειωθεί ο εξοπλισμός πάνω στον οποίο θα εκτελεστούν εργασίες;			

12	Εχουν ληφθεί μέτρα για την αποφυγή της επανασύνδεσης των ηλεκτρικών κυκλωμάτων;			
13	Τα απομακρυσμένα κυκλώματα προστασίας και ελέγχου μπορούν να επαναφέρουν την ηλεκτρική του εξοπλισμού στον οποίο θα εκτελεσθούν εργασίες;			
14	Υπάρχουν σημάνσεις στα σημεία απόξευξης;			
15	Εχουν τοποθετηθεί φράγματα και κορδέλες περιορισμού πρόσβασης από τρίτους;			
16	Εχουν ληφθεί μέτρα για την αποφυγή της άμεσης επαφής με ενεργό εξοπλισμό;			
17	Εχει απομονωθεί η πλευρά της υψηλής τάσης ώστε να μην δημιουργηθεί υψηλή τάση κατά την εφαρμογή τάσης δοκιμής από την πλευρά της χαμηλής;			
18	Κατά τη διάρκεια προετοιμασίας του χώρου εργασιών το προσωπικό πρόκειται να έλθει σε κοντινή απόσταση με ενεργό εξοπλισμό; Εάν ναι: ● Λήψη ειδικών μέτρων ασφαλείας			
19	Εχει επιβεβαιωθεί μέσω οργάνου μέτρησης (ανιχνευτή, πολύμετρου) η μη ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος;			
20	Εχει ελεγχθεί το όργανο πριν και μετά τη μέτρηση;			
21	Εχουν γειωθεί όλες οι φάσεις στο σημείο εργασίας;			
22	Διαθέτουν οι αγωγοί γείωσης ικανότητα φόρτισης με τη μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης που ενδέχεται να δημιουργηθεί;			
23	Απαιτείται άδεια εργασιών; Εάν ναι, έχει εκδοθεί;			

Πίνακας VI.4-2: Φόρμα ελέγχων ασφαλείας για συμπλήρωση από τον υπεύθυνο εργασιών, [20] παραρτημα 7.

5. Δημιουργία κοινής βάσης δεδομένων με αρχεία ιστορικού βλαβών [100]

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις των μετασχηματιστών, καθώς επίσης και το ιστορικό των βλαβών είναι καθοριστικό για την αποτελεσματική στατιστική ανάλυση. Όπως προαναφέρθηκε, πολλές από τις μετρήσεις αποκτούν αξία μέσω συγκρίσεων. Η βάση δεδομένων είναι ένα εργαλείο μέσω του οποίου καταχωρούνται πληροφορίες και συμβάντα, δημιουργούνται αναφορές και στατιστικές αναλύσεις. Οι τελευταίες, με τη χρήση λογισμικού λήψης πολυκριτηριακών αποφάσεων οδηγούν στον προγραμματισμό της συντήρησης. Το ινστιτούτο EPRI υλοποίησε ένα έργο με σκοπό τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων σχετικά με την απόδοση των μετασχηματιστών. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία τη Cigre και τον οδηγό

αναφορών βλαβών που δίνεται στον κανονισμό C57.117 του IEEE. Τα βασικά στοιχεία του προγράμματος αναφέρονται στη συνέχεια:

- Η αξιολόγηση της βάσης δεδομένων βασίζεται στον τρόπο καταχώρησης των στοιχείων (ακρίβεια και εγκυρότητα) αλλά και στη μεγάλη συμμετοχή από εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μετασχηματιστές είναι στην πλειοψηφία τους ανόμοιοι, με αποτέλεσμα τη δυσχέρεια συγκρότησης αντιπροσωπευτικού δείγματος.
- Η εκτίμηση της λειτουργικής κατάστασης γίνεται μέσω του ιστορικού του εξεταζόμενου μετασχηματιστή και μέσω της σύγκρισης με άλλους που διαθέτουν όμοια χαρακτηριστικά με αυτόν.
- Η βάση δεδομένων χρησιμοποιείται για κατάταξη λόγω γήρανσης, ανάλυση βλαβών με κριτήρια, ανάλυση εκτίμησης ρίσκου λειτουργίας, οργάνωση συντήρησης ως προς τη μέθοδο και τη συχνότητα.
- Η ανάλυση αξιοπιστίας χρησιμοποιείται για αξιολόγηση των υλικών και των εξαρτημάτων.
- Τα στοιχεία που συγκεντρώνονται αφορούν την ταυτότητα του μετασχηματιστή (κατασκευαστής, έτος κατασκευής, εφαρμογή, τεχνικά χαρακτηριστικά) και το ιστορικό λειτουργίας (συνθήκες λειτουργίας, είδος βλαβών, αιτίες και αποτελέσματα βλαβών, ενέργειες επισκευής).
- Η προσβασιμότητα και η διαθεσιμότητα των αναφορών είναι ελεγχόμενη

Το κόστος της βάσης δεδομένων αποτελείται από δυο μέρη: το αρχικό που είναι το κόστος αγοράς των ηλεκτρονικών υπολογιστών και του λογισμικού συλλογής δεδομένων και το μεταβλητό, που είναι το κόστος συντήρησης. Το πρώτο συμπεριλαμβάνει το κόστος που απαιτείται για την δημιουργία της εφαρμογής. Σε γενικές γραμμές μπορεί να θεωρηθεί ότι το συνολικό κόστος κυμαίνεται σε ανεκτά επίπεδα με δυνατότητα εφαρμογής στην πράξη.

Η προσαρμογή στα δεδομένα του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα εξής:

- καταγραφές από το τεχνικό προσωπικό σε απλοποιημένες φόρμες σχετικά με βλάβες και διορθωτικές ενέργειες
- μηχανοργάνωση του τμήματος συντήρησης για καταχώρηση δεδομένων σε επεξεργάσιμα αρχεία
- σεμινάρια για κατανόηση της αναγκαιότητας ύπαρξης αρχείων
- καταγραφές κόστους συντήρησης

Παραρτήματα

A. Οδηγός συντήρησης

A.1 Χρονοδιάγραμμα

ΕΙΔΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
Εκτίμηση κατάστασης	
Διηλεκτρική αντοχή και ποσοστό υγρασίας	6 μήνες-1 έτος
Επιφανειακή τάση	2 έτη
Μέθοδος διαλυμένων αερίων	6 μήνες-1 έτος
Μόνωση τυλιγμάτων και συντελεστής ισχύος μονωτήρων διέλευσης	5-7 έτη
Υπέρυθρη θερμογραφία	6 μήνες-1 έτος
Συντήρηση ρουτίνας	
Τυπικός εξωτερικός έλεγχος	3 μήνες
Καθάρισμα μονωτήρων διέλευσης	2-4 έτη (καθορίζεται από οπτικό έλεγχο)
Εναλλάκτης θερμότητας	1-2 έτη
Βαθμονόμηση ενδεικτικών οργάνων και ηλεκτρονόμων	5 έτη
Δοκιμές λειτουργίας	5 έτη
Μηχανισμός μεταβολής λήψεων	2-4 έτη

Οι πληροφορίες από τον προηγούμενο πίνακα είναι γενικές. Ακολουθεί αναλυτικός πίνακας των συνιστώμενων ελέγχων σε διαστήμα ενός μήνα, τριμήνου και έτους.

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΛΕΓΧΟΣ
ΑΝΑ ΜΗΝΑ		<ul style="list-style-type: none"> - Έλεγχος και καταγραφή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος - Έλεγχος και καταγραφή της θερμοκρασίας λαδιού, καθώς και της πιο πρόσφατης μέγιστης τιμής της - Έλεγχος και καταγραφή του φορτίου του μετασχηματιστή, καθώς και του μέγιστου καταγεγραμμένου - Έλεγχος και καταγραφή της τάσης γραμμής, σύγκριση απόκλισης από προηγούμενες τιμές
ΑΝΑ ΤΡΙΜΗΝΟ	Καταγραφή τιμών	<ul style="list-style-type: none"> - Στάθμη λαδιού - Θερμοκρασία άνω στρώματος λαδιού - Θερμοκρασία τυλίγματος - Πίεση δεξαμενής (αν υπάρχει μανόμετρο)
	Μονωτικό λάδι	Διηλεκτρική αντοχή
	Στεγανότητα λαδιού (έλεγχος για διαρροές)	<ul style="list-style-type: none"> - Δεξαμενή - Δοχείο διαστολής - Εξολισμός ψύξης - Σωληνώσεις - Μονωτήρες διέλευσης - Ηλεκτρονόμος Buchholz - Βάνες - Κουτιά καλωδιώσεων
	Αναπνευστήρας	<ul style="list-style-type: none"> - Υγροσκοπική ουσία - Στάθμη λαδιού - Σωληνώσεις
	Εσωτερική καλωδίωση	<ul style="list-style-type: none"> - Αντίσταση μόνωσης - Καταλληλότητα συρμάτωσης
	Προστασία από διάβρωση	Βαφή
	Καθαριότητα	<ul style="list-style-type: none"> - Μονωτήρες διέλευσης - Εξαρτήματα - Ενδεικτικά όργανα - Καπάκι (άνω τμήμα) δεξαμενής - Ανεμιστήρες

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΛΕΓΧΟΣ
	Πίνακας ελέγχου	- Συνδέσεις - Συσσώρευση σκόνης - Υπερθέρμανση υλικού (αλλαγή στο χρώμα) - Θόρυβος στα ραγουλικά - Παρουσία νερού/υγρασίας
	Θερμοστάτης	Δοκιμή λειτουργίας
	Θερμόμετρο αντίστασης	Δοκιμή λειτουργίας
	Συσκευή ανακούφισης πίεσης	Δοκιμή λειτουργίας
ANA ΕΤΟΣ	Μονωτικό λάδι	- Ποσοστό υγρασίας - Βαθμός εξουδετέρωσης - Τάση επαφής - Ποσοστό νερού - Κατακάθια ορυκτέλαιου - Ανάλυση διαλυμένων αερίων
	Στάθμη λαδιού	- Δεξαμενή - Δοχείο διαστολής - Μονωτήρες διέλευσης
	Σύστημα ψύξεως	- Δεξαμενή - Εξοπλισμός ψύξης (ανεμιστήρες, αντλίες) - Σωληνώσεις - Μονωτήρες διέλευσης - Ηλεκτρονόμος Buchholz
	Σύστημα γείωσης	- Όλα τα μεταλλικά μέρη - Δεξαμενή - Κινητήρες - Κόμβοι αστέρων - Αλεξικέραυνα - Πίνακας ελέγχου - Θωρακισμένα καλώδια (με μπλεντάζ)
	Ηλεκτρονόμος Buchholz	- Κατεύθυνση ροής - Πλωτήρας - Επαφές - Διάταξη δειγματοληψίας - Δοκιμή λειτουργίας

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΛΕΓΧΟΣ
	Θερμόμετρο τύπου δίσκου	- Ρύθμιση επαφών - Θέση δείκτη μεγίστου - Δοκιμή λειτουργίας
	Μετασχηματιστής έντασης	- Πολικότητα - Λόγος μετασχηματισμού - Βραχυκύκλωμα συνδέσεων
	Ενδεικτικό στάθμης ελαίου	- Ρύθμιση επαφών - Πλωτήρας - Δοκιμή λειτουργίας
	Μονωτήρες διέλευσης	- Ρύπανση επιφάνειας - Μέτρηση συντελεστή ισχύος και χωρητικότητας, σύγκριση με τιμές προηγούμενων μετρήσεων

Παρατηρήσεις:

1. Αν πρόκειται για μετασχηματιστή με εξαναγκασμένη ψύξη λαδιού, ελέγχονται οι αντλίες, εντοπίζοντας τυχόν ασυνήθιστο θόρυβο ή αδικαιολόγητες μεταβολές του ροόμετρου. Η παρουσία θορύβου, ανομοιογενούς ροής, ασύμμετρη φόρτιση των φάσεων ή και υπερθέρμανση της αντλίας μπορεί να καθιστούν απαραίτητη την απομάκρυνση της από τον μετασχηματιστή. Για λεπτομερείς πληροφορίες αποσυναρμολόγησης πρέπει να χρησιμοποιούνται τα εγχειρίδια του κατασκευαστή.
2. Αν πρόκειται για μετασχηματιστή με εξαναγκασμένη ψύξη αέρα, ελέγχονται οι ανεμιστήρες, προσέχοντας για θραύσματα στην πτερωτή. Ελέγχεται η φορά περιστροφής για κάθε έναν από τους ανεμιστήρες, καθώς επίσης και η σειρά ενεργοποίησης (αν πρόκειται για πολυβάθμιες συστοιχίες).
3. Λαμβάνεται δείγμα λαδιού από όλα τα διαμερίσματα που περιέχουν λάδι, δηλαδή την δεξαμενή, τους μονωτήρες διέλευσης και τον μηχανισμό αλλαγής λήψεων υπό φορτίο.
4. Σε περίπτωση που υπάρχει περιβάλλον με αυξημένη υγρασία και αλάτι (για παράδειγμα σε παραθαλάσιες περιοχές) ή περιβάλλον με αυξημένο ποσοστό ρύπανσης, τα διαστήματα συντήρησης μπορούν να είναι μικρότερα από τα αναγραφόμενα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες που αναγράφονται στα εγχειρίδια των κατασκευαστών σε συνδυασμό με το ιστορικό του εγκατεστημένου εξοπλισμού.

A.2 Εξωτερική

Μετασχηματιστής (γενικά)

- Γενική εμφάνιση του μετασχηματιστή και των εξαρτημάτων του (δοχείο διαστολής, επίπεδο καθαριότητας, ύπαρξη σκουπιδιών)
- Ενδείξεις θερμών σημείων στην επιφάνεια της δεξαμενής
- Ραγίσματα των μετάλλων, αδυναμίες στα δομικά στοιχεία
- Διαρροές στις κολλήσεις της δεξαμενής ή στα στηρίγματα σύσφιξης
- Χαλαρά προσαρτημένα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σφάλματα ή και βραχυκύκλωμα

Πίνακας (ερμάριο) μετασχηματιστή

- Ερμητικό κλείσιμο και μανδάλωμα της πόρτας του πίνακα
- Καλή κατάσταση των λάστιχων στεγανοποίησης της πόρτας
- Εσωτερική και εξωτερική εικόνα ερμαρίου (καθαριότητα, στήριξη)
- Έλεγχος φωτισμού πίνακα
- Έλεγχος των καλωδίων που εισέρχονται/εξέρχονται (ύπαρξη στυπιοθλιπτών κλπ)
- Τυχόν ύπαρξη υγρασίας (διάβρωση, ξεθώριασμα βαφής)
- Φθαρμένη ή ανύπαρκτη μόνωση καλωδίων
- Τοπικές υπερθερμάνσεις σε καλώδια, κλεμμοσειρές η ακροδέκτες ηλεκτρολογικού υλικού
- Κατάλληλη σήμανση (μαρκάρισμα) καλωδίων, διακοπών ψυγείου κλπ
- Υπαρξη αντίστασης θέρμανσης και έλεγχος σωστής λειτουργίας

Σύστημα ψύξεως

- Ψυγεία
 - Έλεγχος λειτουργίας μέσω θερμογραφήματος
 - Ανεμπόδιστος αερισμός (απομάκρυνση σκόνης και σκουπιδιών)
 - Έλεγχος ροής όταν οι ανεμιστήρες λειτουργούν
 - Ίχνη λαδιού στις σωληνώσεις του ψυγείου
 - Διαρροή από το εξαεριστικό ή την βαλβίδα αποστράγγισης
- Ανεμιστήρες
 - Σωστή συνδεσμολογία καλωδίων
 - Δυνατός ή ασυνήθιστος θόρυβος από τα ρουλμάν
 - Ορθή φορά περιστροφής (ο θερμός αέρας να απομακρύνεται)
 - Έλεγχος περωτής για ραγίσματα, κοψίματα ή βίδες που λείπουν
- Αντλίες λαδιού
 - Σημάδια διαρροής από τις φλάντζες των αντλιών ή τις φλάντζες των βανών
 - Δυνατός ή ασυνήθιστος θόρυβος από τα ρουλμάν
 - Σωστή συνδεσμολογία καλωδίων
- Σύστημα λαδιού
 - Κατάσταση λαδιού
 - Δοχείο διαστολής

Μονωτήρες διέλευσης και αλεξικέραυνα

- Έλεγχος πορσελάνης για ραγίσματα, κοψίματα, τόξα, ρυπαρότητα ή και άλλες φυσικές ζημιές
- Διαρροή λαδιού
- Στάθμη λαδιού
- Παρουσία διάβρωσης ή αλλαγής χρώματος
- Ρεύμα διαρροής (μέτρηση)
- Έλεγχος απαριθμητή λειτουργιών των αλεξικέραυνων
- Ανακουφιστική βαλβίδα αλεξικέραυνων
- Δοκιμή σπινθηρισμού (για μετασχηματιστή με εξαφθοριούχο θείο)
- Μαύρισμα ανω και κάτω τμήματος αλεξικέραυνων

Αντίσταση ουδετέρου

- Κατάλληλο κλείσιμο και μανδάλωμα του καπακιού του ερμαρίου
- Έλεγχος αντίστασης για ράγισμα, ηλεκτρικό τόξο ή φυσική ζημιά
- Έλεγχος εισχώρησης υγρασίας (διάβρωση, φθορά βαφής, κλπ)

Σύστημα παροχής αερίου (για μετασηματιστή με στρώμα αερίου)

- Εσωτερική και εξωτερική εικόνα ερμαρίου (καθαριότητα, στήριξη)
- Ερμητικό κλείσιμο και μανδάλωμα της πόρτας του πίνακα
- Στεγανότητα βαλβίδων, ρυθμιστών και σωληνώσεων
- Διαρροή αζώτου (έλεγχος μανόμετρου)
- Έλεγχος καταγραφών περιοδικής πλήρωσης των φιάλων αζώτου

Σύστημα πυροπροστασίας - πυρόσβεσης

- Παρουσία σκουριάς ή ζημών στα στηρίγματα των σωληνώσεων
- Διάβρωση, διαρροή ή μηχανική βλάβη στα ακροφύσια πυρόσβεσης
- Έλεγχος θέσης τοποθετημένων αισθητήρων θερμότητας

Κατά τη διάρκεια της συντήρησης, είναι βασικό να καταγράφονται οι παράμετροι λειτουργίας καθώς και οι συνθήκες υπό τις οποίες μετρώνται. Οι μετρήσεις και οι καταγραφές πρέπει να διατηρούνται προσβάσιμες ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης και μελέτης των μεταβολών (για παράδειγμα μέσω γραφικών παραστάσεων). Οι τιμές των μεγεθών που ελέγχονται πρέπει να καταχωρούνται σε ειδικά αρχεία ώστε να μπορούν να συγκριθούν με αυτές των προηγούμενων ετών. Αναφέρουμε τις σημαντικότερες παραμέτρους που πρέπει να καταγράφονται:

- θερμοκρασία λαδιού
- Τάση
- Φορτίο (MW, MVAR)
- Στάθμη λαδιού
- Κατάσταση εύφλεκτων αερίων
- Πίεση του μετασηματιστή
- Θερμοκρασία τυλιγμάτων

A.3 Εσωτερική

Όταν η κατάσταση ενός μετασηματιστή κρίνεται ως μη φυσιολογική, είναι πιθανό να χρειαστεί πιο λεπτομερής έλεγχος. Οι δοκιμές πεδίου, του μονωτικού λαδιού, του συντελεστή ισχύος της μόνωσης ή η θερμογραφική εξέταση μπορεί να υποδείξουν την αναγκαιότητα περαιτέρω έρευνας. Είναι λοιπόν πιθανό να πραγματοποιηθούν έλεγχοι στο εσωτερικό του μετασηματιστή καθώς και στα επιμέρους εξαρτήματα. Σε αυτή τη περίπτωση διεξάγονται επιπλέον έλεγχοι, που δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν όταν ο μετασηματιστής είναι σφραγισμένος. Αυτοί σε ομαδοποιημένη μορφή είναι:

Εσωτερικό μετασηματιστή

- Ενδείξεις διάβρωσης ή υγρασίας
- Σπασίματα από καταπονήσεις στα εσωτερικά στηρίγματα και δομικά στοιχεία της δεξαμενής

- Χαλαρά στοιχεία στο εσωτερικό
- Ενδείξεις διαρροής
- Εμφάνιση θερμών σημείων

Σύστημα χειρισμών μετασχηματιστή

- Έλεγχος κατάστασης μηχανισμού αλλαγής λήψεων
- Εσωτερικές συνδέσεις των οργάνων

Ψυγείο

- Συσσώρευση από κατακάθια λαδιού
- Φραγμοί στα αυλάκια του λαδιού

Μονωτήρες διέλευσης

- Συνδέσεις των τμημάτων που βρίσκονται στο εσωτερικό του μετασχηματιστή
- Ραγίσματα και καταπονήσεις εσωτερικών εξαρτημάτων

Δοχείο διαστολής

- Ακεραιότητα της μεμβράνης (αν υπάρχει)
- Ρύπανση στο εσωτερικό του δοχείου διαστολής
- Ενδεικτικό πίεσης-στάθμης

Πυρήνας

- Ενδείξεις υπερθέρμανσης ή ζημιάς των δομικών στοιχείων
- Ζημιές στα στηρίγματα
- Χαλαρωμένοι σύνδεσμοι

Τυλίγματα

- Οπτικός έλεγχος (αλλαγή χρώματος)
- Ακεραιότητα στηριγμάτων
- Ενδείξεις υπερθέρμανσης ή ζημιάς

A.4 Αντιμετώπιση σφαλμάτων

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των προβλημάτων που εμφανίζονται κατά είδος εξοπλισμού. Με δεδομένο το πρόβλημα δίνονται πιθανά αίτια που το δημιούργησαν, καθώς και πρακτικοί τρόποι αντιμετώπισής του. Να σημειωθεί ότι ο πίνακας θα πρέπει να συνδυάζεται με τις οδηγίες του κατασκευαστή, τις ιδιαίτερες συνθήκες της εγκατάστασης καθώς και το ιστορικό συντήρησης του μετασχηματιστή.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
Μονωτήρες διέλευσης	Αύξηση χωρητικότητας	Βραχυκλωμένα φύλλα πυκνωτή	Αντικατάσταση του μονωτήρα αν η χωρητικότητα είναι $\geq 110\%$ της αρχικής
	Αύξηση συντελεστή ισχύος	Εισχώρηση υγρασίας	Αντικατάσταση του μονωτήρα αν ο συντελεστής ισχύος είναι διπλάσιος του αρχικού
	Χαμηλή στάθμη λαδιού	Φλάντζες που έχουν υπερθερμανθεί	Έλεγχος συνδέσεων στο πάνω τμήμα. Αντικατάσταση φλαντζών. Για σοβαρή υπερθέρμανση αντικατάσταση μονωτήρα
	Μη φυσιολογική τάση ακροδέκτη λήψης	Βραχυκλωμένα φύλλα πυκνωτή	Αντικατάσταση του μονωτήρα
	Δένδρωση στην επιφάνεια ή εμφάνιση Corona	Ρύπανση επιφάνειας μονωτήρα	Καθαρισμός της εξωτερικής επιφάνειας
Πίνακας ελέγχου	Συσσώρευση νερού ή σκουριάς	Μη λειτουργία αντίστασης θέρμανσης	Έλεγχος κατάστασης και ρύθμιση θερμοστάτη αντίστασης
	Συσσώρευση λαδιού στον πάτο	Διαρροές στις φλάντζες στις εισόδους των καλωδίων ελέγχου	Αντικατάσταση σε φλάντζες ή καλώδια, ανάλογα με την κατάσταση
Πυρήνας	Χαμηλή αντίσταση γείωσης	Ακούσιες γειώσεις πυρήνα	Εσωτερικός έλεγχος για εντοπισμό και αφαίρεση των ανεπιθύμητων γειώσεων
Εναλλάκτης θερμότητας (μετασχηματιστής με εξαναγκασμένη ψύξη αέρα)	Προειδοποίηση υψηλής θερμοκρασίας, μη ύπαρξης ροής, trip του κινητήρα των ανεμιστήρων	Φραγμένες σωληνώσεις	Καθαρισμός σωληνώσεων με νερό υψηλής πίεσης
		Δυσλειτουργία θερμοστάτη	Βαθμονόμηση/αντικατάσταση
		Δυσλειτουργία κινητήρα αντλίας	Αντικατάσταση κινητήρα
		Μη ύπαρξη ροής λαδιού λόγω ακούσια κλεισμένων βανών	Έλεγχος σωστής θέσης βανών
	Εναλλάκτες με διαφορετική θερμοκρασία	Φραγμένες σωληνώσεις ή κλειστές βάνες	Καθαρισμός σωληνώσεων με νερό υψηλής πίεσης. Έλεγχος θέσης βανών

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
Μηχανισμός αλλαγής λήψεων εν κενώ	Υψηλή αντίσταση τυλίγματος	Ανεπαρκείς ηλεκτρικές επαφές, «καρβούνιασμα» Κακές ενώσεις καλωδίων	Εσωτερικός έλεγχος για επιβεβαίωση προβλήματος. Καθαρισμός ή αντικατάσταση επαφών. Έλεγχος ενώσεων καλωδίων
Μηχανισμός αλλαγής λήψεων υπό φορτίο	Αυξανόμενη διαφορά θερμοκρασίας λαδιού μεταγωγέα και θερμοκρασίας δεξαμενής	Ανεπαρκείς ηλεκτρικές επαφές, «καρβούνιασμα»	Εσωτερικός έλεγχος για αξακρίβωση και αντικατάσταση υπερθερμαμένων επαφών Λειτουργία του διακόπτη αντιστροφής ανά τουλάχιστον 60 ημέρες
	Ροή λαδιού από τον αναπνευστήρα	Φθορά στα σημεία σφράγισης διαμερίσματος μεταγωγέα και κύριας δεξαμενής	Απομάκρυνση του μηχανισμού λήψεων και στεγανοποίηση
	Μη φυσιολογικός αριθμός λειτουργιών (είτε υψηλός, είτε χαμηλός)		Ελαττωματικά εξαρτήματα μηχανισμού οδήγησης
Ελαττωματικό σύστημα ελέγχου			Αντικατάσταση συστήματος ελέγχου
Ψυγείο	Προειδοποίηση υψηλής θερμοκρασίας ή ψυγεία με διαφορετικές θερμοκρασίες	Ακούσια κλεισμένες βάνες	Έλεγχος σωστής θέσης βανών
Τυλίγματα	Υψηλό ποσοστό CO ₂ στο λάδι, δηλαδή υποβάθμιση μόνωσης	Υπερφόρτιση	Μείωση φορτίου ή αύξηση ψύξης
		Φραγμένες σωληνώσεις εναλλάκτη θερμότητας	Καθαρισμός σωληνώσεων
	Υψηλός συντελεστής ισχύος ή χαμηλή αντίσταση μόνωσης	Υγρασία στο λάδι και την μόνωση	Αφαίρεση υγρασίας από το λάδι και ξήρανση (στεγνώμα) μόνωσης
	Ανόμοιος λόγος σπειρών μεταξύ των τριών φάσεων	Ο μεταγωγέας δεν έχει ρυθμιστεί στην ίδια λήψη	Έλεγχος σύνδεσης μηχανισμού λήψεων

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
Μονωτικό λάδι μετασχηματιστή	Θόρυβοι σπασιμάτων	Στατική ηλεκτρίση	Άμεση αλλαγή της σειράς λειτουργίας των αντλιών
	Υψηλό ποσοστό οξυγόνου	Φθαρμένες φλάντζες, κακή στεγανοποίηση	Αντικατάσταση φλαντζών
	Υψηλό ποσοστό υδρογόνου	Εσωτερικές μερικές εκκενώσεις	Πραγματοποίηση δοκιμών ακουστικών σημάτων για εντοπισμό πηγής εκκενώσεων
	Υψηλό ποσοστό CO	Ανεπαρκής ψύξη	Καθαρισμός εναλλάκτη, έλεγχος λειτουργίας ανεμιστήρων και αντλιών
		Υψηλό ποσοστό υδρογόνου στο λάδι	Αφαίρεση αερίων από λάδι
	Μεγάλες ποσότητες μεθανίου, αιθανίου και ακετυλαινίου	Δινορεύματα στον πυρήνα λόγω πολλαπλών γειώσεων	Εσωτερικός έλεγχος για εντοπισμό και αφαίρεση. Αν δεν είναι δυνατόν, προσθήκη αντίστασης σε σειρά με την ακούσια γείωση για περιορισμό κυκλοφορούντος ρεύματος
		Υπερδιέγερση του πυρήνα	Ελάττωση της διέγερσης
		Υπερθέρμανση επαφών μεταγωγέα	Καθαρισμός ή/και αντικατάσταση
	Χαμηλά επίπεδα ακετυλαινίου	Χωρητικές εκφορτίσεις	Εσωτερικός έλεγχος για χαλαρές συνδέσεις (βιδώματα) μέσα στην κυρίως δεξαμενή
		Βραχυκύκλωμα στον κινητήρα της αντλίας λαδιού	Έλεγχος λειτουργίας κινητήρα και αντίστασης του τυλίγματός του
	Μικρή διηλεκτρική αντοχή	Ρύπανση από σωματίδια ή υγρασία	Καταμέτρηση σωματιδίων και δοκιμές υγρασίας για προσδιορισμός αίτιου
	Χαμηλή στάθμη λαδιού, διαρροές	Διαρροές από φλάντζες	Αντικατάσταση φθαρμένων φλαντζών, μελέτη χρήσης άλλων από υλικά υψηλότερης θερμοκρασίας

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
	Υψηλό ποσοστό υγρασίας	Διαρροές από φλάντζες	Αντικατάσταση φθαρμένων φλάντζων
		Ανεπαρκής παροχή αζώτου (για μετασχηματιστή με άζωτο)	Ενδεχόμενη αντικατάσταση φιάλων αζώτου
		Τρυπημένο διάφραγμα δοχείου διαστολής	Αντικατάσταση διαφραγματος δοχείου διαστολής
		Εξαντλημένο στοιχείο αφύγρανσης	Αντικατάσταση στοιχείου αφύγρανσης
	Υψηλός αριθμός καταμετρημένων σωματιδίων	Φθορά πτερωτής αντλίας λαδιού ή φθορά ρουλιών	Αντικατάσταση ελαττωματικών αντλιών. Ανάλογα με το βαθμό ρύπανσης, πιθανό φίλτράρισμα και καθάρισμα του εσωτερικού του μετασχηματιστή
	Εκτόνωση λαδιού μέσω συσκευής ανακούφισης πίεσης	Υπερβολική θερμοκρασία λαδιού ή υπερπλήρωση με λάδι	Καθαρισμός σωληνώσεων εναλλάκτη θερμότητας. Απομάκρυνση περιττής ποσότητας λαδιού
Λάδι μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο	Εμφάνιση ακετυλαινίου	Σφάλμα δοχείου κενού	Δοκιμή δοχείου κενού και αντικατάσταση ελαττωματικών εξαρτημάτων
		Τόξο στον διακόπτη διάβασης	Ρύθμιση μηχανισμού οδήγησης και ευθυγράμμιση θάλαμου κενού
	Χαμηλή διηλεκτρική αντοχή	Στοιχείο αφύγρανσης κορεσμένο με νερό	Αντικατάσταση στοιχείου αφύγρανσης όταν έχουμε αλλαγή χρώματος
Σύστημα διατήρησης ελαίου	Συχνή αντικατάσταση φιάλων αζώτου ή προειδοποίηση πίεσης	Διαρροές φλάντζων	Αντικατάσταση φθαρμένων φλάντζων
	Χαμηλή στάθμη λαδιού (κλειστά δοχεία διαστολής)	Διαρροή διαφράγματος	Αντικατάσταση διαφράγματος

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
Μηχανισμός οδήγησης μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο	Αδυναμία ηλεκτρικής λειτουργίας	<ul style="list-style-type: none"> - Ελλειψη τάσης τροφοδοσίας στο θερμικό διακόπτη προστασίας του κινητήρα - Ο θερμικός διακόπτης δεν είναι σε θέση λειτουργίας - Τα ρελέ δεν διεγείρονται ή είναι κολλημένα - Ανοιχτό κύκλωμα σε μία από τις τρεις φάσεις 	<ul style="list-style-type: none"> Έλεγχος τροφοδοσίας Κλείσιμο διακόπτη προστασίας (θερμικό) Έλεγχος και αντικατάσταση ηλεκτρονόμων
	Αδιάκοπη λειτουργία	Κολλημένο ρελέ	Καθαρισμός ή και αντικατάσταση
	Τrip του θερμικού κατά τη λειτουργία	<ul style="list-style-type: none"> - Πατημένα ή κολλημένα «μανιτάρια» - Υπερφόρτιση - Σφάλμα σε μια φάση 	<ul style="list-style-type: none"> Επισκευή αντικατάσταση «μανιταριών» Έλεγχος μηχανισμού οδήγησης
Ηλεκτρονόμος Buchholz	Σήμανση	<ul style="list-style-type: none"> - Απώλεια λαδιού - Συσσώρευση αέρα - Παραγωγή αερίων λόγω εσωτερικού σφάλματος - Έντονοι κραδασμοί - Λανθασμένη διέγερση 	<ul style="list-style-type: none"> Η λειτουργία μπορεί να συνεχιστεί. Ωστόσο απαιτείται: - Έλεγχος στάθμης λαδιού, σωληνώσεων και βανών - Έλεγχος ηλεκτρικών συνδέσεων - Έλεγχος μηχανισμού διέγερσης - Δειγματοληψία από πάνω τμήμα δεξαμενής για ανάλυση διαλυμένων αερίων - Δειγματοληψία από κάτω τμήμα δεξαμενής για ανάλυση διαλυμένων αερίων - Μετρήσεις με συνδέσεις μονωτήρων διέλευσης εκτός

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
	Trip	<ul style="list-style-type: none"> - Απώλεια λαδιού - Απότομη διαστολή (κύμα) λαδιού λόγω εσωτερικής εκκένωσης - Απότομη παραγωγή αερίων λόγω εσωτερικού σφάλματος - Έντονοι κραδασμοί - Λανθασμένη διέγερση 	<ul style="list-style-type: none"> - Διατήρηση κατάστασης απενεργοποίησης μετασχηματιστή - Δοκιμές - Επαναλειτουργία του μετασχηματιστή αφού προηγουμένως έχει ψυχθεί (σε περίπτωση μη εντοπισμού ή ελαχιστοποίησης των αιτιών)
Ηλεκτρονόμος προστασίας του μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο	Trip	Απότομη διαστολή (κύμα) λαδιού	<ul style="list-style-type: none"> - Διατήρηση κατάστασης απενεργοποίησης μετασχηματιστή - Έλεγχος του μηχανισμού διέγερσης - Απομάκρυνση και έλεγχος του διακόπτη εκτροπής - Επαναφορά του μηχανισμού διακοπής
<ul style="list-style-type: none"> - Θερμόμετρο αντίστασης - Θερμοστάτης - Θερμόμετρο τύπου δίσκου 	Πολύ υψηλή ένδειξη θερμοκρασίας λαδιού ή τυλιγμάτων	<ul style="list-style-type: none"> Υπερφόρτιση μετασχηματιστή ή ανεπαρκής ψύξη Λανθασμένη ρύθμιση θερμοκρασίας 	<ul style="list-style-type: none"> - Μείωση φορτίου μετασχηματιστή - Προσθήκη ανεμιστήρων - Καθαρισμός συστήματος ψύξης - Έλεγχος θέσεως βανών - Έλεγχος θερμομέτρου - Έλεγχος ηλεκτρικών συνδέσεων και κυκλώματος διέγερσης
Όργανο στάθμης λαδιού	Χαμηλή στάθμη λαδιού	Έλλειψη λαδιού (χαμηλή θερμοκρασία ή διαρροή)	Έλεγχος στεγανότητας και πλήρωση με λάδι
Συσκευή ανακούφισης πίεσης	Υψηλή πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής	Κλειστές ή φραγμένες σωληνώσεις στο δοχείο διαστολής	Έλεγχος σωληνώσεων και βανών Έλεγχος μετασχηματιστή όπως στη περίπτωση του ηλεκτρονόμου Buchholz
Γείωση	Διακοπή γείωσης	Υπερένταση από εξωτερικό σφάλμα	Καθάρισμα επαφών Αφαίρεση χρώματος Έλεγχος σφιγκτήρων και ηλεκτρικών αποστάσεων

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
		Υπάρξη πολλαπλών βρόχων	Ανοιγμα βρόχων
Στοιχείο αφύγρανσης	Αλλαγή χρώματος των ενεργών κρυστάλλων (από μπλε σε ροζ) και απο κάτω προς τα πάνω	Υψηλό ποσοστό υγρασίας στην ατμόσφαιρα Διαρροή γυάλινου κυλίνδρου Υγρασία στο δοχείο διαστολής	Αντικατάσταση υγροσκοπικής ουσίας Αντικατάσταση ή στεγανοποίηση γυάλινου κυλίνδρου Στεγανοποίηση σωληνώσεων Στέγνωμα δοχείου διαστολής με ξηρό αέρα

B. Τεχνικές προδιαγραφές μετασχηματιστών της ΔΕΗ

B.1 Τριφασικοί μετασχηματιστές διανομής (Τεχνική προδιαγραφή ΗΚ.01.48/3.6.91 , GR-46)

Η αναφορά σε αυτήν την προδιαγραφή γίνεται για λόγους πληρότητας ώστε ο αναγνώστης που επιθυμεί περισσότερες πληροφορίες να ανατρέξει σε αυτήν. Να σημειωθεί ότι αν και δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσης εργασίας, συνιστά μια αξιόλογη επιπλέον πηγή πληροφόρησης.

B.2 Τριφασικός μετασχηματιστής 40/50MVA, 150/15,75-21kV (Τεχνική προδιαγραφή Νο SS-25/19)

Στη συνέχεια παρατίθεται αυτούσια η προδιαγραφή της Δημόσιας Επένδυσης Ηλεκτρισμού, όπως αυτή εκδίδεται και της οποίας η τήρηση απαιτείται. Σε αυτήν αναγράφονται λεπτομερώς τα στοιχεία που πρέπει να έχουν οι μετασχηματιστές μεταφοράς (40/50MVA, 150/15.75-21kV) ώστε να εγκαθίστανται με ασφάλεια στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα.



ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε.
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΝΕΩΝ ΕΡΓΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
Δυρραχίου 89 & Κηφισού
ΑΘΗΝΑ-ΕΛΛΑΣ

Φεβρουάριος 2010

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ Νο SS-25 / 19

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ 40/50MVA, 150 / 15,75-21kV

I. ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός αυτής της προδιαγραφής είναι η περιγραφή των απαιτήσεων της ΔΕΗ Α.Ε. όσον αφορά τεχνικά χαρακτηριστικά, σχεδιαστικά χαρακτηριστικά και δοκιμές τριφασικών μετασχηματιστών 150/15,75-21kV, ονομαστικής ισχύος 40/50 MVA.

II. ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Μετασχηματιστές.

III. ΧΡΗΣΗ

Οι μετασχηματιστές εγκαθίστανται σε Υ/Σ για την μετατροπή της τάσης 150 kV του δικτύου σε επίπεδο τάσης 15,75kV ή 21kV, καλύπτοντας αντίστοιχα τις ανάγκες φορτίου στο δίκτυο Διανομής.

IV. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

IV.1. ΠΛΕΥΡΑ 150KV

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Ονομαστική τάση | : 150KV |
| 2. Μέγιστη τάση λειτουργίας | : 170KV |
| 3. Ελάχιστη επιτρεπτή τάση λειτουργίας | : 135KV |
| 4. Αριθμός φάσεων | : 3 |
| 5. Αριθμός αγωγών | : 3 |
| 6. Στάθμη βραχυκυκλώσεως | : 30KA |
| 7. Βασική στάθμη μονώσεως | : 750KV (μεγ.) |
| 8. Τάση αντοχής σε συχνότητα δικτύου (1 λεπτό) | : 325KV (ενδ. τιμή) |
| 9. Ονομαστική συχνότητα | : 50Hz |
| 10. Μεταβολές στην ονομαστική συχνότητα | : ±0,2Hz |
| 11. Διαθέσιμη βοηθητική τάση τροφοδοσίας Σ.Ρ. | : 110V D.C. από μπαταρίες Υ/Σ |
| 12. Διαθέσιμη βοηθητική τάση τροφοδοσίας Ε.Ρ. | : 3φασική, 4 αγωγών 230/400V |

IV.2. ΠΛΕΥΡΑ 15,75 - 21KV

- | | |
|--|---|
| 1. Ονομαστική τάση | : 15,75KV – 21KV |
| 2. Μέγιστη τάση λειτουργίας | : 17,5KV-24KV |
| 3. Αριθμός φάσεων | : 3 |
| 4. Αριθμός αγωγών | : 3 |
| 5. Στάθμη βραχυκυκλώσεως | : 10KA |
| 6. Στάθμη μονώσεως | : 145KV (μεγ) |
| 7. Τάση αντοχής σε συχνότητα δικτύου (1 λεπτό) | : 50KV (ενδ. τιμή) |
| 8. Ονομαστική συχνότητα | : 50Hz |
| 9. Μέθοδος συστήματος γείωσης | : Με γειωμένο ουδέτερο (μέσω αντίστασης 12Ω). |
| 10. Διαθέσιμη βοηθητική τάση τροφοδοσίας Σ.Ρ. | : 110V από μπαταρίες Υ/Σ |
| 11. Διαθέσιμη βοηθητική τάση τροφοδοσίας Ε.Ρ. | : 230/400V |

V. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

- | | |
|---------------------------|---|
| Εγκατάσταση | : Υπαίθρια |
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος | : -25 °C με + 45 °C |
| Υψόμετρο | : Μέχρι 1000 m από την επιφάνεια της θάλασσας |
| Άλλες συνθήκες | : Χιόνι, πάγος και ομίχλη |

VI. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά, ονομαστικά χαρακτηριστικά, καθώς και οι δοκιμές των μετασχηματιστών, θα πρέπει να είναι σύμφωνα με την τελευταία έκδοση του κανονισμού I.E.C - 60076.

VII. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ Μ/Σ

1. Τύπος

Τριφασικός μετασχηματιστής λαδιού, δύο τυλιγμάτων, με γειωμένο ουδέτερο, για υπαίθρια εγκατάσταση.

2. Ονομαστική τάση και αριθμός φάσεων τυλιγμάτων

- | | |
|--------------|----------------------------|
| - Πρωτεύον | : 150 KV, 3 φάσεις |
| - Δευτερεύον | : 15,75KV ή 21KV, 3 φάσεις |

3. Συμβολισμός συνδεσμολογίας τυλιγμάτων Μ/Σ (Διανυσματική ομάδα)

4. Ονομαστική ισχύς

Ονομαστική ταυτόχρονη συνεχής ισχύς, με μέση ανύψωση θερμοκρασίας τυλίγματος 65°C, μετρούμενη με αντίσταση και με συνθήκες περιβάλλοντος έως 40 °C:

- 40 MVA ONAN – φυσική ψύξη (φυσική κυκλοφορία λαδιού και αέρα)
- 50 MVA ONAF – βεβιασμένη ψύξη (κυκλοφορία αέρα μέσω ανεμιστήρων, φυσική κυκλοφορία λαδιού)

5. Τύπος πυρήνα

Ο τύπος του πυρήνα του Μ/Σ θα είναι μορφής πυρήνα. Ο πυρήνας θα έχει 3 σκέλη.

6. Στάθμες Μονώσεως

Υψηλή Τάση

- Ακροδέκτες γραμμής Υ.Τ. 170 kV LI/AC : 750/325 kV
- Μονωτήρες διέλευσης Υ.Τ. 170 kV LI/AC : 750/325 kV

Ουδέτερος

- Τύλιγμα ουδέτερου 24KV LI/AC : 145/50 kV
- Μονωτήρας διέλευσης ουδέτερου 24KV LI/AC : 145/50 kV

Χαμηλή Τάση

- Ακροδέκτες γραμμής Χ.Τ. 24kV LI/AC : 145/50 kV
- Μονωτήρες διέλευσης Χ.Τ. 24kV LI/AC : 145/50 kV

7. Ικανότητα αντοχής σε βραχυκύκλωμα

Ο μετασχηματιστής πρέπει να έχει την ικανότητα, κάτω από συνθήκες λειτουργίας, να αντέχει για δύο (2) δευτερόλεπτα, σε οποιαδήποτε λήψη του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο, τριφασικό ή μονοφασικό βραχυκύκλωμα στα άκρα οποιουδήποτε τυλίγματος, χωρίς να υποστεί βλάβη από υπερβολικές δυνάμεις ή θερμικές επιδράσεις. Η θερμική αντοχή των μετασχηματιστών σε βραχυκύκλωμα θα αποδεικνύεται με υπολογισμό, σύμφωνα με τον κανονισμό IEC-60076-5.

8. Συνδέσεις και κατηγορία μόνωσης τυλιγμάτων

- 8.1. Τα τυλίγματα του πρωτεύοντος θα είναι συνδεσμολογίας τριγώνου. Το πρωτεύον τύλιγμα θα είναι κατηγορίας ομοιόμορφης μόνωσης.
- 8.2. Το δευτερεύον τύλιγμα θα είναι συνδεσμολογίας αστέρα, με τον ουδέτερο εξερχόμενο από ένα μονωτήρα με πλήρη μόνωση (145 KV B.I.L.) γειωμένο απευθείας στο δίκτυο γειώσεως του Υ/Σ, μέσω μιας αντίστασης 12 Ω. Το δευτερεύον τύλιγμα θα είναι κατηγορίας ομοιόμορφης μόνωσης.

9. Ορια ανύψωσης θερμοκρασίας

- 9.1 Η μέση τιμή υπερύψωσης θερμοκρασίας τυλιγμάτων θα είναι 65°C (κλάση A), σε θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 40 °C.
- 9.2 Η υπερύψωση θερμοκρασίας ανώτερης στάθμης λαδιού θα έχει όριο τους 60°C για θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 40°C.

Τα όρια της ανύψωσης θερμοκρασίας θα επιβεβαιώνονται από την αντίστοιχη εκτέλεση δοκιμής τύπου.

10. Δυνατότητα Υπέρτασης

Οι Μ/Σ θα έχουν δυνατότητα υπέρτασης κατά 10% εν κενώ και 5% πάνω από τα ονομαστικά ΜVA χωρίς να υπερβαίνουν τα όρια της θερμοκρασίας με συντελεστή ισχύος 80% ή υψηλότερο.

11. Ορια αντίστασης μονώσεως στους 20°C

- α. Για το τύλιγμα Υ.Τ. : 5 GΩ
β. Για το τύλιγμα Χ.Τ. : 3 GΩ

12. Σύνθετη Αντίσταση

- α. 40MVA
(150KV προς 15,75KV ή 21KV) : Όχι λιγότερο από 15,2% σε κάθε λήψη του OLTC
- β. 50MVA
(150KV προς 15,75KV ή 21KV) : Όχι λιγότερο από 19% σε κάθε λήψη του OLTC

13. Ορια απωλειών

Οι απώλειες εν κενώ (πυρήνας) του μετασχηματιστή δεν θα υπερβαίνουν τα 24kW.
Οι απώλειες υπό φορτίο (χαλκού) στα 40MVA δεν θα υπερβαίνουν τα 110kW στην κεντρική λήψη Nb7 150.000V.
Οι απώλειες ψύξεως στα 50MVA δεν θα υπερβαίνουν τα 4kW.

14. Ορια τιμών ρευμάτων μαγνήτισης

Το ρεύμα μαγνήτισεως του μετασχηματιστή, δεν θα υπερβαίνει τις ακόλουθες τιμές στις τάσεις:

<u>Τάση δευτερεύοντος</u>	<u>Ρεύμα μαγν. επί τοις % του ονομ. ρεύματος</u>
Για $V_f=15,75KV$ ή $21 KV$	0,35%
	ανοχή + 30%
Για $1.1 \times V_f=17,32KV$ ή $23,1KV$	1%

Τα όρια των τιμών των ρευμάτων μαγνήτισης θα επιβεβαιωθούν με την εκτέλεση της αντίστοιχης δοκιμής σειράς.

15. Ακουστικός θόρυβος

Η στάθμη του ακουστικού θορύβου του μετασχηματιστή με τον εξοπλισμό ψύξεως (ανεμιστήρες) σε λειτουργία, δεν θα υπερβαίνει τα 72 dB.

Ο καθορισμός της στάθμης θορύβου και η μέθοδος μετρήσεων για τα διάφορα τμήματα του Μ/Σ θα είναι σύμφωνα με IEC - 60076-10/2001 και θα αποδεικνύεται από τις μετρήσεις της αντίστοιχης δοκιμής του Μ/Σ.

16. Αρμονικές

Η μέγιστη περιεκτικότητα σε αρμονικές που παράγονται από τον μετασχηματιστή θα δοθεί λεπτομερώς από τους προσφέροντες και θα επιβεβαιωθεί με την εκτέλεση της αντίστοιχης δοκιμής.

Αρμονικές του ρεύματος κενής λειτουργίας στη σχέση τάσεως 150/21kV θα περιορίζονται όπως παρακάτω :

-	τρίτη αρμονική	≤ 25%	του ρεύματος κενής λειτουργίας				
-	πέμπτη αρμονική	≤ 15%	"	"	"	"	"
-	έβδομη αρμονική	≤ 7%	"	"	"	"	"

17. Εγγυημένες απώλειες

Ο προσφέρων πρέπει ξεκάθαρα να αναφέρει στην τεχνική και οικονομική του προσφορά τις ακόλουθες εγγυημένες απώλειες:

α. Απώλειες εν κενώ στα 15,75KV και 21KV

β. Απώλειες χαλκού στην κύρια λήψη (Nb7) 150/21KV και 150/15,75KV στα 40 MVA

γ. Συνολικές απώλειες (εν κενώ + απώλειες χαλκού) στα 150/21KV και 150/15,75KV στα 40MVA

δ. Απώλειες ψύξεως στα 50 MVA

18. Μέγιστος βαθμός απόδοσης

Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του Μ/Σ είναι επιθυμητός στα 34.000KW περίπου. (Αναφορά στην αξιολόγηση απωλειών).

19. Μηχανισμός αλλαγής τάσεως χωρίς φορτίο

Ο Μ/Σ θα είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο μηχανισμό αλλαγής τάσεως από 15,75KV σε 21KV χωρίς φορτίο, για λειτουργία εκτός τάσεως.

VIII. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΔΗΨΕΩΣ (ΒΗΜΑΤΟΣ ΤΑΣΕΩΣ) ΥΠΟ ΦΟΡΤΙΟ

Μηχανισμός αλλαγής λήψεων με φορτίο (O.L.T.C.) τύπου αντιστάσεων με μεταγωγικούς διακόπτες, επιλογικούς διακόπτες και διακόπτες αναστροφής, για ρύθμιση της τάσεως από +7,5% έως -12,5% σε βήματα των 1875V. Ο μηχανισμός αλλαγής λήψεων (O.L.T.C.) θα είναι στην πλευρά της υψηλής τάσεως του μετασχηματιστού. Οι μεταγωγικοί διακόπτες θα πρέπει να τοποθετηθούν σε ιδιαίτερο δοχείο λαδιού.

Ο μηχανισμός της αλλαγής λήψεων με φορτίο θα είναι ηλεκτροκίνητος, θα ελέγχεται με αυτόματο σύστημα ελέγχου για την μεταβολή της σχέσεως μετασχηματιστού με φορτίο, θα παραδοθεί από τον προμηθευτή και θα περιλαμβάνει τους απαραίτητους Μ/Σ

εντάσεως, ηλεκτρονόμους ρυθμίσεως της τάσεως, αντισταθμιστή πτώσεως τάσεως γραμμών κλπ.

Διαθέσιμη τάση Σ.Ρ. : 110V

Διαθέσιμη τάση τροφοδοσίας: Μ/Σ τάσεως 15.000 / 100V 50Hz
20.000 / 100V 50Hz

Η διάταξη αντισταθμίσεως της πτώσης τάσεως γραμμής θα έχει δύο στοιχεία X και R για αντιστάθμιση της επαγωγικής και ωμικής αντίστασης. Τα δύο αυτά στοιχεία θα πρέπει να είναι ρυθμιζόμενα για να επιτυγχάνονται τιμές που θα αντιστοιχούν στη πτώση στις πρωτεύουσες γραμμές διανομής 20kV ή 15kV.

Για την αποφυγή υπερβολικά συχνής λειτουργίας του μηχανισμού O.L.T.C. είναι απαραίτητο να είναι εφοδιασμένος με ένα ηλεκτρονόμο χρονικής καθυστέρησης με δυνατότητα ρυθμίσεως από 10 έως 100 δευτερόλεπτα. Το σύστημα ελέγχου πρέπει να εφοδιαστεί με βηματική συσκευή για να εξασφαλίζεται η αλλαγή κατά μία μόνο θέση ακόμα και αν οι διακόπτες ελέγχου κρατούνται συνεχώς στη θέση "ΕΝΤΟΣ".

Ο μηχανισμός αλλαγής λήψεων με φορτίο θα πρέπει να εφοδιαστεί με βοηθητικές επαφές για τηλενδειξη καθώς επίσης και με ένα απαριθμητή λειτουργιών. Πρέπει να ληφθεί φροντίδα για ένα μεταγωγέα σε αντίστοιχο πίνακα, το ελάχιστο τριών (3) θέσεων δηλαδή : α) Εκτός, β) Αυτόματη ρύθμιση τάσεως υπό φορτίο, γ) Χειροκίνητη ρύθμιση τάσεως από απόσταση - επιτόπια.

Ο κινητήρας του μηχανισμού αλλαγής λήψεων θα τροφοδοτείται με τριφασική τάση 220/380V 50Hz. Ο κινητήρας και ο μηχανισμός αλλαγής λήψεων θα προστατεύεται από υπερφορτίσεις, έλλειψη τάσεως και απώλειας μιάς φάσεως, με αυτόματο διακόπτη.

- Ο μηχανισμός αλλαγής λήψεων με φορτίο θα προστατεύεται με κατάλληλο αντισεισμικό ηλεκτρονόμο "BUCHHOLZ".
- Σε περίπτωση απότομης διακοπής της τροφοδοσίας του κινητήρα ο μεταγωγέας δεν πρέπει να μένει μεταξύ δύο θέσεων.

Όλοι οι ηλεκτρονόμοι, διακόπτες, ασφάλειες κλπ. του "O.L.T.C." θα τοποθετηθούν σε πίνακα ελέγχου υπαίθριου τύπου εγκατεστημένου στον μετασχηματιστή.

Πρέπει να προβλεφθεί μέσα στον πίνακα μία αντίσταση θερμάνσεως ελεγχόμενη με θερμοστάτη η οποία θα τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη τάση 220V.

1. Μέρη του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο

Ο μηχανισμός αλλαγής λήψεως (βήματος τάσεως) υπό φορτίο θα αποτελείται γενικώς από ένα διακόπτη εκτροπής, αντιστάσεις διάβασης, ένα επιλογέα λήψεως και ένα επιλογέα αντίστροφης εναλλαγής.

Το όλο σύστημα λειτουργείται από ένα μηχανισμό οδήγησης (κινητήρας οδήγησης).

2. Τύπος του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο

Μηχανικός τύπος λαδιού ή λαδιού / κενού (ο διακόπτης εκτροπής και οι αντιστάσεις διάβασης σε κενό και ο επιλογέας λήψεως καθώς και ο επιλογέας αντίστροφης εναλλαγής σε λάδι).

3. Αριθμός λήψεων και η τάση που αντιστοιχεί σε κάθε λήψη
 Συνολικός αριθμός λήψεων : 17 συμπεριλαμβανομένης και της κύριας λήψης και + 6/ -10 λήψεις πάνω/κάτω της κύριας λήψης.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΛΗΨΗΣ ΥΠΟ ΦΟΡΤΙΟ ΜΕ (17) ΔΕΚΑΕΠΤΑ ΘΕΣΕΙΣ (OLTC)			
		Υψηλή Τάση(KV)	Χαμηλή Τάση(KV)
Ρύθμιση τάσης +7,5% 150KV +6 βήματα κύρια λήψη → -10 βήματα -12,5% σε βήματα των 1875V		1. 161,250	
		2. 159,375	
		3. 157,500	
		4. 155,625	
		5. 153,750	
		6. 151,875	
		7. 150,000	15,75KV
		8. 148,125	ή
		9. 146,250	21KV
		10. 144,375	σε κενή λειτουργία
		11. 142,500	
		12. 140,625	
		13. 138,750	
		14. 136,875	
		15. 135,000	
		16. 133,125	
		17. 131,250	

4. Εφαρμόσιμοι Κανονισμοί
IEC – 60214 – 1 και IEC – 60542
5. Απαιτούμενη θερμοκρασία λειτουργίας του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο

Περιβάλλον Μηχανισμού Αλλαγής λήψεως υπό φορτίο	Θερμοκρασία	
	Ελάχιστη	Μέγιστη
Λάδι	-25° C	100° C
Κενό	-25° C	100° C

6. Θέση τοποθέτησης των εξαρτημάτων του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο και μέθοδος εγκατάστασης

A. Για μηχανισμό αλλαγής λήψεως υπό φορτίο τύπου λαδιού

- α. Ο διακόπτης εκτροπής και οι αντιστάσεις διάβασης θα πρέπει να είναι εμβαπτισμένα σε λάδι, εντός δικού τους διαμερίσματος το οποίο θα πρέπει να είναι απόλυτα στεγανό (ερμητικά κλειστό).

- β. Ο επιλογέας λήψεως καθώς και ο επιλογέας αντίστροφης εναλλαγής θα πρέπει να είναι μέσα σε δικό τους διαμέρισμα το οποίο δεν θα είναι απόλυτα στεγανό και ως εκ τούτου, τόσο ο επιλογέας λήψεως όσο και ο επιλογέας αντίστροφης εναλλαγής μπορεί να έρθουν σε επαφή με το λάδι του μετασχηματιστή.
- γ. Και τα δύο παραπάνω αναφερόμενα διαμερίσματα θα πρέπει να είναι τοποθετημένα εντός του δοχείου του μετασχηματιστή.

B. Για μηχανισμό αλλαγής λήψεως υπό φορτίο τύπου λαδιού / κενού

- α. Ο διακόπτης εκτροπής και οι αντιστάσεις διάβασης θα πρέπει να είναι μέσα σε δική τους ερμητικά κλειστή φιάλη κενού (δε θα επιτρέπει είσοδο λαδιού).
- β. Ο επιλογέας λήψεως και ο επιλογέας αντίστροφης εναλλαγής θα πρέπει να είναι μέσα σε δικό τους διαμέρισμα το οποίο δε θα είναι απόλυτα στεγανό και ως εκ τούτου τόσο ο επιλογέας λήψεως όσο και ο επιλογέας αντίστροφης εναλλαγής θα μπορεί να έρθουν σε επαφή με το λάδι του μετασχηματιστή.
- γ. Και τα δύο παραπάνω αναφερόμενα διαμερίσματα θα πρέπει να είναι τοποθετημένα εντός του δοχείου του μετασχηματιστή.

Γ. Θα πρέπει να υπάρχουν κατάλληλες ανθρωποθυρίδες στο δοχείο του μετασχηματιστή έτσι ώστε ο μηχανισμός αλλαγής λήψεως υπό φορτίο ή εξαρτήματα αυτού να μπορούν να εξαχθούν σε περίπτωση βλάβης. Είναι πολύ σημαντικό η εξαγωγή του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο ή εξαρτημάτων αυτού να μη προκαλεί προβλήματα σε άλλα μέρη του μετασχηματιστή.

7. Δοχείο διαστολής του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο

- α. Ο διακόπτης εκτροπής καθώς και οι αντιστάσεις διάβασης ανεξάρτητα εάν είναι εντός δικού τους ερμητικά κλειστού διαμερίσματος ή εντός ερμητικά κλειστής φιάλης κενού, θα πρέπει να διαθέτουν το δικό τους δοχείο διαστολής.
- β. Το δοχείο διαστολής θα πρέπει να διαθέτει δείκτη στάθμης λαδιού.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Είναι αποδεκτό επίσης ένα δοχείο διαστολής με δύο (2) διαμερίσματα, ένα για το δοχείο του μετασχηματιστή και ένα για τον μηχανισμό αλλαγής λήψης υπό φορτίο.

8. Τύπος λαδιού του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο

Το λάδι που θα χρησιμοποιείται στο διαμέρισμα του διακόπτη εκτροπής και των αντιστάσεων διάβασης θα πρέπει να είναι ορυκτέλαιο κατάλληλο για μετασχηματιστές, χωρίς τοξικά υγρά όπως PCBs ή PCTs και σύμφωνα με το κανονισμό IEC – 60296.

9. Εξαρτήματα του διαμερίσματος λαδιού του διακόπτη εκτροπής και των αντιστάσεων διάβασης

- Το διαμέρισμα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με πόμα πλήρωσης και αδειάσματος.

10. Ονομαστικά και άλλα χαρακτηριστικά του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο

- α. Μονοφασικός ή Τριφασικός : Τρεις (3) μονοφασικές μονάδες
- β. Διάταξη λήψεως : Αντιστροφής
- γ. Θέση του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο στο τύλιγμα : Στο μέσο του τυλίγματος Υ.Τ.
- δ. Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα διαβάσεως : 250 A
- ε. Ονομαστική συχνότητα : 50Hz
- στ. Ονομαστική τάση : 170KV (ενδ. τιμή)
- ζ. Ονομαστική τάση αντοχής συχνότητας δικτύου (50Hz, 1 λεπτό) : 325 KV (ενδ. τιμή)
- η. Ονομαστική κεραυνική κρουστική τάση αντοχής (1,2/50μς) : 750KV (τιμή κορυφής)
- θ. Αριθμός ηλεκτρικών θέσεων : 17
- ι. Ονομαστική φασική βηματική τάση: 1875 V

11. Απαιτούμενες συσκευές προστασίας του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό Φορτίο

α. Ηλεκτρονόμος Buchholz

Για το μηχανισμό αλλαγής λήψεως υπό φορτίο πρέπει να προβλεφθεί ένας αντισεισμικός ηλεκτρονόμος BUCHHOLZ κατασκευής EMB Γερμανίας και να εφαρμοστεί στο σωλήνα που ενώνει το δοχείο διαστολής με το δοχείο του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο του μετασχηματιστή. Αυτός ο ηλεκτρονόμος πρέπει να είναι τύπου διπλών πλωτήρων με δύο ομάδες επαφών μία για σήμανση και μία για πτώση.

Υπό κανονικές συνθήκες ο Η/Ν θα είναι γεμάτος με λάδι και οι δύο πλωτήρες του λόγω της άνωσης θα βρίσκονται στην υψηλότερη θέση. Όταν συμβεί ένα μικρής έκτασης σφάλμα στο μηχανισμό αλλαγής λήψεως του μετασχηματιστή υπό φορτίο (π.χ. τοπική υπερθέρμανση, μικρή απώλεια λαδιού κ.λ.π.), οι μικρές φυσαλίδες αερίου που θα δημιουργηθούν θα φυλακίζονται στο σώμα του Η/Ν και θα επιφέρουν πτώση της στάθμης του λαδιού και συγχρόνως κίνηση του πλωτήρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος προκαλώντας το κλείσιμο των επαφών προειδοποιητικής σήμανσης. Σε περίπτωση που θα συμβεί κάποιο σοβαρό σφάλμα στο μηχανισμό αλλαγής λήψης υπό φορτίο του Μ/Σ (π.χ. μεγάλη διαρροή λαδιού ή βραχυκύκλωμα), η αύξηση δημιουργίας φυσαλίδων θα είναι απότομη με αποτέλεσμα τη δημιουργία κύματος λαδιού στον Η/Ν που θα προκαλέσει την κίνηση του δεύτερου πλωτήρα και το κλείσιμο των επαφών πτώσης.

Οι προαναφερόμενες επαφές θα πρέπει να είναι κατάλληλες για τάση 110V Σ.Ρ.

β. Συσκευή εκτόνωσης πίεσης

Η συσκευή εκτόνωσης πίεσης θα αντιδρά στη περίπτωση που η πίεση στο διαμέρισμα του διακόπτη εκτροπής υπερβαίνει μία προκαθορισμένη τιμή (φαινόμενα εκρηκτικής ενέργειας) και θα θέτει τον μετασχηματιστή εκτός λειτουργίας.

Η συσκευή εκτόνωσης πίεσης θα πρέπει να είναι κατασκευής Qualitrol με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά επαφών εξόδου :

- Δύο (2) κανονικά ανοικτές επαφές κατάλληλες για τάση 110 V ΣΡ, η μία για πτώση και η άλλη για σήμανση.

12. Μονάδα μηχανισμού οδήγησης

α. Έλεγχος

: Τοπικά / εξ αποστάσεως.

Για τον λόγο αυτό, ο πίνακας της μονάδας μηχανισμού οδήγησης θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ένα διακόπτη επιλογής τριών θέσεων “εκτός – τοπικά – εξ’αποστάσεως”. Ο πίνακας της μονάδας μηχανισμού οδήγησης και ελέγχου θα πρέπει επίσης να είναι εφοδιασμένος με δύο (2) μπουτόν τα οποία σε συνδυασμό με τη θέση “τοπικά” του διακόπτη επιλογής θα χρησιμοποιούνται για αύξηση και μείωση του βήματος τάσεως.

β. Έλεγχος επείγουσας ανάγκης

: Απαιτείται έλεγχος επείγουσας ανάγκης και για το λόγο αυτό ο πίνακας της μονάδας του μηχανισμού οδήγησης θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ένα μπουτόν επείγουσας ανάγκης για έκτακτη κράτηση του μηχανισμού οδήγησης.

γ. Τάση τροφοδοσίας και συχνότητα του κινητήρα του μηχανισμού οδήγησης

: 3φ, 400V E.P, 50HZ με ανοχές από 85% έως 110%

δ. Εγκατάσταση

: Εκτός του δοχείου του μετασχηματιστή και συνδεδεμένος με το μηχανισμό αλλαγής λήψεως υπό φορτίο με άξονα οδήγησης και γρανάζια.

ε. Πίνακας ελέγχου της μονάδος μηχανισμού οδήγησης

: Ο πίνακας ελέγχου της μονάδος μηχανισμού οδήγησης θα πρέπει να διαθέτει προστασία IP55 κατά IEC –144.

στ. Εξοπλισμός του πίνακα ελέγχου της μονάδος μηχανισμού οδήγησης

: Ο πίνακας ελέγχου θα πρέπει εκτός από τον διακόπτη επιλογής “εκτός – τοπικά – εξ αποστάσεως”, των δύο μπουτόν για αύξηση, μείωση βήματος τάσεως και του ενός μπουτόν για επείγουσα κράτηση να περιέχει και τα ακόλουθα:

1. Ένα δείκτη λήψεως ο οποίος θα δείχνει τη θέση λήψεως.

2. Αντιστάσεις αντισυμπύκνωσης ελεγχόμενες από θερμοστάτη.
 3. Ένα μετρητή ο οποίος θα δείχνει τον αριθμό αλλαγών που έχουν πραγματοποιηθεί.
- ζ. Χειροκίνητη λειτουργία : Λειτουργία του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο χειροκίνητα με μανιβέλα και ταυτόχρονα μπλοκάροντας τη λειτουργία του ηλεκτρικού κινητήρα.
- η. Έλεγχος και ενδείξεις εξ αποστάσεως : Η μονάδα οδήγησης μηχανισμού ελέγχου θα πρέπει να μπορεί να ελέγχεται και από το αυτόματο σύστημα ελέγχου του Υ/Σ το οποίο θα ευρίσκεται στο κτίριο ελέγχου του Υ/Σ (αύξηση, μείωση και επείγουσα κράτηση). Επίσης η θέση λήψεως, ο αριθμός αλλαγών και οποιεσδήποτε σημάνσεις οι οποίες ξεκινούν από τη μονάδα του μηχανισμού οδήγησης θα πρέπει να εμφανίζονται και στο κέντρο διεπαφής-ανθρώπου μηχανής του αυτόματου συστήματος ελέγχου του Υ/Σ.
- θ. Τάση αντοχής συχνότητας δικτύου των βοηθητικών κυκλωμάτων : 2KV για ένα λεπτό μεταξύ όλων των ενεργών μερών και του πλαισίου.

13. Εγγύηση

Ο προσφερόμενος μηχανισμός αλλαγής λήψεως υπό φορτίο θα είναι κατασκευής MR Γερμανίας ή ABB Σουηδίας ή HYUNDAI και θα πρέπει να δίδεται εγγύηση τριών (3) ετών η οποία θα πρέπει να καλύπτει βλάβες του ίδιου του μηχανισμού ή βλάβες του μετασχηματιστή προκαλούμενες από δυσλειτουργία του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο.

14. Ονομαστικές πινακίδες

A. Μηχανισμός αλλαγής λήψεως υπό φορτίο

Η πινακίδα του μηχανισμού θα εμπεριέχεται στη πινακίδα του μετασχηματιστή και θα περιέχει τα ακόλουθα :

1. Σχηματικό διάγραμμα του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο
2. Θέσεις λήψεως και την αντίστοιχη τιμή τάσεως
3. Διάταξη λήψεως
4. Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα διαβάσεως για κάθε θέση λήψεως
5. Ονομαστική τάση
6. Ονομαστική κεραυνική κρουστική τάση

B. Μηχανισμός οδήγησης

Ο πίνακας της μονάδος του μηχανισμού οδήγησης θα πρέπει να φέρει πινακίδα από μη διαβρώσιμο υλικό και θα πρέπει να περιέχει τα ακόλουθα :

1. Όνομα κατασκευαστή
2. Τύπο και αριθμό σειράς
3. Τάση τροφοδοσίας
4. Συχνότητα
5. Ισχύς του κινητήρα
6. Χρόνο εκτέλεσης κάθε λειτουργίας αλλαγής λήψεως

15. Δοκιμές

Ο κατασκευαστής του μετασχηματιστή είναι υποχρεωμένος να επιδείξει στον επιθεωρητή της ΔΕΗ πιστοποιητικά δοκιμών του μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο όταν ο επιθεωρητής ευρίσκεται στις εγκαταστάσεις του κατασκευαστή για επιθεώρηση και δοκιμές του μετασχηματιστή.

Τα πιστοποιητικά δοκιμών τα οποία πρέπει να επιδειχθούν θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τις ακόλουθες δοκιμές τύπου και σειράς:

A. Δοκιμές τύπου

- α. Θερμοκρασιακή ανύψωση των επαφών
- β. Δοκιμές χειρισμών
- γ. Δοκιμή βραχυκυκλώματος
- δ. Δοκιμή αντιστάσεων διάβασης
- ε. Μηχανικές δοκιμές
- ζ. Δηλεκτρικές δοκιμές

B. Δοκιμές σειράς

- α. Δοκιμές πίεσης και κενού
- β. Επιπρόσθετες δοκιμές σειράς θα εκτελεσθούν από τον κατασκευαστή του μετασχηματιστή και αναφέρονται στην παράγραφο X-1.11.

IX. ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ & ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ

1. Δοχείο μετασχηματιστή

- α. Το δοχείο του μετασχηματιστή θα είναι τύπου καμπάνας (BELL type) ή τύπου βιδωτού καλύμματος.
- β. Το δοχείο τύπου καμπάνας θα πρέπει να συνδέεται με τη βάση του μετασχηματιστή με βιδωτή φλάντζα.
- γ. Το δοχείο του μετασχηματιστή θα είναι κατασκευασμένο για να αντέχει σε κενό τουλάχιστον 20 Torr όταν είναι χωρίς λάδι.
- δ. Για την ανύψωση, το δοχείο του Μ/Σ πρέπει να διαθέτει κατάλληλες υποδοχές. Επίσης ο Μ/Σ πρέπει να έχει υποδοχές έλξεως ή άλλη διάταξη για πρόσδεση συρματόσχοινου για τη μετακίνηση του Μ/Σ. Επιπλέον ο Μ/Σ πρέπει να έχει υποδοχές για γρύλους για χειρισμό ολόκληρου του βάρους του Μ/Σ.

- ε. Στο κάλυμμα του δοχείου και σε παράπλευρες επιφάνειες θα πρέπει να προβλεφθούν ανθρωποθυρίδες διαστάσεων τουλάχιστον 50x50cm². Δύο τουλάχιστον ανθρωποθυρίδες θα απαιτηθούν στο κάλυμμα του κελύφους για την πρόσβαση στο εσωτερικό του κελύφους του Μ/Σ.
- στ. Κοντά στο κάτω μέρος του δοχείου του μετασηματιστή πρέπει να υπάρχουν σημεία γειώσεως. Το δοχείο θα γειώνεται σε δύο τουλάχιστον σημεία διαγωνίως. Ο σχεδιασμός του δοχείου του Μ/Σ θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες από δημιουργία κυκλοφορούντων δινορευμάτων και να αποφεύγεται η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην επιφάνεια του κελύφους.
- ζ. Το κάλυμμα του δοχείου του Μ/Σ θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η παραμονή του νερού.

2. Δοχείο διαστολής

Ο μετασηματιστής πρέπει να είναι εξοπλισμένος με δοχείο διαστολής λαδιού για να αντισταθμίζει τις αλλαγές στον όγκο του λαδιού του Μ/Σ, που προκαλούνται από αλλαγές στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή από το φορτίο του Μ/Σ.

Το δοχείο διαστολής θα αποτελείται από ένα ενιαίο τεμάχιο έτοιμο για τοποθέτηση.

Η σχεδίαση πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αποφεύγεται η άμεση επαφή αέρος και λαδιού. Για την αποφυγή εισόδου της υγρασίας στο λάδι του δοχείου διαστολής κατά τη διάρκεια των αυξομειώσεων του όγκου του λαδιού, το δοχείο θα συνδέεται με αναπνευστήρα ο οποίος θα περιέχει υγροσκοπική ουσία (κρυστάλλους πυριτίου) καθώς και ένα δοχείο αποστράγγισης. Επίσης για τον ίδιο λόγο στην επιφάνεια του λαδιού, θα βρίσκεται στρώμα ξηρού αέρος το οποίο θα διαστέλλεται ή θα συστέλλεται όπως θα αυξομειώνεται ο όγκος του λαδιού. Το στρώμα ξηρού αέρος θα είναι σε επαφή με τον αναπνευστήρα έτσι ώστε να βρίσκεται πάντα υπό ατμοσφαιρική πίεση και ο εισερχόμενος αέρας να είναι πάντα ξηρός. Οι κρύσταλλοι του πυριτίου θα πρέπει να διατηρούνται ενεργοί ώστε να μπορούν να απορροφούν την υγρασία και αυτό θα ελέγχεται με περιοδικό οπτικό έλεγχο του χρώματός τους.

Στο δοχείο διαστολής εκτός του οργάνου μέτρησης της στάθμης λαδιού θα προσαρμόζεται βαλβίδα αποστράγγισης ενώ στον σωλήνα που θα συνδέει το δοχείο διαστολής με το σώμα του Μ/Σ θα υπάρχει ένας ηλεκτρονόμος Buchholz με βαλβίδες απομόνωσης όπως αναλυτικά περιγράφεται στην παράγραφο IX-7.1 αυτής εδώ της Τεχνικής Περιγραφής.

3. Ψυκτικά σώματα

Τα ψυκτικά σώματα πρέπει να είναι αποσπώμενα και οι συνδέσεις με το δοχείο του Μ/Σ πρέπει να είναι εφοδιασμένες με βαλβίδες, έτσι ώστε τα ψυκτικά σώματα να μπορούν να απομακρυνθούν, από το δοχείο του Μ/Σ χωρίς την αποστράγγιση του λαδιού. Κάθε ψυκτικό σώμα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ανυψωτικές υποδοχές και βαλβίδες αποστράγγισης ή πάματα. Ένα πάμα πληρώσεως πρέπει να παρέχεται στο υψηλότερο σημείο του ψυκτικού σώματος.

Τα ψυκτικά σώματα πρέπει να είναι προσαρμοσμένα και να στηρίζονται μόνο στο δοχείο του Μ/Σ.

4. Μονωτήρες διελεύσεως

Η σχεδίαση των μονωτήρων διελεύσεως θα είναι σύμφωνη με τον Κανονισμό IEC – 60137.

Οι μονωτήρες διελεύσεως του μετασχηματιστή για κάθε τύλιγμά του θα είναι εμποτισμένου υπαίθριου χωρητικού τύπου, μόνωσης λαδιού, με το ένα άκρο εκτεθειμένο στον αέρα και το άλλο εμβαπτισμένο στο λάδι του Μ/Σ.

Το ενεργό μέρος του μονωτήρα διελεύσεως θα αποτελείται από πυρίνα τύπου πυκνωτή από εμποτισμένο χαρτί στο λάδι του Μ/Σ.

Το περίβλημα μόνωσης των μονωτήρων διελεύσεως Υ.Τ, Χ.Τ και ουδέτερου θα είναι από υψηλής ποιότητας πορσελάνη.

Το περίβλημα από πορσελάνη θα πρέπει να συμφωνεί πλήρως με τον Κανονισμό IEC – 60233 «Δοκιμές σε κοίλους μονωτήρες ηλεκτρολογικού εξοπλισμού».

Μεταξύ του ενεργού μέρους και περιβλήματος μόνωσης θα υπάρχει λάδι (μονωτήρες διελεύσεως με μόνωση λαδιού).

Οι μονωτήρες διελεύσεως των Μ/Σ θα πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

		Υ.Τ.	Χ.Τ.	Ουδέτερος
1	Μέγιστη ονομαστική πολική τάση λειτουργίας (U_m) (KV- ενδ. τιμή)	170	24	24
2	Ονομαστική φασική τάση λειτουργίας (KV- ενδ. τιμή)	98	$24/\sqrt{3}$	$24/\sqrt{3}$
3	Ονομαστικό ρεύμα (I_r^*) (A)	800	1600	1600
4	Ονομαστικό θερμικό βραχυχρόνιο ρεύμα 1 sec (I_{th})	25 I_r	25 I_r	25 I_r
5	Ονομαστικό δυναμικό ρεύμα (I_d)	2.5 I_{th}	2.5 I_{th}	2.5 I_{th}
6	Αντοχή σε κάμψη (N) λειτουργίας	2000	625	625
7	Μήκος ερπυσμού (mm)	4250	600	600
8	Γωνία έδρασης	$\leq 30^\circ/\text{κάθετα}$	$\leq 30^\circ/\text{κάθετα}$	$\leq 30^\circ/\text{κάθετα}$
9	Θερμικό όριο – κλάση μονωτικού υλικού σε επαφή με τα μεταλλικά μέρη	105°C Class A	105°C Class A	105°C Class A
10	Διηλεκτρικός συντελεστής απωλειών ($\tan\delta$) για τάση $1.05 * U_m / \sqrt{3}$	≤ 0.007	-	-
11	Όριο μερικών εκκενώσεων για μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας (U_m)	$\leq 10pC$	-	-
12	Βασική στάθμη μόνωσης σε ατμοσφαιρικές υπερτάσεις (KV)	750	145	145
13	Αντοχή σε τάση συχνότητας δικτύου (KV)	325	50	50

4.1 Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά των μονωτήρων διελεύσεως

α. Αντοχή σε σεισμική καταπόνηση.

Όλοι οι μονωτήρες διελεύσεως θα πρέπει να αντέχουν τις ακόλουθες σεισμικές καταπονήσεις σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC-61463 και IEC-60068-3-3.

1. Οριζοντίως (άξονες x & y): $0,5g$ ($5m/s^2$)
2. Καθέτως (άξονας z): $0,25g$ ($2,5m/s^2$)
3. Η περιοχή συχνότητας θα είναι από 1 - 35Hz
4. Αποδεκτές μέθοδοι σεισμικής πιστοποίησης:
 - Με δοκιμή δόνησης ή
 - Με στατικό υπολογισμό ή
 - Με δυναμική ανάλυση

Οι προσφέροντες στην προσφορά τους είναι υποχρεωμένοι να υποβάλουν πιστοποιητικά δοκιμών ή υπολογισμό με δυναμική ανάλυση ή στατικό υπολογισμό.

Αποδοχή ή όχι των παραπάνω εναπόκειται στην κρίση της ΔΕΗ Α.Ε.

β. Οι μονωτήρες διελεύσεως θα είναι σχεδιασμένοι για να λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος από $-25^{\circ}C$ μέχρι $+45^{\circ}C$ και για υψόμετρο μέχρι 1000 μέτρα.

γ. Η μέγιστη θερμοκρασία λαδιού σε συνθήκες λειτουργίας έκτακτης ανάγκης θα είναι $115^{\circ}C$.

δ. (*) Εάν τα προαναφερόμενα μεγέθη ονομαστικών ρευμάτων των μονωτήρων διελεύσεως αποδειχθούν ανεπαρκή με βάση τα παραπάνω απαιτούμενα επιπρόσθετα χαρακτηριστικά λειτουργίας, τότε οι προσφέροντες θα πρέπει να προσφέρουν μονωτήρες διελεύσεως με τα κατάλληλα ονομαστικά μεγέθη.

4.2 Παρελκόμενα

Οι μονωτήρες διελεύσεως θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με τα ακόλουθα εξαρτήματα :

α. Δείκτης στάθμης λαδιού.

β. Ακροδέκτης δοκιμών (υποδοχή εφδ) για μέτρηση χωρητικότητας, του συντελεστή διηλεκτρικών απωλειών και μερικών εκκενώσεων του μονωτήρα. Η υποδοχή δοκιμών θα είναι μονωμένη από το στεγανοποιητικό παρέμβυσμα έδρασης, και θα είναι συνεχώς γειωμένη όταν δεν χρησιμοποιείται.

γ. Βαλβίδα εξαέρωσης.

δ. Αντισταθμιστής των διαστολών του λαδιού.

ε. Υποδοχές για λήψη δείγματος λαδιού και για πλήρωση του μονωτήρα με λάδι.

στ. Λαβές ανυψώσεως εάν απαιτούνται από τον κατασκευαστή και δεν υπάρχει άλλος τρόπος ανύψωσης .

4.3 Σημείωση

Μονωτήρες διελεύσεως με περίβλημα αποτελούμενο από σωλήνα τινών εμποτισμένων σε ρητίνη και με επικάλυψη από πυριτιούχο λάστιχο μπορεί να γίνουν αποδεκτοί εφόσον καλύπτουν τις απαιτήσεις της παραγράφου IX-4.

4.4 Ονομαστικές Πινακίδες- Σημάνσεις

Οι μονωτήρες διελεύσεως Υ.Τ θα φέρουν πινακίδα με τις ακόλουθες σημάνσεις. Για τους μονωτήρες διελεύσεως Χ.Τ και ουδετέρου, σημάνσεις που σημειώνονται παρακάτω με (■) επαρκούν :

- Όνομα Κατασκευαστή ή Προμηθευτή
- Έτος κατασκευής και αριθμός σειράς
- Μέγιστη πολική τάση λειτουργίας (U_m) ή ονομαστική φασική τάση λειτουργίας και συχνότητα λειτουργίας
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (I_r)
- Στάθμες μόνωσης BIL, PF
- Χωρητικότητα μονωτήρα, συντελεστής διηλεκτρικών απωλειών.
- Μάζα
- Γωνία έδρασης

4.5 Δοκιμές

Ο κατασκευαστής του μετασχηματιστή είναι υποχρεωμένος να επιδείξει στον επιθεωρητή της ΔΕΗ πιστοποιητικά δοκιμών των μονωτήρων διελεύσεως όταν ο επιθεωρητής ευρίσκεται στις εγκαταστάσεις του κατασκευαστή για επιθεώρηση και δοκιμές του μετασχηματιστή.

Τα πιστοποιητικά δοκιμών τα οποία πρέπει να επιδειχθούν θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τις ακόλουθες δοκιμές τύπου σειράς και ειδικές δοκιμές:

Οι δοκιμές θα είναι σύμφωνα με το κανονισμό IEC – 60137

A. Δοκιμές Τύπου

1. Δοκιμή αντοχής σε τάση συχνότητας δικτύου
2. Δοκιμή αντοχής σε κρουστική τάση από ατμοσφαιρικές υπερτάσεις.
3. Δοκιμή θερμικής σταθερότητας .
4. Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας.
5. Επιβεβαίωση αντοχής σε θερμικό βραχυχρόνιο ρεύμα.
6. Δοκιμή αντοχής κάμψης.
7. Δοκιμή στεγανότητας.
8. Επιβεβαίωση διαστάσεων.

B. Δοκιμές σειράς

1. Μέτρηση συντελεστή διηλεκτρικών απωλειών και χωρητικότητας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
2. Αντοχή σε κρουστική τάση.
3. Αντοχή σε τάση συχνότητας δικτύου.
4. Μέτρηση μερικών εκκενώσεων.
5. Δοκιμή αντοχής μόνωσης μετρητικών λήψεων.
6. Δοκιμή στεγανότητας.
7. Οπτικός έλεγχος και επιβεβαίωση διαστάσεων.

Γ. Ειδικές Δοκιμές

1. Σεισμικές δοκιμές (IEC – 61463)
2. Δοκιμή τεχνητής μόλυνσης (IEC – 60507)

Οι μονωτήρες διελεύσεως των 150kV θα πρέπει να είναι του Οίκου MICAFIL Ελβετίας ή F+G ή ABB ή Haefely ή Passoni-Villa.

Οι μονωτήρες διελεύσεως των 20kV θα πρέπει να είναι του Οίκου MICAFIG Ελβετίας ή F+G ή ABB ή Haefely ή Passoni-Villa ή Electroputere.

4.6 Μετασχηματιστές εντάσεως μονωτήρων διελεύσεως

Οι μονωτήρες διελεύσεως θα εξοπλιστούν με μετασχηματιστές εντάσεως όπως παρακάτω:

Ακροδέκτες	Αριθμός	Σχέση	Ακρίβεια & Ονομαστική ισχύς εξόδου
H1,H2,H3	1	200/1	5P20 25VA Για Μ/Σ διαφορικής προστασίας
H1,H2,H3	1	1000-500/1	5P20 50VA Για τη διαφορική προστασία ζυγών
X1, X3	1	---	Σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Η/Ν θερμικού ομοιώματος
X2	1	---	Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αυτόματης ρύθμισης τάσης υπό φορτίο

Πλήρη πρωτόκολλα δοκιμών των πιο πάνω μετασχηματιστών εντάσεως μονωτήρων διελεύσεως πρέπει να είναι διαθέσιμα κατά το χρόνο επιθεωρήσεως των μετασχηματιστών.

Επίσης τα δευτερεύοντα τυλίγματα των Μ.Ε. των μονωτήρων διελεύσεως θα δοκιμαστούν με τάση συχνότητας δικτύου 3kVως προς τη γη.

5. Λάδι μετασχηματιστή

Το λάδι θα είναι ορυκτέλαιο κατάλληλο για μετασχηματιστές και σύμφωνο με την τελευταία έκδοση του Κανονισμού IEC - 60296. Δεν θα περιέχει τοξικές ουσίες, όπως PCBs ή PCTs κ.τ.λ. και θα είναι αυτοδιασπώμενο.

6. Σύστημα ψύξης με ανεμιστήρες

Ο μετασχηματιστής πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ανεμιστήρες για βεβαιωμένη κυκλοφορία αέρος (τύπος ψύξεως ONAF) στα 50MVA.

Οι ανεμιστήρες πρέπει να τοποθετηθούν είτε κάτω από τα ψυκτικά σώματα είτε στο πλάι τους.

Για την επιλογή “αυτόματης ή χειροκίνητης” λειτουργίας των ανεμιστήρων θα πρέπει να διατίθεται ένας επιλογικός διακόπτης που να επιτρέπει τη δυνατότητα επιλογής της αυτόματης ή χειροκίνητης λειτουργίας τους.

Όλοι οι κινητήρες των ανεμιστήρων πρέπει να είναι τύπου κλωβού, τριών φάσεων 400V AC, κλειστού τύπου.

Όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός αυτοματισμού για τους ανεμιστήρες πρέπει να είναι εντός μεταλλικού πίνακα κλάσεως προστασίας (IP55), ο οποίος θα βρίσκεται πάνω στον μετασχηματιστή. Η γείωση των κινητήρων των ανεμιστήρων θα γίνεται τοπικά και όχι μέσω του πίνακα ελέγχου του Μ/Σ.

7. Όργανα - Ηλεκτρονόμοι και συσκευές προστασίας του Μ/Σ

7.1. Ηλεκτρονόμος Buchholz

Για τους μετασχηματιστές πρέπει να προβλεφθεί ένας αντισεισμικός ηλεκτρονόμος BUCHHOLZ κατασκευής EMB Γερμανίας και να εφαρμοστεί στο σωλήνα που ενώνει το δοχείο διαστολής με το δοχείο του μετασχηματιστή. Αυτός ο ηλεκτρονόμος πρέπει να είναι τύπου διπλών πλωτήρων με δύο ομάδες επαφών μία για σήμανση και μία για πτώση.

Υπό κανονικές συνθήκες ο Η/Ν θα είναι γεμάτος με λάδι και οι δύο πλωτήρες του λόγω της άνωσης θα βρίσκονται στην υψηλότερη θέση. Όταν συμβεί ένα μικρής έκτασης σφάλμα στο μηχανισμό αλλαγής λήψεως υπό φορτίο του μετασχηματιστή (π.χ. τοπική υπερθέρμανση, μικρή απώλεια λαδιού κ.λ.π.), οι μικρές φυσαλίδες αερίου που θα δημιουργηθούν θα φυλακίζονται στο σώμα του Η/Ν και θα επιφέρουν πτώση της στάθμης του λαδιού και συγχρόνως κίνηση του πλωτήρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος προκαλώντας το κλείσιμο των επαφών προειδοποιητικής σήμανσης. Σε περίπτωση που θα συμβεί κάποιο σοβαρό σφάλμα στον Μ/Σ (π.χ. μεγάλη διαρροή λαδιού ή βραχυκύκλωμα, βλάβη μονωτήρων διέλευσης κ.λ.π.), η αύξηση δημιουργίας φυσαλίδων θα είναι απότομη με αποτέλεσμα τη δημιουργία κύματος λαδιού στον Η/Ν που θα προκαλέσει την κίνηση του δεύτερου πλωτήρα και το κλείσιμο των επαφών πτώσης.

Οι προαναφερόμενες επαφές θα πρέπει να είναι κατάλληλες για τάση 110V Σ.Ρ.

7.2. Όργανο μέτρησης θερμοκρασίας λαδιού

Κάθε μετασχηματιστής πρέπει να είναι εφοδιασμένος με όργανο ένδειξης θερμοκρασίας λαδιού, που θα μετράει τη θερμοκρασία λαδιού του Μ/Σ στο θερμότερο τμήμα του.

Ο βολβός του θερμομέτρου θα τοποθετείται σε εσοχή του δοχείου του Μ/Σ και στη θερμότερη περιοχή του λαδιού. Η σύνδεση μεταξύ βολβού και ενδεικτικού οργάνου του θερμομέτρου, θα γίνει μέσω εύκαμπτου χαλύβδινου σωλήνα. Η μέτρηση θα γίνεται μέσω μηχανικής μετάδοσης κίνησης η οποία ενεργοποιείται από τη διαστολή του όγκου του υγρού στο βολβό και στη συνέχεια μέσω του χαλύβδινου σωλήνα θα μεταφέρεται στο δείκτη του ενδεικτικού οργάνου.

Επίσης για το όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας λαδιού του Μ/Σ θα προβλεφθεί λειτουργία τηλεμετάδοσης της μέτρησης από τον Μ/Σ στο αυτόματο σύστημα ελέγχου του Υ/Σ, ενσωματώνοντας στο όργανο τηλεμετρική διάταξη με αναλογικό μορφοτροπέα εξόδου 4-20 mA.

Στο όργανο απαιτείται να υπάρχουν τουλάχιστον 2 μεταγωγικές ή Κ.Α επαφές κατάλληλες για τάση 110V Σ.Ρ., μία για προειδοποιητική σήμανση και μία για πτώση.

Τα όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας λαδιού πρέπει να είναι ΑΚΜ Σουηδίας.

7.3. Όργανο μέτρησης θερμοκρασίας τυλίγματος

Το όργανο μέτρησης θερμοκρασίας τυλίγματος ενός Μ/Σ θα είναι λειτουργικά όμοιο με το όργανο μέτρησης θερμοκρασίας λαδιού διαθέτοντας επιπλέον μόνο το θερμικό στοιχείο το οποίο είναι ένα "θερμικό αντίγραφο" του τυλίγματος του Μ/Σ. Το στοιχείο αυτό θα συνδέεται με ένα μετασχηματιστή έντασης του Μ/Σ, μέσω ενός ωμικού στοιχείου προσαρμογής που θα ρυθμίζεται κατάλληλα για να μετράει το ρεύμα που διέρχεται από το αντίστοιχο τυλίγμα του Μ/Σ. Με τον τρόπο αυτό θα μετράται έμμεσα το θερμικό φορτίο και συνεπώς η θερμοκρασία του τυλίγματος αυτού.

Για την μετάδοση της ένδειξης της θερμοκρασίας τυλίγματος από τον Μ/Σ στο αυτόματο σύστημα ελέγχου του Υ/Σ, το όργανο θα συμπεριλαμβάνει διάταξη τηλεμέτρησης που να μπορεί να συνδεθεί με αναλογικό μορφοτροπέα εξόδου 4-20 mA.

Αναφορικά με τις ηλεκτρικές επαφές του οργάνου, απαιτούνται τουλάχιστον δύο μεταγωγικές ή Κ.Α επαφές, μία για προειδοποιητική σήμανση και μία για πτώση. Επιπλέον απαιτείται για την αυτόματη ενεργοποίηση των ανεμιστήρων μία (1) μεταγωγική ή Κ.Α επαφή.

Όλες οι επαφές θα πρέπει να είναι κατάλληλες για τάση 110 V Σ.Ρ.

Τα όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας τυλιγμάτων πρέπει να είναι ΑΚΜ Σουηδίας.

7.4 Βαλβίδα απομόνωσης

Ο Μ/Σ θα είναι εφοδιασμένος με μία βαλβίδα απομόνωσης.

Η βαλβίδα απομόνωσης θα είναι τοποθετημένη στο σωλήνα ανάμεσα στο δοχείο διαστολής και τον H/N Buchholz, ελέγχοντας τη ροή του λαδιού από το δοχείο διαστολής στο κέλυφος του Μ/Σ.

Μία μεταγωγική (ΚΑ) επαφή απαιτείται κατάλληλη για 110V Σ.Ρ. (~ 0.5 A).

7.5. Όργανο ένδειξης στάθμης λαδιού

Ο Μ/Σ θα είναι εφοδιασμένος με όργανο ένδειξης στάθμης λαδιού μαγνητικής λειτουργίας. Η τοποθέτησή του θα γίνει στην εξωτερική επιφάνεια του δοχείου διαστολής και θα έχει πλωτήρα που θα βρίσκεται μέσα στο λάδι του δοχείου διαστολής. Η στάθμη του λαδιού θα καθορίζει την κίνηση του πλωτήρα η οποία θα μεταδίδεται μηχανικά και θα προκαλεί την κίνηση του δείκτη του οργάνου.

Για την προειδοποιητική σήμανση της χαμηλής στάθμης λαδιού θα πρέπει να προβλεφθεί μία ηλεκτρική επαφή κανονικά ανοιχτή, κατάλληλη για τάση 110 VΣ.Ρ. (~0.5 A).

8. Συσκευή ανακουφίσεως πίεσης

Κάθε μετασχηματιστής θα είναι εξοπλισμένος με τουλάχιστον μία συσκευή ανακουφίσεως της πίεσης κατασκευής QUALITROL τύπου XPRD. Η συσκευή θα είναι τοποθετημένη οριζόντια ή κάθετα στο δοχείο του Μ/Σ και θα λειτουργεί με ελατηριωτό μηχανισμό αυτόματα. Ο μηχανισμός θα κρατάει σταθερό ένα διάφραγμα από ανοξείδωτο χάλυβα του οποίου η μία πλευρά θα είναι εκτεθειμένη στην πίεση του δοχείου του Μ/Σ. Σε περίπτωση εσωτερικών υπερπίεσεων προξενούμενες από εσωτερικές ανωμαλίες, το διάφραγμα θα ανοίγει και θα επανέρχεται στην αρχική του θέση, μετά την επαναφορά της πίεσης στην αρχική προκαθορισμένη τιμή της. Θα υπάρχει επίσης δυνατότητα για χειροκίνητο έλεγχο της λειτουργίας της συσκευής.

Για τη σήμανση της λειτουργίας της, η συσκευή ανακούφισης πίεσεως θα είναι εφοδιασμένη με δύο (2) κανονικά ανοικτές επαφές σημάσεως κατάλληλες για τάση 110V Σ.Ρ.

9. Βαλβίδες

Κάθε μετασχηματιστής θα είναι εξοπλισμένος με τον απαραίτητο αριθμό βαλβίδων π.χ. για την κένωση του δοχείου, για δειγματική λήψη λαδιού, απομόνωση κάθε ψυκτικού σώματος κτλ.. Δύο βαλβίδες πληρώσεως λαδιού διαγώνια τοποθετημένες θα προβλεφθούν στο κάλυμμα του δοχείου του Μ/Σ.

Επίσης θα προβλεφθούν βαλβίδα για φιλτράρισμα λαδιού και βαλβίδα συνδέσεως κενού.

10. Παρεμβύσματα

Οι φλαντζωτές συνδέσεις για μονωτήρες διελεύσεως, ανθρωποθυρίδες και ψυκτικά σώματα πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε τα παρεμβύσματα να μην είναι εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες και να είναι εφοδιασμένα με μηχανικά τέρματα ώστε να αποφεύγεται το σπάσιμό τους.

11. Συνδετικό υλικό

Όλο το συνδετικό υλικό, δηλαδή κοχλίες, περικόχλια και παράκυκλοι ασφαλείας, θα πρέπει να είναι γαλβανισμένο εν θερμώ.

12. Καλωδιώσεις - Αγωγοί

Όλοι οι αγωγοί των τυλιγμάτων, ενώσεις και άλλες συνδέσεις θα είναι φτιαγμένες από ηλεκτρολυτικό χαλκό.

Όλες οι μικρές, καλωδιακές συνδέσεις από τις επαφές σήμανσης, τα ενδεικτικά πηνία θερμοκρασίας, τους Μ/Σ έντασης, τις συσκευές ελέγχου κ.α., θα πρέπει να καταλήγουν στις οριζωρίδες στο χώρο ελέγχου ανεμιστήρων από το οποίο αναχωρούν τα καλώδια ελέγχου για το κέντρο ελέγχου.

Όλες οι καλωδιώσεις θα είναι χρωματικά κωδικογραφημένες, ανθεκτικές στην υγρασία σε χαλύβδινο, γαλβανισμένο σωλήνα.

Όλοι οι ακροδέκτες θα είναι κατάλληλα αναγνωρίσιμοι. Ο πίνακας ελέγχου ανεμιστήρων θα είναι εφοδιασμένος με αντίσταση θερμάνσεως η οποία θα ελέγχεται από κατάλληλο θερμοστάτη.

Όλα τα κυκλώματα ελέγχου Χ.Τ. πρέπει να δοκιμαστούν με τάση 2kV ενδεικνυόμενη τιμή για 1 λεπτό.

13. Σφικκτήρες ακροδεκτών

Κάθε Μ/Σ θα είναι εφοδιασμένος με τους ακόλουθους σφικκτήρες:

Ακροδέκτες	Κατάλληλος για	Δ/νση λήψεως
H1, H2, H3	185mm ² χάλκινος πολύκλωνος αγωγός	Κατακόρυφη
X1, X2, X3	80 mm χάλκινος σωλήνας	Οριζόντια

Οι ακροδέκτες θα είναι εφοδιασμένα με εύκαμπτους σφικκτήρες συνδέσεων.

14. Προστατευτικά Διάκενα

Κάθε Μ/Σ θα είναι εφοδιασμένος με προστατευτικά διάκενα τα οποία θα πρέπει να είναι ρυθμισμένα όπως παρακάτω:

Στους ακροδέκτες	Ρύθμιση Προστατευτικών Διακένων (ίντσες)		
	Από	Προς	Εργοστασιακή ρύθμιση
H1, H2, H3	25"	40"	26"
X1, X2, X3	3"	6"	4.5"

15. Βοηθητικές Παροχές

Διαθέσιμη βοηθητική παροχή Ε.Ρ. : Τριφασική τάση 220/400V 50Hz

Διαθέσιμη βοηθητική παροχή Σ.Ρ. : 110V

16. Απαιτήσεις βαφής για τον μετασχηματιστή

Ο μετασχηματιστής συμπεριλαμβανομένων και των ψυκτικών σωμάτων του θα πρέπει να βαφεί με χρώμα Γκρι, RAL 7040 και με πάχος βαφής 120μm±20μm.

17. Απαιτήσεις μεταφοράς

Οι μετασχηματιστές κατά την μεταφορά τους θα πρέπει να είναι γεμάτοι με μονωτικό λάδι και άζωτο (N₂)

X. ΔΟΚΙΜΕΣ

Οι δοκιμές θα εκτελεστούν σύμφωνα με τους Κανονισμούς IEC-60076-1, 2 & 3.

1. Δοκιμές σειράς

1.1 Μέτρηση Αντίστασης τυλίγματος

Η μέτρηση θα γίνει με τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος και για όλα τα τυλίγματα ανά φάση του Μ/Σ. Η μέτρηση της αντίστασης των τυλιγμάτων γίνεται αφού ο Μ/Σ παραμείνει τουλάχιστον τρεις (3) ώρες εκτός λειτουργίας, ώστε να υπάρχει εξίσωση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας λαδιού και της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων. Ως μέση τιμή της θερμοκρασίας του λαδιού θεωρείται η μέση τιμή των θερμοκρασιών στο πάνω και κάτω τμήμα του λαδιού.

1.2 Έλεγχος λόγου τάσεων και συνδεσμολογία τυλιγμάτων (Διανυσματική ομάδα)

Κατά την δοκιμή θα μετρηθεί ο λόγος των τάσεων για κάθε λήψη του μηχανισμού αλλαγής λήψεων υπό φορτίο και θα ελεγχθεί η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του Μ/Σ.

1.3 Μέτρηση σύνθετης αντίστασης βραχυκυκλώσεως και απωλειών υπό φορτίο

Η μέτρηση θα γίνει στην ονομαστική συχνότητα και με την εφαρμογή τάσης ημιτονοειδούς μορφής στο υπό μέτρηση τύλιγμα, έχοντας το δεύτερο τύλιγμα βραχυκυκλωμένο. Η σύνθετη αντίσταση βραχυκυκλώσεως δεν θα είναι μικρότερη από 15.2% στα 40.000KVA και 19% στα 50.000KVA σε κάθε λήψη του μηχανισμού αλλαγής λήψεων υπό φορτίο (OLTC). Το ρεύμα που θα διαρρέει το υπό δοκιμή τύλιγμα δεν θα είναι μικρότερο από το ήμισυ του αντίστοιχου ονομαστικού ρεύματος του τυλίγματος αυτού για τη συγκεκριμένη λήψη. Για τον υπολογισμό των απωλειών οι μετρηθείσες τιμές θα αναχθούν στη θερμοκρασία των 75°C, σύμφωνα με τον Κανονισμό IEC 60076-1.

1.4 Μέτρηση ρεύματος μαγνητίσεως και απωλειών εν κενώ

Η δοκιμή θα εκτελεσθεί πριν τις διηλεκτρικές δοκιμές και τη δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας. Η μέτρηση θα γίνει στα τυλίγματα Υ.Τ. ή Χ.Τ. του Μ/Σ στην ονομαστική τάση και ονομαστική συχνότητα και για την κύρια λήψη του μηχανισμού αλλαγής λήψεων υπό φορτίο. Το άλλο τύλιγμα θα παραμείνει ανοιχτοκυκλωμένο. Για τη ρύθμιση της τάσης εφαρμογής θα χρησιμοποιηθούν 2 βολτόμετρα συνδεδεμένα παράλληλα και από τα οποία το ένα θα μετράει την ενεργό τιμή της τάσης (V) και το άλλο θα μετράει τη μέση τιμή της τάσης (V'). Η κυματομορφή της τάσης εφαρμογής θα είναι αποδεκτή εάν η διαφορά των τιμών των ενδείξεων στα δύο βολτόμετρα είναι μικρότερη από 3%.

Για τον υπολογισμό των απωλειών η μετρούμενη τιμή της ισχύος των απωλειών P_m θα ανάγεται με βάση τη σχέση: $P_o = P_m \cdot \left(1 + \frac{V' - V}{V'}\right)$

Η ενδεικνυόμενη τιμή του ρεύματος μαγνητίσεως μετράται συγχρόνως με τις απώλειες ενώ λαμβάνεται υπόψη η μέση τιμή των μετρήσεων των οργάνων για τις τρεις (3) φάσεις.

Η δοκιμή απωλειών εν κενώ θα επαναλαμβάνεται μετά τις διηλεκτρικές δοκιμές και αυτές οι απώλειες θα είναι οι πραγματικές απώλειες εν κενώ του Μ/Σ.

1.5 Μέτρηση επαγωγικής αντίδρασης μηδενικής ακολουθίας

Η δοκιμή θα πραγματοποιηθεί σε ονομαστική συχνότητα και ανάμεσα στους ακροδέκτες της Χ.Τ. των τυλιγμάτων συνδεδεμένων σε αστέρα και στον ακροδέκτη ουδέτερου. Η επαγωγική αντίδραση μηδενικής ακολουθίας είναι εκφρασμένη σε Ohms ανά φάση και δίνεται από $3 \cdot V/I$, όπου V είναι η τάση δοκιμής και I είναι το ρεύμα δοκιμής (ρεύμα δοκιμής ανά φάση I/3).

1.6 Μέτρηση της χωρητικότητας και του συντελεστή απωλειών (εφδ)

Οι μετρήσεις θα εκτελεσθούν για τις ακόλουθες συνδέσεις:

- α. Υ.Τ. – (Χ.Τ. + δοχείο Μ/Σ) γειωμένα
- β. Υ.Τ. – Χ.Τ. με το δοχείο Μ/Σ μόνον γειωμένο
- γ. Χ.Τ. – (Υ.Τ. + δοχείο Μ/Σ) γειωμένα

Η τάση δοκιμής θα είναι 10kV

Εφδ ≤ 0,8%

1.7 Μέτρηση της αντίστασης μονώσεως

Οι μετρήσεις θα διεξαχθούν για τις ακόλουθες συνδέσεις και για δύο χρονικές περιόδους (60 δευτερολέπτων και 15 δευτερολέπτων)

- α. $Y.T. - (X.T. + \gamma\eta)$
- β. $X.T. - (Y.T. + \gamma\eta)$
- γ. $(Y.T. + X.T.) - \gamma\eta$
- δ. $Y.T. - X.T.$

Η τάση δοκιμής θα είναι 2,5kV.

1.8 Δοκιμή στεγανότητας του δοχείου του μετασχηματιστή

Το δοχείο με το ενεργό μέρος του μετασχηματιστή εγκατεστημένο εντός αυτού και με την κατάλληλη ποσότητα λαδιού θα δοκιμασθεί σε πίεση μέσω εκχύσεως αζώτου προδιαγραφόμενη από τον κατασκευαστή. Διάρκεια δοκιμής = 24 ώρες.

1.9 Δοκιμές λαδιού μετασχηματιστή

- α. Διηλεκτρική δοκιμή (τάση διασπάσεως $\geq 220\text{kV/cm}$).
- β. Εφδ

1.10 Διηλεκτρικές δοκιμές

1.10.1 Δοκιμή αντοχής σε τάση (50Hz, 1λεπτό)

Η δοκιμή θα εκτελεσθεί με την εφαρμογή μίας μονοφασικής τάσης δοκιμής, κατά μέγιστη προσέγγιση ημιτονοειδούς κυματομορφής και με συχνότητα τουλάχιστον 40 Hz. Κατά την έναρξη και τη λήξη της δοκιμής η εφαρμοζόμενη τάση θα είναι μειωμένη στο 1/3 της τιμής της τάσης δοκιμής.

Η πλήρης τάση δοκιμής θα εφαρμοσθεί για 1 λεπτό μεταξύ των άκρων των υπό δοκιμή τυλίγμάτων του Μ/Σ.

Για τη δοκιμή του τυλίγματος X.T. η τάση δοκιμής θα είναι 50kV. Τα τυλίγματα Y.T. και το δοχείο του Μ/Σ θα είναι βραχυκυκλωμένα και γειωμένα.

Για τη δοκιμή του τυλίγματος Y.T. η τάση δοκιμής θα είναι 325kV. Τα τυλίγματα X.T. και του ουδετέρου καθώς και το δοχείο του Μ/Σ θα είναι βραχυκυκλωμένα και γειωμένα.

1.10.2 Δοκιμή αντοχής σε κρουστική τάση

Η δοκιμή θα εκτελεσθεί για κάθε ακροδέκτη τυλίγματος Y.T. και X.T. και επίσης για το τυλίγμα ουδετέρου, με την ακόλουθη σειρά εφαρμογής :

Τύλιγμα Y.T.

1. Εφαρμογή ενός (1) μειωμένου κύματος κρουστικής τάσης 50% - 75% του πλήρους κύματος (375KV – 562.5KV), μορφής 1.2/50 μS .
2. Εφαρμογή τριών (3) διαδοχικών πλήρων κυμάτων κρουστικής τάσης 750KV μορφής 1.2/50 μS .

Τύλιγμα Χ.Τ. και Ουδετέρου

1. Εφαρμογή ενός (1) μειωμένου κύματος κρουστικής τάσης 50% - 75% του πλήρους κύματος (72,5KV – 108,75KV), μορφής 1,2/50μS.
2. Εφαρμογή τριών (3) διαδοχικών πλήρων κυμάτων κρουστικής τάσης 145KV μορφής 1,2/50μS.

Για τη δοκιμή της κρουστικής τάσης στο τύλιγμα του ουδετέρου το κύμα που εφαρμόζεται επιτρέπεται να έχει διάρκεια μετώπου μέχρι 13 μS.

1.10.3 Δοκιμή επαγόμενης τάσης Ε.Ρ. μικρής διάρκειας (ACSD)

1. Για τη δοκιμή επαγόμενης τάσης Ε.Ρ. μικρής διάρκειας θα χρησιμοποιηθεί η τριφασική σύνδεση και η τάση θα εφαρμοσθεί σε όλες τις φάσεις της Χ.Τ. του μετασχηματιστή με τον μηχανισμό αλλαγής λήψεων ευρισκόμενο στη θέση 1 (161.250/21KV).
2. Ο ακροδέκτης ουδετέρου θα γειωθεί.
3. Οι ακροδέκτες Υ.Τ. θα είναι ανοιχτοκυκλωμένοι.
4. Η επαγόμενη τάση θα παραχθεί με την εφαρμογή μιας πολικής τάσης ημιτονοειδούς μορφής και συχνότητας έως 100 Hz.
Εάν η συχνότητα της τάσεως εφαρμογής είναι μεγαλύτερη από 100 Hz ο χρόνος δοκιμής για την επαγόμενη τάση (σε δευτερόλεπτα) θα δίνεται από τη σχέση : $120 \cdot \left(\frac{f_r}{r_f} \right)$,
όπου f_r : η ονομαστική συχνότητα και f_f : η συχνότητα δοκιμής,
αλλά δε θα είναι μικρότερος των 15 δευτερολέπτων.
5. Η ακολουθία εφαρμογής της επαγόμενης τάσεως Ε.Ρ μικρής διάρκειας θα είναι ως ακολούθως :
 - α. Τάση σε ένα επίπεδο, όχι μεγαλύτερο από το 1/3 των 75 KV, για την έναρξη της δοκιμής.
 - β. Ανύψωση στα $1.1 * U_m$ (187KV) και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
 - γ. Ανύψωση στα 225 KV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
 - δ. Ανύψωση στα 325 KV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για το χρόνο δοκιμής επαγόμενης τάσης (παράγραφος 4).
 - ε. Αμέσως μετά, μείωση στο επίπεδο των 225 KV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά για μέτρηση μερικών εκφορτίσεων.
 - στ. Μείωση στο επίπεδο των $1.1 * U_m$ (187KV) και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
 - ζ. Μείωση στο επίπεδο του 1/3 των 75KV πριν τη λήξη της δοκιμής.

Όπου $U_m = 170KV$

Καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής θα παρακολουθούνται οι μερικές εκφορτίσεις.

Η δοκιμή θα θεωρείται επιτυχής εάν :

- Δε συμβεί κατάρρευση της τάσης δοκιμής
- Το συνεχές επίπεδο των εμφανών εκφορτίσεων στα 225 KV στο δεύτερο 5λεπτο, δεν υπερβεί τα 300 pC
- Οι μερικές εκφορτίσεις δεν παρουσιάζουν συνεχή αυξητική τάση.
- Το συνεχές επίπεδο των εμφανών εκφορτίσεων δεν υπερβεί τα 100 pC στα $1.1 * U(187KV)$.

Εφόσον δεν υπάρχει κατάρρευση τάσεως, αποτυχία στα παραπάνω όρια μερικών εκφορτίσεων δε συνεπάγεται και άμεση απόρριψη αλλά θα πρέπει να διεξαχθούν επιπρόσθετες έρευνες. Για επιπρόσθετες έρευνες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι διαδικασίες του παραρτήματος Α του κανονισμού IEC – 60076 – 3.

1.11 Δοκιμή λειτουργίας του μηχανισμού αλλαγής λήψεων υπό φορτίο

Με τον μηχανισμό αλλαγής λήψεων υπό φορτίο (OLTC) πλήρως συναρμολογημένο στον Μ/Σ θα εκτελεσθούν οι ακόλουθες λειτουργίες :

- α. Με τον Μ/Σ απενεργοποιημένο θα γίνουν 8 πλήρεις κύκλοι λειτουργίας (σε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας ο επιλογέας πηγαίνει από τη χαμηλότερη λήψη μέχρι την υψηλότερη και επιστρέφει).
- β. Με τον Μ/Σ απενεργοποιημένο και τη βοηθητική τάση τροφοδοσίας στο 85% της ονομαστικής θα εκτελεσθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας.
- γ. Με τον Μ/Σ ενεργοποιημένο χωρίς φορτίο, στην ονομαστική τάση και ονομαστική συχνότητα θα εκτελεσθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας .
- δ. Με ένα τύλιγμα του Μ/Σ βραχυκυκλωμένο και με ονομαστικό ρεύμα στο υπό δοκιμή τύλιγμα, θα εκτελεσθούν 10 λειτουργίες αλλαγής λήψεων κατά μήκος και σε εύρος 2 βημάτων προς κάθε πλευρά, με αφετηρία τη μεσαία λήψη.

Αφού ο μηχανισμός αλλαγής λήψεων υπό φορτίο (OLTC) έχει πλήρως συναρμολογηθεί στον Μ/Σ, θα εκτελεσθεί δοκιμή αντοχής σε τάση συχνότητας δικτύου για τα βοηθητικά κυκλώματα.

2. Δοκιμές τύπου

2.1. Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας

Η δοκιμή θα εκτελεσθεί σύμφωνα με τον Κανονισμό IEC-60076-2

Ο σκοπός της δοκιμής είναι να αποδείξει:

- α. Την ανύψωση θερμοκρασίας στο ανώτερο τμήμα του λαδιού του Μ/Σ, σε συνθήκες σταθερής κατάστασης και περίπτωση συνολικών απωλειών (απώλειες υπό φορτίο και απώλειες εν κενώ).
- β. Τη μέση ανύψωση θερμοκρασίας τυλίγματος στο ονομαστικό ρεύμα και με θερμοκρασιακές συνθήκες για το λάδι όπως αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο.

Για το λόγο αυτό η δοκιμή εκτελείται αντίστοιχα σε δύο βήματα :

1. Εφαρμογή τάσης δοκιμής τέτοιας ώστε η μετρούμενη ενεργός ισχύς να είναι ίση με τις συνολικές απώλειες του Μ/Σ. Το ρεύμα δοκιμής θα είναι μεγαλύτερο του ονομαστικού ώστε να καλύπτονται και οι απώλειες κενού. Η δοκιμή σε αυτό το βήμα θα τελειώσει όταν ο ρυθμός μεταβολής της ανύψωσης θερμοκρασίας στο ανώτερο τμήμα του λαδιού πέσει κάτω από 1°C ανά ώρα και παραμένει σ' αυτή την κατάσταση για τρεις (3) ώρες.
2. Από τη στιγμή που θα επιβεβαιωθεί η θερμική ανύψωση στο ανώτερο τμήμα του λαδιού, η δοκιμή συνεχίζεται άμεσα με την εφαρμογή για μία (1) ώρα ρεύματος δοκιμής μειωμένου στην τιμή του ονομαστικού ρεύματος του υπό δοκιμή τυλίγματος . Στο τέλος της μίας ώρας μετράται η αντίσταση του τυλίγματος με την απότομη αποσύνδεση της παροχής και υπολογίζεται προσεγγιστικά με τη γραφική μέθοδο.

Η δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας θα εκτελείται πριν τις διηλεκτρικές δοκιμές σειράς.

3. Ειδικές δοκιμές

Οι δοκιμές αυτές θα εκτελούνται σε ένα (1) τεμάχιο της παραγγελίας.

3.1 Δοκιμή επαγόμενης τάσης Ε.Ρ. μακράς διάρκειας (ACLD)

1. Για τη δοκιμή μακράς διάρκειας επαγόμενης τάσης Ε.Ρ. θα χρησιμοποιηθεί η τριφασική σύνδεση και η οποία θα εφαρμοσθεί σε όλες τις 3 φάσεις της Χ.Τ. του μετασχηματιστή.
2. Ο ακροδέκτης ουδετέρου τάσεως θα γειωθεί.
3. Οι ακροδέκτες Υ.Τ. θα είναι ανοιχτοκυκλωμένοι.
4. Η επαγόμενη τάση θα προκληθεί με την εφαρμογή μιας πολικής τάσεως ημιτονοειδούς μορφής και συχνότητας έως 100 Hz. Εάν η συχνότητα της τάσεως εφαρμογής είναι μεγαλύτερη από 100 Hz ο χρόνος δοκιμής για την επαγόμενη τάση (σε δευτερόλεπτα) θα δίνεται από τη σχέση :

$$t = 120 \times \frac{\text{ονομαστική συχνότητα}}{\text{συχνότητα δοκιμής}}, \text{ αλλά δε θα είναι μικρότερος των}$$

15 δευτερολέπτων.

5. Η ακολουθία εφαρμογής της επαγόμενης τάσεως Ε.Ρ. μακράς διάρκειας θα είναι ως ακολούθως :
 - α. Τάση σε ένα επίπεδο, όχι μεγαλύτερο από το 1/3 των 85 KV, για την έναρξη της δοκιμής.
 - β. Ανύψωση στα $1.1 * U_m$ (187KV) και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
 - γ. Ανύψωση στα 255 KV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
 - δ. Ανύψωση στα 289 KV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για τον απαιτούμενο χρόνο δοκιμής.

- ε. Αμέσως μετά, μείωση δίχως διακοπή στο επίπεδο των 255 KV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 30 λεπτά τουλάχιστον για μέτρηση μερικών εκφορτίσεων.
- στ. Μείωση στο επίπεδο των $1.1 * U_m$ (187KV) και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
- ζ. Μείωση σε μια τιμή κάτω από το 1/3 των 85KV πριν τη λήξη της δοκιμής. Όπου $U_m = 170KV$

Καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής θα παρακολουθούνται οι μερικές εκφορτίσεις.

Η δοκιμή θα θεωρείται επιτυχής εάν :

- Δε συμβεί κατάρρευση της τάσης δοκιμής
- Το επίπεδο των εμφανών εκφορτίσεων στα 255 KV κατά την διάρκεια των 30min δεν υπερβεί τα 500 pC
- Οι μερικές εκφορτίσεις δεν παρουσιάζουν συνεχή αυξητική τάση.
- Το συνεχές επίπεδο των εμφανών εκφορτίσεων δεν υπερβεί τα 100 pC στα $1.1 * U_m$ (187KV).

Εφόσον δεν υπάρχει κατάρρευση τάσεως και πολύ υψηλές τιμές στα παραπάνω όρια μερικών εκφορτίσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα, η δοκιμή θεωρείται ως μη καταστρεπτική. Αποτυχία επίτευξης των αποδεκτών ορίων μερικών εκφορτίσεων δε συνεπάγεται και άμεση απόρριψη αλλά θα πρέπει να οδηγήσει σε συνεννόηση μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή για επιπρόσθετες έρευνες. Για αυτές τις επιπρόσθετες έρευνες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι διαδικασίες του παραρτήματος Α του κανονισμού IEC – 60076 – 3.

3.2 Δοκιμή αντοχής σε αποκομμένο κύμα (LIC)

Η δοκιμή θα εκτελεσθεί με την χρήση της ίδιας διάταξης όπως στη δοκιμή κρουστικού κύματος και με την προσθήκη μόνο του διακένου των σφαιρών αποκοπής. Κατά τη δοκιμή αντοχής σε πλήρες κρουστικό κύμα και για κάθε τύλιγμα του Μ/Σ μπορεί να παρεμβληθεί η εφαρμογή αποκομμένου κύματος 1.2/50 μS με πλάτος 10% μεγαλύτερο του αντίστοιχου κρουστικού κύματος και η σειρά της διηλεκτρικής δοκιμής διαμορφώνεται ως εξής :

1. Εφαρμογή ενός (1) μειωμένου κύματος κρουστικής τάσης μορφής 1.2/50 μS (50% \pm 75% του πλήρους κύματος).
2. Εφαρμογή ενός (1) πλήρους κρουστικού κύματος μορφής 1.2/50 μS .
3. Εφαρμογή ενός ή περισσότερων μειωμένων αποκομμένων κυμάτων μορφής 1.2/50 μS .
4. Εφαρμογή δύο (2) πλήρων αποκομμένων κυμάτων μορφής 1.2/50 μS .
5. Εφαρμογή δύο (2) πλήρων κυμάτων μορφής 1.2/50 μS .

Ο χρόνος αποκοπής του αποκομμένου κύματος θα είναι από 2 μS έως 6 μS .

3.3 Δοκιμή καθορισμού στάθμης θορύβου

Η δοκιμή θα επιβεβαιώσει το επιτρεπόμενο όριο της στάθμης του ακουστικού θορύβου του μετασχηματιστή αρχικά χωρίς τους ανεμιστήρες σε λειτουργία και μετά με τους ανεμιστήρες σε λειτουργία, που είναι 72 dB.

3.4 Μέτρηση αρμονικών του ρεύματος λειτουργίας εν κενώ

Η μέτρηση των αρμονικών του ρεύματος κενής λειτουργίας θα γίνει για τις τρεις φάσεις του Μ/Σ και το μέγεθος των αρμονικών θα δηλωθεί ως ποσοστό της θεμελιώδους συνιστώσας.

3.5 Μέτρηση ισχύος ανεμιστήρων

Η μέτρηση θα γίνει ώστε να εξακριβωθούν οι απαιτήσεις ισχύος του συστήματος ψύξης του Μ/Σ και να ληφθούν υπόψη στις συνολικές απώλειες του Μ/Σ που θα εγγυηθούν από τον Προσφέροντα.

Η μέτρηση αυτή θα εκτελεσθεί ταυτόχρονα με την δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας. Τυχόν υπέρβαση των εγγυημένων απωλειών θα επιβαρύνει όχι μόνο τον υπό δοκιμή Μ/Σ αλλά το σύνολο των τεμαχίων της παραγγελίας.

XI. ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΑ

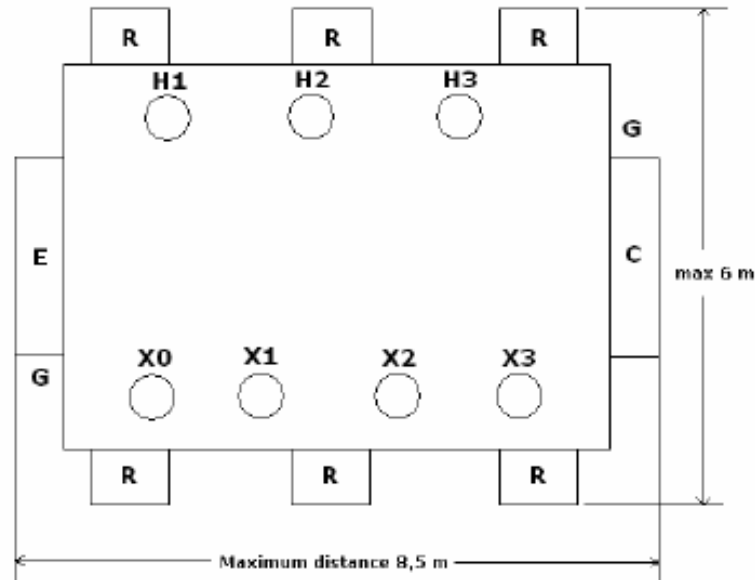
Οι μετέχοντες στο διαγωνισμό πρέπει να προσφέρουν τα παρακάτω ανταλλακτικά για κάθε μετασηματιστή και να δώσουν τιμή για το κάθε είδος.

Αρ. Είδους	<u>Περιγραφή</u>
1	Ένας πλήρης μονωτήρας διελεύσεως Υ.Τ.
2	Ένας πλήρης μονωτήρας διελεύσεως Χ.Τ.
3	Πλήρης ομάδα παρεμβυσμάτων για όλους τους μονωτήρες διελεύσεως, καλυμμάτων, φλάντζας ψυκτικών σωμάτων, ανθρωποθυρίδες και χειροθυρίδες για κάθε Μ/Σ.
4	Ανεμιστήρα ψύξεως και κινητήρας
5	Ομάδα ανταλλακτικών για κάθε εξάρτημα που υπόκειται σε πιθανή βλάβη κατά τη λειτουργία των ηλεκτρονόμων, επαφών, οργάνων διατάξεως προστασίας κ.λ.π.
6	Ομάδα ανταλλακτικών για το μηχανισμό αλλαγής λήψεων με φορτίο που είναι πιθανόν να παρουσιάσουν βλάβη κατά την λειτουργία (πλήρης ομάδα επαφών για τον διακόπτη εκτροπής).

Ο αγοραστής διατηρεί το δικαίωμα να καθορίσει τα ανταλλακτικά τα οποία ο προμηθευτής θα πρέπει να προμηθεύσει σύμφωνα με τις τιμές μονάδας της προσφοράς κατά τη στιγμή της υπογραφής της σχετικής σύμβασης ή να μην προβεί σε καμία αγορά ανταλλακτικών.

XII. ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΟ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

Η διάταξη και οι εξωτερικές συνολικές διαστάσεις του μετασηματιστή πρέπει να είναι όπως φαίνεται παρακάτω :



Το ύψος του Μ/Σ μαζί με το δοχείο διαστολής δεν θα υπερβαίνει τα 8 μέτρα.

- | | | | |
|------|-------------------|-----|---------------------------|
| (H) | Τυλίγματα Υ.Τ. | (G) | Ακροδέκτες γης |
| (X) | Τυλίγματα Χ.Τ. | (R) | Ψυγεία |
| (C) | Δοχείο διαστολής | (E) | Χώρος ελέγχου ανεμιστήρων |
| (X0) | Τύλιγμα ουδετέρου | | |

Η ταξινόμηση που φαίνεται για τα ψυγεία δεν είναι υποχρεωτική. Οι κατασκευαστές μπορούν να προτείνουν το δικό τους τρόπο ταξινόμησης.

XIII. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΧΟΔΡΟΜΗΣΗΣ Μ/Σ

Οι μετασηματιστές θα προβλεφθούν να είναι εφοδιασμένοι με τροχούς που θα επιτρέπουν την κίνηση του γεμάτου με λάδι μετασηματιστή είτε κατά μήκος, είτε εγκάρσια.

Οι τροχοί θα μπορούν να κινούνται πάνω σε ράγες και να περιστρέφονται κατά 90°.

Η απόσταση μεταξύ των ράγων θα είναι 1435mm.

XIV. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΥΠΟΒΑΛΛΟΥΝ ΟΙ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟ

1. Όλοι οι συμμετέχοντες στο διαγωνισμό θα πρέπει να υποβάλλουν όλα τα τεχνικά δεδομένα που ζητούνται στο συνημμένο «ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α» της παρούσας

- προδιαγραφής, καθώς επίσης κάθε προτεινόμενη απόκλιση από την παρούσα προδιαγραφή αιτιολογώντας την ύπαρξη των αποκλίσεων αυτών. Η μη συμμόρφωση με αυτήν την απαίτηση θα αποτελεί επαρκή λόγο για την απόρριψη της προσφοράς.
2. Όλοι οι συμμετέχοντες θα πρέπει να λάβουν γνώση των παραρτημάτων Β και Γ της παρούσας προδιαγραφής.
 3. Τεχνικά φυλλάδια και σημειώσεις οδηγιών των προσφερόμενων Μ/Σ, τα οποία θα βοηθήσουν στην διαδικασία της τεχνικής κρίσης.
 4. Τεχνικά στοιχεία και χαρακτηριστικά για το μηχανισμό αλλαγής λήψεως υπό φορτίο και για τα βασικά παρελκόμενα και συστήματα.
 5. Γενικά σχέδια διαστάσεων των Μ/Σ, ενδείξεις των ακροδεκτών των τυλιγμάτων, καθώς και κάθε άλλη πληροφορία για την πλήρη περιγραφή των προσφερόμενων μετασχηματιστών.
 6. Οποιαδήποτε πιστοποιητικά για δοκιμές τύπου ή τις ειδικές δοκιμές όπως αυτές καθορίζονται στην παρούσα προδιαγραφή.

XV. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΥΠΟΒΑΛΛΕΙ Ο ΕΠΙΤΥΧΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΟ

Ο προμηθευτής πρέπει να στείλει 3 (τρία) αντίγραφα για έγκριση και 5 αντίγραφα τελικών σχεδίων πριν ή με τη φόρτωση, όπως παρακάτω:

- α. Σχέδιο γενικών διαστάσεων του πλήρους συναρμολογημένου μετασχηματιστή.
- β. Σχηματικά και λειτουργικά διαγράμματα συρματώσεων των κυκλωμάτων του Μ/Σ.
- γ. Σχέδιο μονωτήρων διελεύσεως.
- δ. Σχέδιο πινακίδας μετασχηματιστή.
- ε. Ακροδέκτες.
- στ. Διάγραμμα συνδέσεων των Μ/Σ εντάσεως.
- ζ. Χαρακτηριστικές καμπύλες των Μ/Σ εντάσεως που να δείχνουν με ανοικτό το δευτερεύον τον κορεσμό, σχέση Μ/Σ και διόρθωση της φασικής αποκλίσεως.
- η. Διάγραμμα καλωδιώσεων και λειτουργίας του συστήματος ρυθμίσεως της τάσεως υπό φορτίο.
- θ. Εγχειρίδιο οδηγιών εγκαταστάσεως, λειτουργίας και συντηρήσεως.
- ι. Ένα οριστικό σχέδιο για την εκφόρτωση και μεταφορά του μετασχηματιστή.
- κ. Ότι από τα παραπάνω υπάρχει σε ηλεκτρονική μορφή μπορεί να δοθεί και στη μορφή αυτή.

XVI. ΠΙΝΑΚΙΔΕΣ

Ο μετασχηματιστής θα διαθέτει μία πινακίδα από μη διαβρώσιμο υλικό προσαρμοσμένη κατάλληλα σε ορατή θέση, εμφανίζοντας τα παρακάτω τεχνικά στοιχεία :

1. Σχετικός Κανονισμός IEC – 60076.
2. Όνομα κατασκευαστή.
3. Αριθμός σειράς.
4. Έτος κατασκευής.
5. Αριθμός φάσεων.

6. Ονομαστική ισχύς (MVA).
7. Ονομαστική συχνότητα (Hz).
8. Ονομαστικές τάσεις (V ή KV) και εύρος λήψεων.
9. Ονομαστικά ρεύματα (A ή KA).
10. Συμβολισμός συνδεσμολογίας τυλιγμάτων.
11. Σύνθετη αντίσταση βραχυκυκλώσεως (%).
12. Τύπος συστήματος ψύξης.
13. Συνολικό βάρος Μ/Σ.
14. Βάρος του λαδιού (μονωτικού υλικού του Μ/Σ).
15. Στάθμες μόνωσης.
16. Πινακίδα του μηχανισμού λήψεως υπό φορτίο(OLTC).
17. Ανύψωση θερμοκρασίας πάνω τμήματος λαδιού και τυλιγμάτων.
18. Είδος λαδιού μόνωσης του Μ/Σ.
19. Διάγραμμα συνδεσμολογίας τυλιγμάτων.
20. Βάρος μεταφοράς του Μ/Σ.
21. Βάρος δοχείου του Μ/Σ.
22. Αντοχή δοχείου και δοχείου διαστολής σε πίεση κενού.

Επιπρόσθετα της κύριας πινακίδας με τις παραπάνω πληροφορίες, ο Μ/Σ θα φέρει επίσης πινακίδες με τεχνικά στοιχεία του βοηθητικού εξοπλισμού του, όπως είναι μονωτήρες διελεύσεως, Μ/Σ εντάσεως, ανεμιστήρων, και μηχανισμού αλλαγής λήψεως υπό φορτίο, σύμφωνα με τους επιμέρους Κανονισμούς.

XVII. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ

Η οικονομική σύγκριση θα στηριχθεί στο συνολικό αρχικό κόστος του μετασχηματιστού όπως θα διαμορφωθεί αφού ληφθούν υπόψη οι όροι πληρωμής και τυχόν τελωνιακοί δασμοί και στο κόστος των εγγυημένων απωλειών του, δηλαδή στο ετήσιο κόστος του μετασχηματιστή όπως περιγράφεται στο παράρτημα “B” αυτής εδώς της προδιαγραφής.

Για το λόγο αυτό απαιτείται η συμπλήρωση των παραγράφων 1γ, 1δ και 1ε του παραρτήματος “B” μόνο και η υποβολή του μαζί με όλα τα άλλα τεχνικά στοιχεία στην Τεχνική Προσφορά καθώς επίσης και η υποβολή του πλήρως συμπληρωμένου στην οικονομική προσφορά.

XVIII. ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ

Τα παρελκόμενα του Μ/Σ θα πρέπει να είναι συσκευασμένα εντός στιβαρών ξύλινων καβωτίων μέγιστου μεικτού βάρους πέντε (5) τόνων.

Η παραπάνω απαίτηση δεν συμπεριλαμβάνει τους μονωτήρες διελεύσεως του Μ/Σ οι οποίοι θα πρέπει να είναι συσκευασμένοι ξεχωριστά, ένας μονωτήρας ανά ένα ξύλινο καβώτιο.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ Νο SS-25 /19

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ 40/50MVA, 150/15,75KV- 21KV

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Α"

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΩΛΗΤΗ

1. Τύπος μετασχηματιστή (σύντομη περιγραφή):
Ονομαστική τάση, αριθμός φάσεων, συμβολισμός συνδεσμολογίας, ονομαστική ισχύς
.....
.....
.....
2. Τύπος πυρήνα :.....
α. Πυκνότητα μαγνητικής ροής στις ονομαστικές
τάσεις (χωρίς φορτίο και στην κεντρική λήψη) :.....
.....
β. Αριθμός σκελών πυρήνα :.....
3. Στάθμες μόνωσης :.....
.....
.....
4. Μέγιστη επιτρεπόμενη διάρκεια βραχυκυκλώματος :.....
.....
5. Δυνατότητες υπέρτασης
α. σε κενή λειτουργία :.....
β. στα 40.000 kVA :.....
6. Συνδεσμολογία τυλιγμάτων Μ/Σ :.....
7. Κατηγορία μόνωσης τυλιγμάτων (ομοιόμορφης ή
μη ομοιόμορφης) : Υ.Τ.....
X.Τ.....
8. Όρια ανύψωσης θερμοκρασίας :για τα τυλίγματα
:για το λάδι
9. Δεδομένα απολειών
(Οι εγγυημένες τιμές θα είναι αυτές που αναφέρονται στην παράγραφο VII-18)

9.1.

Επίπεδο Τάσης	Απώλειες κενής λειτουργίας kW		Ρεύμα διεγέρσεως % ονομαστικών kVA (40,000)	
	15,75KV	21KV	15,75KV	21KV
α) σε ονομαστική τάση				
β) σε 110% της ον. τάσης				

9.2. Απώλειες χαλκού και συνολικές απώλειες στην κύρια λήψη 150/21 KV
(χωρίς να υπολογιστούν οι απώλειες ανεμιστήρων)

<u>Φορτίο</u> <u>(kVA)</u>	<u>Απώλειες χαλκού</u> <u>(kW)</u>	<u>Συνολικές απώλειες</u> <u>(kW)</u>	<u>Σύνθετη αντίσταση</u> <u>(%)</u>
50,000
40,000
30,000
20,000

9.3. Απώλειες χαλκού και συνολικές απώλειες στην κύρια λήψη 150/15,75KV
(χωρίς να υπολογιστούν οι απώλειες ανεμιστήρων)

<u>Φορτίο</u> <u>(kVA)</u>	<u>Απώλειες χαλκού</u> <u>(kW)</u>	<u>Συνολικές απώλειες</u> <u>(kW)</u>	<u>Σύνθετη αντίσταση</u> <u>(%)</u>
50,000
40,000
30,000
20,000

9.4. Απώλειες λόγω των απαιτήσεων των
ανεμιστήρων στα 50MVA : kW

10. Στάθμη θορύβου (στην ονομ. ισχύ)
- Μ/Σ χωρίς ανεμιστήρες :
 - με ανεμιστήρες σε λειτουργία :
11. Αρμονικές κενής λειτουργίας στη σχέση τάσεως (150/21kV) :
- α. Τρίτη αρμονική :% του ρεύματος εν κενώ
 - β. Πέμπτη αρμονική :% του ρεύματος εν κενώ
 - γ. Έβδομη αρμονική :% του ρεύματος εν κενώ
12. Μηχανισμός αλλαγής λήψεων με φορτίο (O.L.T.C.)
- α. Καταγράψατε όλα τα μέρη του OLTC :
 -
 -
 -
 -

- β. Τύπος του OLTC (π.χ. λαδιού, κενού) :
- γ. Αριθμός των θέσεων λήψεως :
- δ. Θερμοκρασία λειτουργίας κενού (εάν ισχύει)
Ελάχιστη :
- Μέγιστη :
- ε. Θερμοκρασία λειτουργίας λαδιού
Ελάχιστη :
- Μέγιστη :
- στ. Είναι ο επιλογέας λήψεως και ο επιλογέας
αντίστροφης εναλλαγής εντός του δικού
τους μη απόλυτα στεγανού διαμερίσματος; :
- ζ. Είναι ο διακόπτης εκτροπής και οι
αντιστάσεις διάβασης εντός του δικού
τους ερμητικά κλειστού διαμερίσματος
και εντός λαδιού ; (Για μηχανισμό
αλλαγής λήψεως υπό φορτίο τύπου λαδιού) :
- η. Είναι ο διακόπτης εκτροπής και οι
αντιστάσεις διάβασης εντός του δικού τους
ερμητικά κλειστού διαμερίσματος κενού;
(Για μηχανισμό αλλαγής λήψεως υπό
φορτίου λαδιού/ κενού) :
- θ. Είναι ο μηχανισμός αλλαγής λήψεως
υπό φορτίο εφοδιασμένος με το δικό
του δοχείο διαστολής ; :
- ι. Είναι το λάδι του μηχανισμού αλλαγής λήψεως
υπό φορτίο κατάλληλο για μετασχηματιστές,
άνευ PCBs ή PCTs και σύμφωνα με τον
κανονισμό IEC-60296? :
- κ. Είναι το δοχείο διαστολής εφοδιασμένο
με δείκτη στάθμης λαδιού; :
- λ. Είναι το διαμέρισμα του διακόπτη εκτροπής
και των αντιστάσεων διάβασης εφοδιασμένο
με πόμα πλήρωσης και αδειάσματος ; :
- μ. Αποτελείται ο μηχανισμός αλλαγής λήψεως
υπό φορτίο από τρεις μονοπολικές
(μονοφασικές μονάδες) ; :
- ν. Είναι ο μηχανισμός αλλαγής λήψεως υπό
φορτίο εφοδιασμένος με H/N Buchholz; :
- Περιγράψτε πού είναι εγκατεστημένος. :
- Τύπος κατασκευαστής. :

13. Διάταξη λήψεως :
14. Θέση του μηχανισμού λήψεως :
15. Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα διάβασης :
16. Ονομαστική συχνότητα :
17. Ονομαστική τάση :
18. Ονομαστική τάση αντοχής συχνότητας δικτύου :
19. Ονομαστική κεραυνική κρουστική τάση αντοχής (1,2/50μs) :
20. Περιγραφή της συσκευής εκτόνωσης πίεσεως του OLTC και θέση εγκατάστασής της Τύπος και κατασκευαστής :
.....
.....
.....
21. Αριθμός Κ.Α επαφών εξόδου της συσκευής εκτόνωσης πίεσεως :
22. Χρόνος αντίδρασης της συσκευής εκτόνωσης πίεσεως :
23. Τιμές πίεσης ή κενού του διαμερίσματος του διακόπτη εκτροπής και αντιστάσεων διάβασης :
24. Είναι η μονάδα του μηχανισμού οδήγησης κατάλληλη για τοπική ή εξ αποστάσεως λειτουργία; :
25. Είναι η μονάδα του μηχανισμού οδήγησης εφοδιασμένη με επείγουσα κράτηση; :
26. Να υποδειχθεί η θέση εγκατάστασης της μονάδας του μηχανισμού οδήγησης :
.....
.....
27. Τάση τροφοδοσίας του κινητήρα της μονάδας του μηχανισμού οδήγησης :
28. Συχνότητα του κινητήρα της μονάδας του μηχανισμού οδήγησης :
29. Κλάση προστασίας IP κατά IEC – 60144 του πίνακα της μονάδας του μηχανισμού οδήγησης :

30. Είναι ο πίνακας της μονάδας μηχανισμού οδήγησης εφοδιασμένος με :
- α. Διακόπτη επιλογής χειρισμού τοπικά / εξ' αποστάσεως :
 - β. Τρία (3) μπουτόν για αύξηση, μείωση και επείγουσα κράτηση :
 - γ. Δείκτη θέσεως λήψεως (βήματος) :
 - δ. Μετρητή λειτουργιών αλλαγής λήψεως (βήματος) :
 - ε. Αντιστάσεις αντισυμπύκνωσης ελεγχόμενες μέσω θερμοστάτη :
 - στ. Τάση αντιστάσεων αντισυμπύκνωσης :
31. Μπορεί η μονάδα του μηχανισμού οδήγησης να ελεγχθεί εξ' αποστάσεως; :
32. Μπορεί η θέση λήψεως (βήματος) ο αριθμός λειτουργιών και οι όποιες σημάνσεις να δειχθούν σε κάποια απόμακρη θέση; :
33. Τάση αντοχής συχνότητας δικτύου των βοηθητικών κυκλωμάτων της μονάδας του μηχανισμού οδήγησης :
34. Όροι Εγγύησης :
35. Μονάδας ψύξεως (Ανεμιστήρες)
- 1. Αριθμός ανεμιστήρων :
 - 2. Ισχύς κινητήρα ανεμιστήρα κατά την εκκίνηση :
 - 3. Ισχύς κινητήρα ανεμιστήρα σε λειτουργία :
 - 4. Τύπος κινητήρα ανεμιστήρα :
36. Δοχείο Μ/Σ
- α. Τύπος :
 - β. Υλικό κατασκευής :
 - γ. Είναι το δοχείο σύμφωνα με τις απαιτήσεις των παραγράφων IX-1 β, γ, δ, ε, στ και ζ? :
37. Δοχείο διαστολής μετασηματιστή
- α. Τύπος :
 - β. Αποτελείται το δοχείο από 1 μόνο τεμάχιο; :

- γ. Να περιγραφεί ο τρόπος προστασίας
έναντι υγρασίας :
- δ. Καλύπτει το δοχείο διαστολής τις
απαιτήσεις των παραγράφων IX-2; :
38. Συσκευή ανακουφίσεως πίεσης του δοχείου του Μ/Σ
- Τύπος & κατασκευής :
 - Θέση εγκατάστασης :
 - Επαφές σημάνσεως :
39. Βαλβίδα απομόνωσης
- Τύπος :
 - Θέση εγκατάστασης :
 - Επαφή :
40. Βαλβίδες
- Τύπος :
 - Χρήση :
41. Λάδι του μετασχηματιστή
- α. Τύπος και κατασκευαστής :
 - β. Περιέχει το λάδι PCBs ή PCTs; :
 - γ. Είναι κατάλληλο για μετασχηματιστές και
κατά τα άλλα σύμφωνα με το IEC-60296? :
42. Μονωτήρες διελεύσεως
- | | Υ.Τ. | Χ.Τ. | ΟΥΔ |
|---|-------|-------|-------|
| α. Τύπος | | | |
| β. Κατασκευαστής | | | |
| γ. Μέγιστη πολική τάση λειτουργίας (ενδ) | | | |
| δ. Ονομαστική φασική τάση λειτουργίας (ενδ) | | | |
| ε. Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (A) | | | |
| στ. Θερμικό ρεύμα (A) | | | |
| ζ. Δυναμικό ρεύμα (A) | | | |
| η. Αντοχή σε κάμψη (N) | | | |
| θ. Μήκος ερπυσμού | | | |
| ι. Γωνία έδρασης | | | |
| κ. Θερμικό όριο - κλάση | | | |
| λ. Δηλεκτρικός συντελεστής απωλειών | | | |
| μ. Μερικές εκκενώσεις για μέγιστη πολική τάση | | | |
| ν. Στάθμες μόνωσης σε τάση συχνότητας δικτύου | | | |
| ξ. Αντοχή σε σεισμική καταπόνηση | | | |
| ο. Να υποδειχθεί εάν οι μονωτήρες διελεύσεως
πληρούν τις απαιτήσεις των παραγράφων
IX-4.1 and 4.2 | | | |

52. Καθαρά βάρη και διαστάσεις
- Βάρος μεταφοράς : kg
 - Πυρήνας και τυλίγματα : kg
 - Δοχείο Μ/Σ και εξαρτήματα : kg
 - Λάδι : kg
 - Συνολικό βάρος Μ/Σ : kg
 - Βάρος δοχείου Μ/Σ : kg
 - Συνολικό ύψος (συμπεριλαμβανομένων και των μονωτήρων διελεύσεως : m
 - Ύψος πάνω από το κέλυφος : m
 - Διαστάσεις της προβολής του Μ/Σ στο επίπεδο στηρίζεώς του αναφερόμενες στον άξονα που διέρχεται από τους μονωτήρες Υ.Τ.
Παράλληλα με τον παραπάνω άξονα : m
Κάθετα στον παραπάνω άξονα : m
53. Δοκιμές (αποδοχή των προδιαγραφόμενων δοκιμών)
(Ναι ή Όχι) :
54. Να δοθεί περιγραφή με τι θα είναι γεμάτος ο Μ/Σ κατά την μεταφορά του :
55. Είδος υλικού, κατασκευαστής και χώρα προέλευσης του υλικού του πυρήνα του Μ/Σ :
56. Όρια τιμών ρευμάτων μαγνητίσεως (% του ονομαστικού ρεύματος)
στα 135KV :%
στα 150KV :%
στα 170KV :%
57. Χρώμα του Μ/Σ :

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ Νο SS-25 / 19

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ 40/50MVA, 150/15,75- 21KV

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Β" – ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΩΛΗΤΗ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

1. Αρχικό κόστος μετασχηματιστή και απώλειες :

- α. Ονομαστική ισχύς μετασχηματιστή (kVA) : 40,000 kVA
- β. Αρχικό κόστος μετασχηματιστή
(το συνολικό αρχικό κόστος του μετασχηματιστή
θα υπολογιστεί από τον Αγοραστή ο οποίος θα λάβει
υπόψη του την τιμή C + F του Πωλητή όπως αυτή
θα τροποποιηθεί μετά την αξιολόγηση των
προτεινόμενων όρων πληρωμής). : k=..... EURO
- γ. Απώλειες σε κενή λειτουργία
(με ονομαστική τάση 150/21kV) : A =kW
- δ. Απώλειες χαλκού στα 40,000 kVA
(με ονομαστική τάση 150/21kV) : B =kW
- ε. Απαιτήσεις ψύξεως (ανεμιστήρων) για 50,000 kVA : C =kW
- στ. Συνολικές απώλειες : A+B+C =kW

2. Ετήσιο κόστος μετασχηματιστή

1. Ετήσια δαπάνη εξυπηρέτησεως κεφαλαίου : $\frac{9,37K}{100} = \dots\dots\dots$ EURO
2. Απώλειες ισχύος (αναφερόμενες στην πλευρά Υ.Τ.)
(118 EURO ανά kW-έτος) : $118 \cdot (A+B) = \dots\dots\dots$ EURO
3. Απώλειες ενέργειας (αναφερόμενες στην πλευρά Υ.Τ.)
(0,0436 EURO ανά kWh)
- α) Απώλειες κενής λειτουργίας για 8.760 ώρες : $0,0436 \cdot A \cdot 8760 = \dots\dots\dots$ EURO
- β) Απώλειες χαλκού
(συντελεστής φορτίσεως 50%,
συντελεστής απωλειών 30%,
ώρες απωλειών 2.630) : $0,0436 \cdot B \cdot 2.630 = \dots\dots\dots$ EURO

4. Ισχύς ψύξεως (αναφερόμενη στην πλευρά Χ.Τ.)
(112 EURO ανά KW-έτος)

απαιτούμενη για 50.000 kVA : $112 \cdot C = \dots\dots\dots$ EURO

5. Απαιτήσεις ενέργειας ψύξεως (0,0372 EURO per kWh)

ώρες απωλειών 1.900 : $0,0372 \cdot C \cdot 1.900 = \dots\dots\dots$ EURO

Συνολικό ετήσιο κόστος (Το άθροισμα των 1, 2, 3, 4 και 5) = _____ EURO

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ Νο SS-25 / 19

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ 40/50MVA, 150/15,75 - 21kV

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "C"

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΩΛΗΤΗ

Ποινές για υπέρβαση απωλειών:

Αναφερόμενοι στις απώλειες με φορτίο και σε κενή λειτουργία ο μετασχηματιστής θεωρείται ότι έχει επιθεωρηθεί με επιτυχία εάν οι απώλειες που διαπιστώθηκαν κατά τη δοκιμή δεν υπερβαίνουν τη μέγιστη ανοχή που προδιαγράφεται στους κανονισμούς IEC, συγκρινόμενες με εκείνες που εγγυάται ο προμηθευτής. Διαφορετικά ο μετασχηματιστής θα απορρίπτεται. Σε κάθε έναν μετασχηματιστή που επιθεωρήθηκε με επιτυχία, οποιαδήποτε διαφορά στις απώλειες με εκείνες της εγγυήσεως (χωρίς ανοχή) θα είναι αρνητική ή μηδενική.

Αν μια τέτοια διαφορά είναι θετική (δηλ. οι απώλειες που διαπιστώθηκαν κατά την επιθεώρηση υπερβαίνουν τις εγγυημένες χωρίς ανοχή) θα επιβάλλεται ποινή στον προμηθευτή η οποία θα αποτελείται από:

5335,5 EURO - ανά kW υπερβάσεως των απωλειών κενής λειτουργίας

2483,12 EURO - ανά kW υπερβάσεως των απωλειών χαλκού

Το ποσό που αντιστοιχεί για την υπέρβαση των απωλειών φορτίου μπορεί να αντισταθμιστεί με το αντίστοιχο ποσό για μειωμένες απώλειες κενής λειτουργίας εφόσον υπάρχουν, και αντιστρόφως.

Εντούτοις αν αυτό το αλγεβρικό άθροισμα είναι αρνητικό, ο προμηθευτής δεν θα δικαιούται καμιά πρόσθετη πληρωμή, ενώ αν το άθροισμα αυτό είναι θετικό θα επιβάλλεται ποινή.

Επιπλέον, εάν η ισχύς ψύξεως που θα διαπιστωθεί στις δοκιμές υπερβαίνει εκείνη που προσφέρθηκε, θα επιβληθεί ποινή στον πωλητή που συνίσταται σε:

1949,626 EURO - ανά kW της επιπλέον ισχύος ψύξεως

Εν τούτοις εάν η πραγματική ισχύς ψύξεως βρεθεί να είναι μικρότερη από αυτή που προσφέρθηκε, ο Πωλητής δεν δικαιούται κανένα όφελος (πληρωμή).

Γ. Σχετικά πρότυπα

Γ.1 ANSI/IEEE

1. ANSI/IEEE Std. C57.12.00-1998, “ Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers”
2. ANSI/IEEE Std. C57.12.00-2000, “ General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers”
3. ANSI Std. C57.12.10, “ Transformers - 230kV and Below, 833/958 Through 8333/10417 kVA, Single-Phase and 750/862 Through 60000/80000/100000 kVA, Three-Phase without Load Tap Changing and 3750/4687 through 60000/80000/100000 kVA with Load Tap Changing – Safety Requirements”
4. IEEE Std. C57.12.13, “ Conformance Requirements for Liquid-Filled Transformers Used in Unit Installations, Including Unit Substations”
5. IEEE Std. C57.12.70, “ IEEE Standard Terminal Markings and Connections for Distribution and Power Transformers”
6. ANSI/IEEE Std. C57.12.80, “ Standard Terminology for Power and Distribution Transformers”
7. ANSI/IEEE Std. C57.19.00, “ General Requirements and Test Procedures for Outdoor Power Apparatus Bushings”
8. ANSI/IEEE Std. C57.19.01, “ Standard Performance Characteristics and Dimensions for Outdoor Power Apparatus Bushings”
9. ANSI/IEEE Std. C57.19.100, “ Guide for Application of Power Apparatus Bushings”
10. ANSI/IEEE Std. C57.91-1995, “ Guide for Loading Mineral-Oil Immersed Transformers”
11. ANSI/IEEE Std. C57.93, “ Guide for Installation of Liquid-Immersed Power Transformers”
12. ANSI/IEEE Std. C57.96, “ Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers”
13. ANSI/IEEE Std. C57.12.90-1993, “ IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers”
14. IEEE Std. C57.104-1991, “ Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers”

15. ANSI/IEEE Std. C57.106-1991, “ Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment”
16. ANSI/IEEE Std. C57.111, “ Guide for Acceptance of Silicone Insulating Fluid and Its Maintenance in Transformers”
17. ANSI/IEEE Std. C57.113, “ Guide for Partial Discharge Measurement in Liquid-Filled Power Transformers and Shunt Reactors”
18. ANSI/IEEE Std. C57.116, “ Guide for Transformers Directly Connected to Generators”
19. ANSI/IEEE Std. C57.121, “Guide for Acceptance and Maintenance of Less Flammable Hydrocarbon Fluid in Transformers”
20. ANSI/IEEE Std. C57.125, “Guide for Failure Investigation, Documentation and Analysis for Power Transformers and Shunt Reactors”
21. ANSI/IEEE Std. C57.131, “Standard Requirements for Load Tap Changers”
22. ANSI/IEEE Std. C62.11, “Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (1kV)”
23. ANSI/IEEE Std. C62.11, “Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating Current Systems”
24. ANSI/IEEE Std. C62.11, “Guide for Diagnostic Testing of Electric Power Applications, Part 1: Oil-Filled Power Transformers”

Γ.2 IEC

1. IEC 60060, “High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements”
2. IEC 60076, Power transformers
 - 1: “General”
 - 2: “Temperature Rise”
 - 3: “Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air”
 - 4: “Guide to the lightning impulse and switching impulse testing-Power Transformers and Reactors”
 - 5: “Ability to withstand short circuit”
 - 6: “Reactors”
 - 7: “Loading guide for oil-immersed power transformers”
 - 8: “Power Transformers-Application Guide”
 - 10: “Determination of sound levels”
 - 11: “Dry-type transformers”

- 14: "Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials"
- 15: "Gas-filled power transformers"
- 3. IEC 60071, "Insulation co-ordination - Part 1: Definitions, principles and rules"
- 4. IEC 60085, "Electrical insulation-Thermal Classification"
- 5. IEC 60137 "Insulated bushings for alternating voltages above 1000V"
- 6. IEC 60214, Part 1: "Performance requirements and test methods"
Part 2: "Application guide"
- 7. IEC 60270, "High-voltage test techniques - Partial discharge measurements"
- 8. IEC 60296, "Fluids for electrotechnical applications - Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear"
- 9. IEC 60317-0-1, "Specifications for particular types of winding wires - Part 0-1: General requirements - Enamelled round copper wire"
- 10. IEC 60354, "Loading guide for oil-immersed power transformers"
- 11. IEC 60404, "Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials"
- 12. IEC 60422, "Mineral insulating oils in electrical equipment - Supervision and maintenance guidance"
- 13. IEC 60554-3, "Specification for Cellulosic Papers for Electrical Purposes Part 3: Specification for Individual Materials Sheet 3: Crepe Paper"
- 14. IEC 60567, "Oil-filled electrical equipment - Sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases – Guidance"
- 15. IEC 60599 Ed.2.1, "Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis"
- 16. IEC 60641, "Pressboard and presspaper for electrical purposes"
- 17. IEC 60763, Part 1: "Laminated pressboard for electrical purposes - Part 1: Definitions, classification and general requirements"
Part 2: "Specification for laminated pressboard - Part 2: Methods of test"
Part 3: "Specifications for individual materials - Sheet 1: Requirements for laminated precompressed pressboard, Types LB3.1A.1 and LB3.1A.2"

18. IEC 60836; “Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes”
19. IEC 60867; “Insulating liquids - Specifications for unused liquids based on synthetic aromatic hydrocarbons”
20. IEC 61083, “Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse tests - Part 1: Requirements for instruments”
21. IEC 61099; “Insulating liquids - Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes”
22. IEC 61464, “Insulated bushings - Guide for the interpretation of dissolved gas analysis (DGA) in bushings where oil is the impregnating medium of the main insulation (generally paper)”
23. IEC 61672, “Electroacoustics - Sound level meters”
24. BS EN 50216, “Power transformer and reactor fittings. Oil-to-air heat exchangers”
25. IEC 156/95, “Insulating liquids - Determination of the breakdown voltage at power frequency - Test method”

Γ.3 Διαφορές μεταξύ προτύπων ANSI/IEEE και IEC

Σε αυτή την παράγραφο δίνονται οι κυριότερες διαφορές ανάμεσα στις προδιαγραφές που έχουν συνταχθεί από τους δύο επικρατέστερους οργανισμούς, το ANSI/IEEE και το IEC. Οι κανονισμοί που έχουν εκδοθεί από τον οργανισμό IEC και αφορούν μετασχηματιστές είναι η σειρά 60076-1,2,3 κοκ. Οι μετατροπείς αναφέρονται στη σειρά 60378- και οι μεταγωγείς στη σειρά 60214-. Οι κανονισμοί που έχουν εκδοθεί από τον οργανισμό IEEE/ANSI και αφορούν τους μετασχηματιστές γενικά είναι η σειρά C57.12.00. Το πρότυπο C57.12.80 αφορά τη ονοματολογία και το C57.12.90 αφορά τις δοκιμές. Οι κυριότερες διαφορές είναι:

α) Ορισμός της ονομαστικής ισχύος

Το πρότυπο IEEE C57.12.00-2000 ορίζει την ονομαστική ισχύ ως τα ονομαστικά KVA ενός μετασχηματιστή είναι η ισχύς εξόδου για ορισμένο χρονικό διάστημα με ονομαστική τάση στο δευτερεύον και ονομαστική συχνότητα, χωρίς ωστόσο να παραβιάζεται το όριο ανύψωσης της θερμοκρασίας σε δεδομένες συνθήκες δοκιμής, και χωρίς να παραβιάζονται τα όρια των αναγνωρισμένων προτύπων. Η παράγραφος 5.5.2 αναφέρει ότι οι χαρακτηριστικές τιμές της τάσης ορίζονται εν κενώ και βασίζονται στον λόγο μετασχηματισμού. Όταν ένας μετασχηματιστής φορτίζεται υπάρχει πτώση τάσης. Για να επιτευχθούν ονομαστικές τιμές τάσης στο δευτερεύον, η τάση στο πρωτεύον θα πρέπει να ανυψωθεί ώστε να αντισταθμιστεί η πτώση τάσης. Η πτώση τάσης εξαρτάται από την αντίσταση βραχυκύκλωσης του μετασχηματιστή, το ρεύμα και τον συντελεστή ισχύος του φορτίου.

Το πρότυπο IEC 60076-1 (1993-03) ορίζει την ονομαστική ισχύ ως την τιμή της φαινομένης ισχύος ενός τυλίγματος, που σε συνδυασμό με την ονομαστική τάση του τυλίγματος δίνει το ονομαστικό του ρεύμα. Σε μια σημείωση αναφέρεται ότι και τα δύο τυλίγματα ενός μετασχηματιστή έχουν την ίδια ονομαστική ισχύ που ορίζεται και ως η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή. Σε σημείωση αναφέρεται ότι οι ονομαστικές τάσεις των τυλιγμάτων εμφανίζονται εν κενώ, όταν σε ένα από αυτά αυτά εφαρμόζεται η ονομαστική τάση του.

Συνεπώς, κατά το IEC η ονομαστική ισχύς ενός μετασχηματιστή είναι η φαινομένη ισχύς εισόδου, συμπεριλαμβανομένου της εσωτερικής απορροφούμενης ενεργού και αέργου ισχύος από τον ίδιο. Κατά το IEEE η ονομαστική ισχύς είναι η φαινομένη ισχύς που παράγεται στο δευτερεύον. Αυτό σημαίνει ότι όταν εφαρμόζονται τα πρότυπα IEC, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η πτώση τάσης σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας προτού καθοριστούν οι ονομαστικές τάσεις στα τυλίγματα του.

β) Θερμοκρασία αναφοράς για απώλειες φορτίου

Η θερμοκρασία αναφοράς σύμφωνα με το πρότυπο IEEE είναι 85°C ενώ με το IEC είναι 75°C. Αυτό σημαίνει ότι οι απώλειες στον ίδιο μετασχηματιστή θα εμφανίζονται μεγαλύτερες όταν εφαρμόζεται το πρότυπο IEEE. Συνεπώς τα κόστη των υλικών θα είναι και αυτά αυξημένα.

γ) Αβεβαιότητα στις μετρήσεις

Το IEEE C57.12.00-2000 καθορίζει σε πίνακες την απαιτούμενη ακρίβεια στην μέτρηση των απωλειών, της τάσης, του ρεύματος, της αντίστασης και της θερμοκρασίας. Πριν την συμμόρφωση με τον πίνακα, θα πρέπει να προηγείται η διακρίβωση του εξοπλισμού μέτρησης. Το IEC δεν αναφέρει συγκεκριμένες τιμές ορίων, αλλά στο πρότυπο 60076-8 παράγραφος 10,1 αναφέρεται ότι πρέπει να υπάρχουν εκθέσεις με τα όρια ή την αβεβαιότητα των μετρήσεων, και οι εκθέσεις να υποστηρίζονται από ανιχνευσιμότητα (ISO 9001).

δ) Δοκιμή διηλεκτρική αντοχής

Κατά τη διενέργεια αυτής της δοκιμής, η εφαρμογή κρουστικής τάσης κεκομένου κύματος είναι υποχρεωτική κατά το πρότυπο IEEE. Αντιθέτως κατά το IEC η δοκιμή με κεκομένο κύμα εφαρμόζεται μόνο όταν απαιτείται.

ε) Αντοχή σε βραχυκύκλωμα

- Το IEEE χωρίζει τους μετασχηματιστές σε τέσσερις κατηγορίες ενώ το IEC σε τρεις, ανάλογα με την ονομαστική ισχύ.
- Το IEEE απαιτεί έξι κρούσεις ανά φάση, δύο εκ των οποίων έχουν πλήρη ασυμμετρία. Το IEC απαιτεί τρεις κρούσεις με πλήρη ασυμμετρία και στις τρεις. Ωστόσο είναι δύσκολο να προσδιορισθεί ποια από τις δυο δοκιμές είναι η πιο απαιτητική για τον μετασχηματιστή.
- Το IEEE απαιτεί απόκλιση όχι μεγαλύτερη από 2% στη τιμή του ωμικού τμήματος της σύνθετης αντίστασης του μετασχηματιστή, πριν και μετά τη δοκιμή αντοχής σε βραχυκύκλωμα. Ο περιορισμός αφορά μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος που ανήκουν στις κατηγορίες II, III και IV. Το IEC για μετασχηματιστές ισχύος πάνω από 100MVA απαιτεί απόκλιση όχι μεγαλύτερη από 1%.

- Στην προδιαγραφή IEC 60076-5 περιγράφεται μέθοδος υπολογισμού των μηχανικών δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά το βραχυκύκλωμα και σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές ενός μετασχηματιστή που έχει περάσει με επιτυχία τη δοκιμή. Το IEEE δεν έχει αναπτύξει σχετική προδιαγραφή.
- Η προδιαγραφή IEEE C57.12.00-2000 ορίζει ότι η μέγιστη θερμοκρασία του τυλίγματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 80°C. Το IEC δεν έχει αναπτύξει σχετική προδιαγραφή.
- Η μέγιστη επιτρεπόμενη ανύψωση θερμοκρασίας του αγωγού κατά το βραχυκύκλωμα είναι η ίδια και για τους δύο οργανισμούς. Ορίζεται στους 200°C για τον χαλκό και στους 200°C για το αλουμίνιο. Ωστόσο, το IEEE επιτρέπει τους 200°C για ορισμένα κράματα αλουμινίου. Επίσης κατά τον υπολογισμό της αναπτυσσόμενης θερμότητας θεωρεί ότι ένα ποσοστό αυτής αποθηκεύεται στη μόνωση του αγωγού, ενώ το IEC ότι αποθηκεύεται αποκλειστικά στον αγωγό.
- Η ισχύς βραχυκύκλωσης του συστήματος είναι μεγαλύτερη στις προδιαγραφές του IEEE. Ωστόσο η αντίσταση βραχυκύκλωσης του μετασχηματιστή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την σύνθετη αντίσταση του δικτύου με αποτέλεσμα η διαφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης να μην είναι σημαντική.

Βιβλιογραφία

- [1] Μπούρκας Π.Δ., Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1998.
- [2] Μπούρκας Π.Δ., Εφαρμογές Υψηλών Τάσεων, Σημειώσεις Σεμιναρίου για Τεχνικούς της Δ.Ε.Η., (1996).
- [3] Σαμοΐλης Γ.Β., Μετασχηματιστές, Παρακολούθηση, Διαγνωστική, Εκτίμηση της Λειτουργικής Κατάστασης, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, 2007.
- [4] Ραϊτσιοσ Ε.Π., Μελέτη Μετασχηματιστών, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα 2000.
- [5] Ραϊτσιοσ Ε.Π., Μετρήσεις και Ειδικές Λειτουργίες Μετασχηματιστών, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα 2002.
- [6] Georgilakis P.S., Spotlight on Modern Transformer Design, Springer, 2009.
- [7] Kelly J.J., Myers S.D., Parrish H.R., Transformer Maintenance Guide, S.D.Myers Co. 1981.
- [8] Heathcote M., J&P Transformer Book: A Practical Technology of the Power Transformer, twelfth edition, Newnes, 1998.
- [9] Westinghouse Electric Corporation, Electrical Transmission and Distribution Reference Book, East Pittsburgh, Pennsylvania, 1964.
- [10] EPRI, Power Transformer Maintenance and Application Guide, Palo Alto CA: 2002. 1002913.
- [11] FIST 3-30, Transformer Maintenance, United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, October 2000.
- [12] FIST 3-2, Testing and Maintenance of High Voltage Bushings, United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, August 2000.
- [13] RECLAMATION, Transformers: Basics, Maintenance and Diagnostics, United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, April 2005.
- [14] Stiegemeier L.Graig, ABB TRES, Substation Transformer Maintenance Best Practices/Condition Based Actions, NRECA TechAdvantage 2009.
- [15] CIGRE WG. 12-18: “ Guidelines for Life Management Techniques for Power Transformers”, 2003.
- [16] CIGRE WG. A2-32-03: “ Sulfur Speciation in Insulating Oil-Final Report”, June 2010.

- [17] IEEE Power Transformer Subcommittee Investigation Report, Power Transformer Tank Rupture and Mitigation – Current state of Practice and Knowledge, Houston TX, March 2009.
- [18] VITO, BIOIS study for European Commission, LOT2: Distribution and Power Transformers Draft Tasks 1-5 Report, July 2010.
- [19] ABB, Transformer Handbook, 2004.
- [20] ABB, Transformer Maintenance Guide, 2007.
- [21] ABB, Application Manual (1ZVN460100-A), 2007.
- [22] ABB, Installation Manual (1ZVN460100-B), 2007.
- [23] ABB, Operation Manual (1ZVN460100-C), 2007.
- [24] ABB, Maintenance Manual (1ZVN460100-D), 2007.
- [25] ABB, Data Sheets Transformer, Transformer 25MVA $15\pm 9x1.78\%/38.5\pm 2x2.5\%/23(10)$ kV (1ZVN460100-E), 2007.
- [26] ABB User's Manual, Operation and Maintenance for Power Transformers (1ZCL000002EG-EN-rev.1), 2007.
- [27] ABB Switchgear Manual, 11th edition, 2006.
- [28] SIEMENS, Power Engineering Guide, 5th edition, 2008.
- [29] Doble Engineering Company: General Data Book .
- [30] Doble Engineering Company: Reference Data Book.
- [31] Megger, A stitch in time-The Complete Guide to Electrical Insulation Testing, 2006.
- [32] MR, On-Load Tap-Changers for Power Transformers A Technical Digest, MR publication. (PB 252/03en – 0406/1000 – 252/03/01/0 – F0126402), 2006.
- [33] ABB, Transformer bushings, type GOB Technical Guide (σελ. 16) από ABB, Application Manual, 1ZVN460100-A.
- [34] COOPER Power Systems, Substation Transformer Installation, Operation and Maintenance Instructions and Parts Replacement Information (S210-15-10), Supersedes Section 319 1/89, September 1999.
- [35] QUALITROL, Product Overview (CA-X00-00L-01E), 2008.

- [36] SPP PUMPS, Fixed Power and Distribution Transformers (SPP104), Aug. 09.
- [37] OPSENS, Fiber Optic Temperature Monitoring Solution for Transformer Winding Hot Spots, 2010.
- [38] FISO, TPT-32 Temperature sensor for oil-filled transformers (MC-00046R8), 2006.
- [39] FISO, Nortech Sentinel, Fiber Optic Direct Winding Temperature Monitoring System with Datalogging and Relays (MC-00045R12), 2006.
- [40] Σαμοίλης Γ.Β., «Η Συντήρηση - Ειδικά κεφάλαια συντήρησης των μηχανημάτων», ΔΕΗ, Αθήνα 1995.
- [41] ABB, Transformer Service Technical Flyer, 2009.
- [42] SERVERON, On-Line Transformer Monitor Site Preparation Guide (810-1647-01 Rev A), 17 May 2006.
- [43] FIST 3-31, Transformer Diagnostics, United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, June 2003.
- [44] TOSHIBA, Power Transformers (6814-7, 99-4C1), 2001.
- [45] IEEE and IEC Codes to Interpret Incipient Faults in Transformers Using Gas in Oil Analysis, by R.R. C.E.G.B, Transmission Division, Guilford, England. Circa 1995.
- [46] NETA, Maintenance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems. (σελ.193).
- [47] Ahmed E.B. Abu-Elanien, M.M.A. Salama, Asset management techniques for transformers, Electric Power System Research, Elsevier 2009.
- [48] ΔΕΗ Γενική Διεύθυνση Μεταφοράς, Διεύθυνση Συστήματος Μεταφοράς, Γεωργαντζής Γ., Συντήρηση και Αποκατάσταση Βλαβών στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς, από ημερίδα ΤΕΕ, Πανεπ. Πατρών Ε.Ε. CIGRE – Πάτρα 16.02.2009.
- [49] IEEE Std. C57.104-1991, “ Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers”.
- [50] IEC 60599 Ed.2.1, “Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis”.
- [51] Michel Duval, Dissolved Gas Analysis and the Duval Triangle, 2006.
- [52] V.M. Montsinger “Loading transformer by temperature” AIEE transactions, Bd. 49, 1930, σελ. 776-792.

- [53] Σαμοΐλης Γ.Β., «Μονωτικά λάδια» τόμος Α, 1979, «Μονωτικά λάδια» τόμος Β, 1985, Εκδόσεις ΔΕΗ.
- [54] IEEE Transactions, Part III: Power Apparatus and Systems, 1955.
- [55] Doble Engineering Company “Reference Book on Insulating Liquids and Gases” RBILG-391. 1993.
- [56] Gray R.A.I. Transformer Chemistry Services, Oxidation Inhibitors for Insulating Oils, 2008.
- [57] FLIR Systems, ThermaCAMTMP65, 2004.
- [58] Megger, R.O. Babcock Technical Support Group, Application guide for power factor testing of bushings, 2003.
- [59] ABB, Sampling for oil quality test and dissolved gas analysis (1ZSE 209 001E-6), 20-05-2008.
- [60] MR Messko, Compact Series: Oil and Winding Temperature Gauges for Power Transformers, 2008.
- [61] Jean-Noel Berube, Jacques Aubin (Neoptix Inc.), W. McDermid (Manitoba Hydro), Recent development in transformer winding temperature determination, 2006.
- [62] MR Messko, MTrab[®] Maintenance-Free Dehydrating Breather, 2009.
- [63] MR Messko, Service by MR-Safety Ex Works, (IN 259/04en • 0509/1000 • F0133003), 2009.
- [64] MR Messko, Preventive OLTC Maintenance, (IN2264105/00 EN – 04/10 – F0239800), 2010.
- [66] ARTECHE, Instruments Transformers - Outdoor Service, 2008.
- [67] Howard Industries, Substation Transformer Division, Medium Power Substation Transformers, January 2008.
- [68] CRD, ΔΟΜΙΚΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ Ε.Π.Ε., Ομάδα έρευνας & σχεδιασμού έργων πολιτικού μηχανικού, Ενόργανη Παρακολούθηση Τεχνικών Έργων, 2010.
- [69] Opsens, Fiber Optic Sensors, Innovation. Precision. Solutions, (Opsens product chart 2007).
- [70] Αναστασία-Φιόρη Μεταλληνού, Δρ. Διαστημικής Φυσικής, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Δρ. Ιωάννης Δαγκλής, Διευθυντής Ερευνών, Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Διαστημικός καιρός-ημερολόγιο 2009, εκδόσεις Φίλοι του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής

Ιστορίας, 2009.

- [71] Metatech Corporation, Kappenman John , Internal heating damage to conductors and insulation from stray flux heating caused by geomagnetically-induced currents from the March 13, 1989 Superstorm (Salem Unit 2).

- [72] JLG Associates LLC, Giesecke L.Jon, Partial Discharge and Vibration testing of Power Transformers, Oct.2009.

- [73] CIGRE WG A2-32, Copper sulphide in transformer insulation Final Report, Brochure 378, 2009.

- [74] CIGRE TF A2-32-03, Sulfur Speciation in Insulating Oil - Final Report, June 2010.

- [75] CIGRE WG A2.32, Copper sulphide in transformer insulation February 2007 issue of Electra, αναδημοσίευση στο περιοδικό Energize τεύχος June 2007, σελ. 40.

- [76] Xue Chendong, Monitoring Paper Insulation Ageing by measuring Furfural Contents in Oil, 7th ISH, August 26-30, 1991.

- [77] Κουφάκης Ι. Εμμανουήλ, Διδακτορική διατριβή με θέμα: Μια προσέγγιση της διάρκειας ζωής εξοπλισμού των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας με παράδειγμα τους μετασχηματιστές διανομής, ΕΜΠ Αθήνα, Δεκέμβριος 2008.

- [78] Frangiskos V. Topalis, Roman Targosz, Wolfgang Irrek, Anne Rialhe, Andrzej Baginski, Strategies for development and diffusion of energy efficient distribution transformers in Europe, SEEDT 2008.

- [79] Frangiskos V. Topalis, Constantinos A. Bouroussis, Efficient distribution transformers in Europe, National Technical University of Athens - SEEDT, 2007.

- [80] Nicholas DeChristofaro, Amorphous Metals in Electric-Power Distribution Applications, Materials Research Society, MRS Bulletin, Volume 23, Number 5 (1998), σελ.50-56 (ανατυπώθηκε σε ηλεκτρονική μορφή το 2002 από την εταιρία Metglass[®] Solutions.

- [81] WES/SP/RG&E/ORNL Team, HTS Power Transformers, presented to the 2001 DOE Peer Review Committee Washington, D.C. August 2, 2001.

- [82] WES/SP/EE/ORNL Team, HTS Power Transformers, presented to the 2004 DOE Peer Review Committee Washington, D.C. July 27, 2004.

- [83] American Society of Safety Engineers, ByDesign ANSI/ASSE Special Fall Protection Code, 2007.

- [84] D.C.I.S. Inc., Κατάλογος προϊόντων στη κατηγορία Fall Arrest/Fall Protection> Heavy Equipment Fall Arrest.

- [85] QUALITROL[®] 130 & Thermal Plate Winding temperature simulation systems (AP-T03-01L-01E), 2008.
- [86] P.J.Griffin: Tutorial “Electrical – grade insulating paper in power transformers” Section 7 Doble Client Committee Fall Meeting, 1993.
- [87] Bartley, W. H. and James, R.J., Transformer asset management, Weidmann conference, Miami, USA, November 2003.
- [88] Sokolov V. and Vanin B.V., Evaluation and Identification of Typical Defects and Failure Modes in 110-750 kV Bushings, Proceedings Sixty-Fourth Annual International Conference of Doble Clients, 1997.
- [89] Proceedings: High-Voltage Current Transformers & Bushings: Failure Prediction and Prevention Symposium(TR-113649), EPRI, Palo Alto, CA. Symposium 1999.
- [90] Pahlavanpour B., Application of Dissolve Gas Analysis for Monitoring oil filled Bushing condition, 24th International Power System Conference, 2009.
- [91] Κόρδαλης Β. Γεώργιος, Μετρήσεις μερικών εκκενώσεων σε βιομηχανικά μονωτικά υλικά υπό κρουστικές τάσεις της μορφής 250/2500 μs, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2005.
- [92] FIST 3-5, Maintenance of Liquid Insulation: Mineral Oils and Askarels. 1992.
- [93] Μαρκόπουλος Γ. Βασίλειος, Μέθοδοι υπολογισμού του κόστους συντήρησης υποσταθμών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα Σεπτέμβριος 2009.
- [94] Κατάλογος προϊόντων της εταιρίας Hejian Yachen Electrical Co.,Ltd, 2008-2009.
- [95] R. Malewski and M. Kazmierski, “Diagnostic techniques for power transformers”, CIGRE Session 2000, P1-07.
- [96] J.F.Roach and J.B.Templeton, “An Engineering Model for Streaming Electrification in Power Transformers”, Electrical Insulating Oils, STP 998, H.G. Erdman, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988, (σελ.119-135).
- [97] Transformer Load Tap Changer Management: Diagnostics, Contact Coking and On-line Oil Filtration, EPRI, Palo Alto, CA, and BC Hydro, Burnaby, B.C., Canada: 2001. (1006654).
- [98] FIST 1-5, Permissible Loading of Oil-Immersed Transformers and Regulators, April, 1991.
- [99] FSI Spencer George , Substation predictive Maintenance, ενότητα Transformer Vibration Analysis, 2003.

- [100] Transformer Performance Database: A Value Proposition for an Industry-wide Equipment Performance Database (IDB) of Substation Transformers. EPRI, Palo Alto, CA: 2006, 102358.
- [101] FINGRID OYJ, Elovaara J., Finnish experiences on grid effects of GIC's, 17 November 2005.
- [102] EPRI, Proceedings: Static Electrification in Power Transformers, May 1995.
- [103] EPRI, Guidelines for the Life Extension of Substations, TR-105070. April 1995.
- [104] NRC Information Notice No. 90-42: Failure of Electrical Power Equipment Due to Solar Magnetic Disturbances, June 19, 1990.
- [105] Leonardo ENERGY Baggini Angelo, Bua Franco, On Line Diagnostic Monitoring for Large Power Transformers, February 2008.
- [106] Copper Development Association, Electrical Energy Efficiency, CDA Publication 116, January 1997.
- [107] Copper Development Association High Conductivity Coppers For Electrical Engineering CDA Publication 122, 1998.
- [108] ABB, Recent and Advanced Transformer Applications, ICREPQ'08, Santander, March 13th 2008.