

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αριθμός 1387**

**ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ**  
**ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

**ΓΚΑΒΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ**

**ΧΑΛΙΚΙΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**Β.ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2014**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι μετασχηματιστές ισχύος αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας , καθώς επίσης και το πιο δαπανηρό. Είναι το βασικότερο στοιχείο που πρέπει να λειτουργεί συνέχεια, με τρόπο ασφαλή και αποδοτικό. Κατά συνέπεια , ο συνεχής έλεγχος της σωστής λειτουργίας της απόδοσης, των καταπονήσεων και των απωλειών των μετασχηματιστών είναι ζωτικής σημασίας . Η ομαλή λειτουργία του, και όσο το δυνατόν η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του βασίζεται σε παράγοντες στους οποίους μπορούμε να παρέμβουμε. Ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η τακτική και σωστή συντήρηση του . Καθίσταται λοιπόν αναγκαίο ότι ο σύγχρονος ηλεκτρολόγος-μηχανικός πρέπει να γνωρίζει τους απαραίτητους τρόπους συντήρησης , ελέγχου και δοκιμών .

Η πτυχιακή εργασία αυτή, ύστερα από μια εκτενή αναφορά στους μετασχηματιστές και στα βασικά τους χαρακτηριστικά 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. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά συνοδεύονται από τις προαπαιτούμενες θεωρητικές γνώσεις για την καλύτερη κατανόησή τους, ενώ υπάρχει υλικό σε φωτογραφίες . Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό να είναι απλή, αλλά συγχρόνως να περιέχει ότι χρειάζεται για τη σωστή συντήρηση. Με αυτόν τον τρόπο αποσκοπεί στο να δώσει πληροφορίες , αλλά και να προσφέρει γνώσεις σε κάθε ενδιαφερόμενο, ηλεκτρολόγο-μηχανικό που θέλει να ασχοληθεί με την συντήρηση των μετασχηματιστών .

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η εργασία αυτή απευθύνεται σε άτομα που έχουν γνώση με την επιστήμη της ηλεκτρολογίας και τις τεχνολογίες γύρω από αυτή. Έτσι δεν θα γίνει αναλυτική περιγραφή των βασικών αρχών ηλεκτρομαγνητισμού των μετασχηματιστών. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται στην εργασία μας είναι γνωστά (αμπερόμετρα, πολύμετρα) και οι μετρήσεις (έλεγχος συνέχειας) θεωρούνται γνωστά για αυτό και δεν αναλύονται παρά μόνο όταν κρίνεται απαραίτητο.

ΓΚΑΒΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ  
ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ  
ΧΑΛΙΚΙΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της εργασίας είναι να αναφέρει τις βασικές μεθόδους και τρόπους συντήρησης του μετασχηματιστή και να επιστήσει την προσοχή στην σωστή και αποτελεσματική συντήρηση του.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά μέρη που αποτελείται ένας μετασχηματιστής, έτσι όπως τα συναντάμε στην πλειοψηφία των μετασχηματιστών. Αναλύονται τα επιμέρους μέρη που τον αποτελούν καθώς επίσης και οι τεχνικές απαιτήσεις ώστε να είναι αποδοτικά. Στη συνέχεια κάνουμε μια μικρή αναφορά στα υλικά κυτταρίνης, στα μονωτικά έλαια και στα είδη των καταπονήσεων. Τέλος αναφέρονται διάφορες δοκιμές ποιοτικού ελέγχου με τα όρια που υπάρχουν από τους σχετικούς κανονισμούς.

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

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αρχικά αναφερόμαστε στους στρεσογόνους παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση του μετασχηματιστή. Ακόμη παραθέτουμε ένα πρόγραμμα παρακολούθησης για προληπτική συντήρηση. Στη συνέχεια περιγράφουμε τις διάφορες δοκιμές εκτίμησης της κατάστασης ενός μετασχηματιστή. Τέλος αναφερόμαστε στα διάφορα κομμάτια του Μ/Σ που χρειάζονται τακτική συντήρηση.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></u> :</b>	Εισαγωγή στους Μ/Σ.....	8
<b>1. Βασικά στοιχεία μετασχηματιστή</b> .....		8
1.1 Εξαρτήματα του μετασχηματιστή .....		8
1.2 Κλάσεις Ψύξεως Μετασχηματιστή.....		17
1.3 Πινακίδα Μετασχηματιστή.....		21
<b>2. Σύστημα μόνωσης</b> .....		23
2.1 Γενικά για τα μονωτικά.....		23
2.2 Υλικά κυτταρίνης.....		23
2.3 Μονωτικά λάδια.....		27
<b>3. Είδη καταπονήσεων και βλαβών</b> .....		28
3.1 Προβλήματα στην μόνωση του μετασχηματιστή.....		29
<b>4. Δοκιμές Μετασχηματιστών ισχύος</b> .....		31
4.1 Γενικά.....		31
4.2 Δοκιμές.....		34
4.2.1 Δοκιμές τύπου.....		34
4.2.1.1 Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας .....		34
4.2.1.2 Δοκιμή μηχανικής αντοχής.....		35
4.2.1.3 Δοκιμή ελέγχου σπειρών.....		35
4.2.1.4 Μέτρηση επιπέδων ακουστικού ήχου.....		36
4.2.1.5 Δοκιμή κρουστικής τάσης.....		37

4.2.2 Δοκιμές σειράς.....	38
4.2.2.1 Μέτρηση τάσης βραχυκύκλωσης και απωλειών φορτίου.....	38
4.2.2.2 Μέτρηση λόγου μετασχηματισμού και έλεγχος ομάδας ζεύξης .....	39
4.2.2.3 Μέτρηση αντίστασης τυλιγμάτων.....	43
4.2.2.4 Μέτρηση απωλειών σιδήρου και ρεύματος μαγνήτισης.....	45
4.2.2.5 Μέτρηση πολικότητας.....	47
4.2.2.6 Δοκιμή λειτουργίας του μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο.....	48
4.2.2.7 Διηλεκτρικές δοκιμές σειράς.....	48
4.2.2.7.1 Δοκιμή εφαρμοζόμενης τάσης.....	48
4.2.2.7.2 Δοκιμή επαγόμενης τάσης.....	49
4.2.3 Ειδικές Δοκιμές.....	51
4.2.3.1 Προσδιορισμός των χωρητικότητων μεταξύ τυλιγμάτων-γη και μεταξύ τυλιγμάτων.....	51
4.2.3.2 Δοκιμή βραχυκυκλώματος.....	53
4.2.3.3 Μέτρηση αντίστασης μηδενικής ακολουθίας.....	54
4.2.3.4 Μέτρηση αρμονικών του ρεύματος μαγνήτισης.....	55
4.2.3.5 Μέτρηση αντίστασης μόνωσης των τυλιγμάτων ως προς γη.....	57
<b>5.Είδη συντήρησης.....</b>	<b>57</b>
5.1 Συντήρηση βάσει κατάστασης.....	57
5.2 Συντήρηση βάσει χρονοδιαγράμματος.....	58
 <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></u> : Σκοπός της Εργασίας .....</b>	<b>59</b>
 <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></u> : Συντήρηση του Μ/Σ.....</b>	<b>60</b>
 <b>1.Στρεσογόνοι Παράγοντες.....</b>	<b>60</b>
<b>2. Συνιστούμενες Δοκιμές Συντήρησης , Συντήρηση ρουτίνας , Επιθεωρήσεις και η συχνότητα εκτέλεσής τους.....</b>	<b>62</b>

<b>3. Πρόγραμμα παρακολούθησης και προληπτική συντήρηση.....</b>	<b>63</b>
3.1 Μετασχηματιστής ( γενικά).....	63
3.2 Πίνακας ελέγχου Μετασχηματιστή.....	63
3.3 Σύστημα Ψύξης Μετασχηματιστή .....	64
3.4 Μονωτήρες, μονωτές , και Αλεξικέραυνα /Απαγωγοί Υπερτάσεων.....	65
3.5 Αντίσταση ουδετέρου.....	65
3.6 Σύστημα παροχής αερίου.....	65
<b>4. Δοκιμές Εκτίμησης της Κατάστασης.....</b>	<b>66</b>
4.1 Έλεγχος της ποιότητας του μονωτικού ελαίου.....	66
4.1.1 Διηλεκτρική αντοχή-Τάση διάσπασης.....	68
4.1.2 Διεπιφανειακή τάση IFT.....	69
4.1.3 Βαθμός εξουδετέρωσης.....	70
4.1.4. Περιεκτικότητα νερού.....	71
4.1.5 Συντελεστής ισχύος.....	72
4.1.6 Ανάλυση φουρανίων .....	72
4.1.7 Αέρια στο έλαιο.....	75
4.1.8 Δειγματοληψία.....	78
4.1.8.1 Δειγματοληψία για ποιοτικό έλεγχο λαδιού.....	78
4.1.8.2 Δειγματοληψία για ανάλυση διαλυμένων αερίων.....	79
4.1.9 Χρώμα.....	81
4.2 Έλεγχος με χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας.....	82
4.2.1 Εφαρμογή σε Ψυγεία.....	83
4.2.2 Εφαρμογή σε Δεξαμενές.....	84
4.2.3 Εφαρμογή σε Εσωτερικές Διατάξεις.....	85
4.2.4 Εφαρμογή σε Μονωτήρες Διέλευσης.....	86

4.2.5	Εφαρμογή σε Αλεξικέραυνα/ Απαγωγούς Υπερτάσεων.....	87
4.2.6	Εφαρμογή σε Ανεμιστήρες και Αντλίες Ψύξης.....	88
4.2.7	Εφαρμογή σε Σωλήνες Ψύξης.....	88
4.2.8	Εφαρμογή σε Συνδέσεις Υψηλής και Χαμηλής Τάσης.....	88
4.3	Παρακολούθηση Κατάστασης μόνωσης .....	89
4.3.1	Αντίσταση μόνωσης.....	89
4.3.2	Συντελεστής ισχύος.....	90
4.3.3	Ηλεκτρική εκκένωση ρεύματος.....	90
4.3.4	Ακουστική Ανίχνευση Εκκένωσης.....	90
<b>5.</b>	<b>Τακτική συντήρηση και επιθεωρήσεις.....</b>	<b>91</b>
5.1	Εξωτερικές Επιθεωρήσεις.....	91
5.2	Συντήρηση Μονωτήρων Διέλευσης.....	92
5.3	Συντήρηση εναλλάκτη θερμότητας.....	93
5.4	Συντήρηση Δεξαμενής και Συστήματος Διατήρηση Ελαίου.....	94
5.4.1	Σύστημα Σφραγισμένης Δεξαμενής.....	94
5.4.2	Σύστημα Πίεσης αδρανούς αερίου.....	95
5.4.3	Συντήρηση δοχείου διαστολής και κύστης.....	95
5.5	Καλιμπράρισμα Μετρητών και Ρελέ.....	96
5.6	Μεταγωγέας λήψεων Load Tap Changer ( LTC ).....	97
5.7	Μετασχηματιστές Οργάνων.....	100
5.8	Αλεξικέραυνα /Απαγωγοί Υπερτάσεων.....	100
5.9	Λειτουργικές δοκιμές.....	100

<b>6. Όργανα μέτρησης και ηλεκτρονόμοι.....</b>	<b>101</b>
6.1 Θερμόμετρο ελαίου.....	101
6.2 Θερμόμετρο τυλιγμάτων.....	102
6.3 Συσκευή ανακούφισης πίεσης.....	103
6.4 Ρελέ άμεσης εκτόνωσης.....	104
<b>7. Αφυγραντής.....</b>	<b>105</b>
<b>8. Φλάντζες.....</b>	<b>105</b>
<b><u>Βιβλιογραφία</u>.....</b>	<b>107</b>



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή στους Μ/Σ**

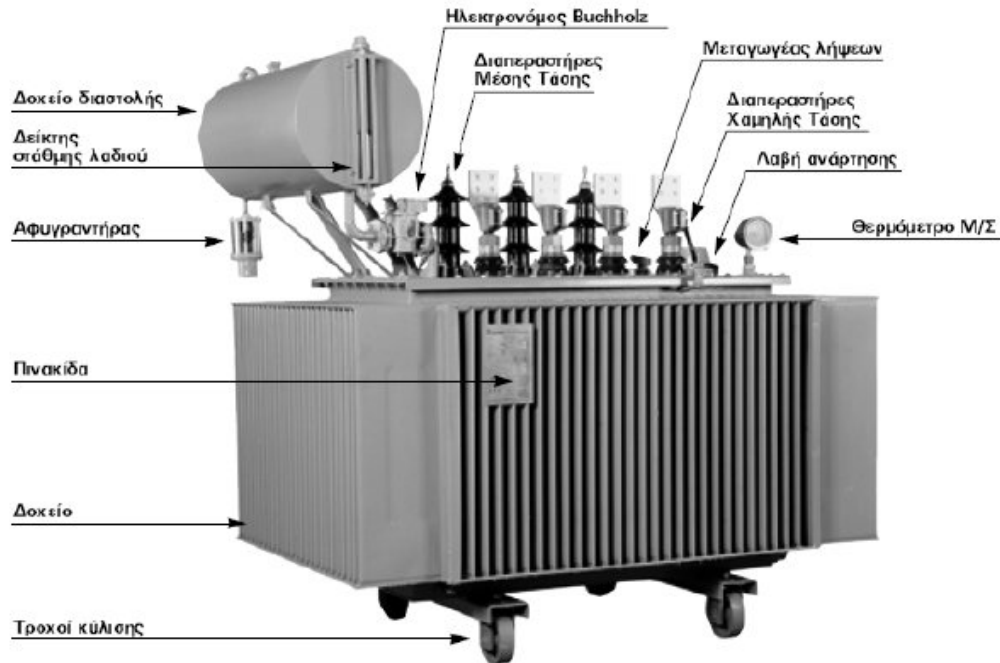
Οι μετασχηματιστές έχουν ζωτική σημασία για ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι ένα από τα απαραίτητα συστατικά ενός ΣΗΕ και χρησιμοποιούνται σε όλα τα στάδια της ηλεκτρικής διακίνησης, παραγωγής και διανομής. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι έχουν σημαντικό λειτουργικό ρόλο και συμβάλλουν σημαντικά στην υψηλή αποδοτικότητα ενός δικτύου μεταφοράς. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μετασχηματιστών είναι ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη με αποτέλεσμα να είναι δυσκολότερο να προκαλέσουν κάποια βλάβη στο δίκτυο και η μόνωση του πρωτεύοντος από το δευτερεύον αποτρέπει τις ανεπιθύμητες διακυμάνσεις να περάσουν στην άλλη πλευρά επιτυγχάνοντας έτσι προστασία στον εξοπλισμό που ακολουθεί.

Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται στα εξής μέρη . Στο πρώτο μέρος θα αναφερθούμε στα βασικά στοιχεία , εξαρτήματα και μέρη από τα οποία αποτελείται ένας σύγχρονος μετασχηματιστής . Στο δεύτερο και στο τρίτο μέρος θα αναφερθούμε στο σύστημα μόνωσης, στα υλικά κυτταρίνης και στα μονωτικά έλαια και στα είδη των καταπονήσεων. Στο τέταρτο μέρος θα αναφερθούμε στις βασικότερες δοκιμές ποιοτικού ελέγχου καθώς τα όργανα και την διαδικασία που απαιτείται για τις δοκιμές. Τέλος στο πέμπτο μέρος αναφέρονται τα διάφορα είδη συντήρησης ανάλογα με τα κριτήρια που επιλέγονται.

### **1. Βασικά στοιχεία μετασχηματιστή**

#### **1.1 Εξαρτήματα του μετασχηματιστή**

Οι μετασχηματιστές διανομής μπορεί να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί ενώ η ισχύς λειτουργίας τους ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται. Γενικά, η ισχύς των μονοφασικών μετασχηματιστών διανομής κυμαίνεται από 5 μέχρι 500 KVA , ενώ των τριφασικών από 25 μέχρι 1600KVA .Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζουμε τα βασικά εξαρτήματα που αποτελείται ένας μετασχηματιστής μεταφοράς και διανομής



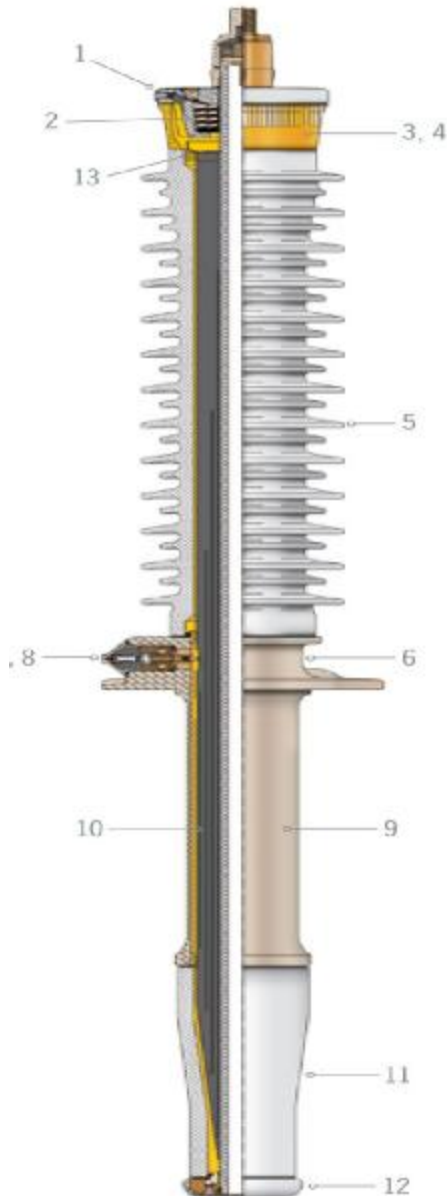
Παρακάτω θα αναφέρουμε τα εξαρτήματα που συνθέτουν έναν σύγχρονο μετασχηματιστή διανομής :

- *Δοχείο μετασχηματιστή* : αποτελείται από την στεφάνη, τον πυθμένα και τα πλευρικά τοιχώματα . Τα πλευρικά τοιχώματα του δοχείου κατασκευάζονται από πτυχωτά ελάσματα με στόχο την αύξηση της επιφάνειας ψύξης. Το δοχείο του Μ/Σ κλειστού τύπου ( είναι οι Μ/Σ διανομής που δεν έχουν δοχείο διαστολής), γεμίζουν με λάδι και σφραγίζονται ερμητικά. Τα ελαστικά τοιχώματα του δοχείου δεν επιτρέπουν να δημιουργηθεί μεγάλη αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό του , η οποία προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού κατά την λειτουργία του μετασχηματιστή. Στο δοχείο τοποθετούνται επίσης και δυο αφαλοί γείωσης, ενώ στον πυθμένα είναι συγκολλημένο το σύστημα κύλισης με τροχούς ή η βάση έδρασης.



Εικόνα 1 : Δοχείο Μ/Σ

- *Κάλυμμα μετασχηματιστή* : πάνω στο κάλυμμα υπάρχουν δυο λαβές ανάρτησης που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση και την μεταφορά του μετασχηματιστή. Επίσης υπάρχει το θερμόμετρο ,δυο αφαλούς γείωσης και κατάλληλη βαλβίδα σε περίπτωση μετασχηματιστών κλειστού τύπου .
- *Λαβές ανάρτησης* : χρησιμοποιούνται για την μεταφορά και ανύψωση των μετασχηματιστών .
- *Μονωτήρες διέλευσης* : Οι μονωτήρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για να μονώσουν τους αγωγούς των ακροδεκτών υψηλής τάσης, κυρίως μετασχηματιστών ή άλλων διατάξεων. Συνήθως οι μονωτήρες διέλευσης κατασκευάζονται από πορσελάνη. Οι μονωτήρες διέλευσης προτιμώνται όταν η γραμμή πρέπει να περνάει μέσα από τον μονωτήρα και ταυτόχρονα να στηρίζεται σε αυτόν. Χρησιμοποιούνται στις θέσεις εξόδου των αγωγών από τους μετασχηματιστές ή άλλες συσκευές και για τη διέλευση αγωγών εγκαρσίως μέσω χωρισμάτων (τοίχων κ.α.)



Σχήμα 1 : Μονωτήρας διέλευσης τύπου πυκνωτή .

1. Φλάντζα
2. Ελατήρια στεγανοποίησης
- 3-4. Ενδεικτικό στάθμης λαδιού
5. Εξωτερικό περίβλημα από πορσελάνη
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. Κάτω τμήμα πορσελάνης
12. Λάδι

- *Τροχοί κύλισης* : οι μετασχηματιστές μέχρι 160 KVA χρησιμοποιούνται στους εναέριους υποσταθμούς τάσης και δεν έχουν τροχούς . Αντίθετα , οι μετασχηματιστές άνω των 160 KVA έχουν συνήθως τροχούς κύλισης , των οποίων η κατεύθυνση μπορεί να μεταβάλλεται κατά 90°
- *Βαλβίδα εκκένωσης και δειγματοληψίας λαδιού* : Στο κάτω μέρος ενός πλευρικού τοιχώματος του Μ/Σ βρίσκεται η βαλβίδα εξαγωγής λαδιού , που επιτρέπει την δειγματοληψία για τον έλεγχο της διηλεκτρικής αντοχής του λαδιού .
- *Όργανο ένδειξης στάθμης λαδιού* : Ο δείκτης στάθμης λαδιού είναι ένας πλωτήρας που λειτουργεί αυτόνομα και χρησιμοποιείται για να υποδείξει το επίπεδο του μονωτικού υγρού σε μετασχηματιστές με ψύξη μονωτικού υγρού. Ένα κοινό σχέδιο του δείκτη χρησιμοποιεί ένα περιστρεφόμενο πλωτήρα που βρίσκεται στη δεξαμενή. Αυτός ο βραχίονας είναι μαγνητικά συζευγμένος με ένα άξονα και με έναν δείκτη εκτός της δεξαμενής, επιτρέποντας έτσι μια εντελώς σφραγισμένη σύνδεση . Όταν η θέση των πλωτήρων αλλάζει , η μαγνητική σύζευξη περιστρέφεται και αυτό κινεί τον δείκτη ανάλογο . Επιπλέον, ο δείκτης περιλαμβάνει διακόπτες συναγερμού για λειτουργίες παρακολούθησης.



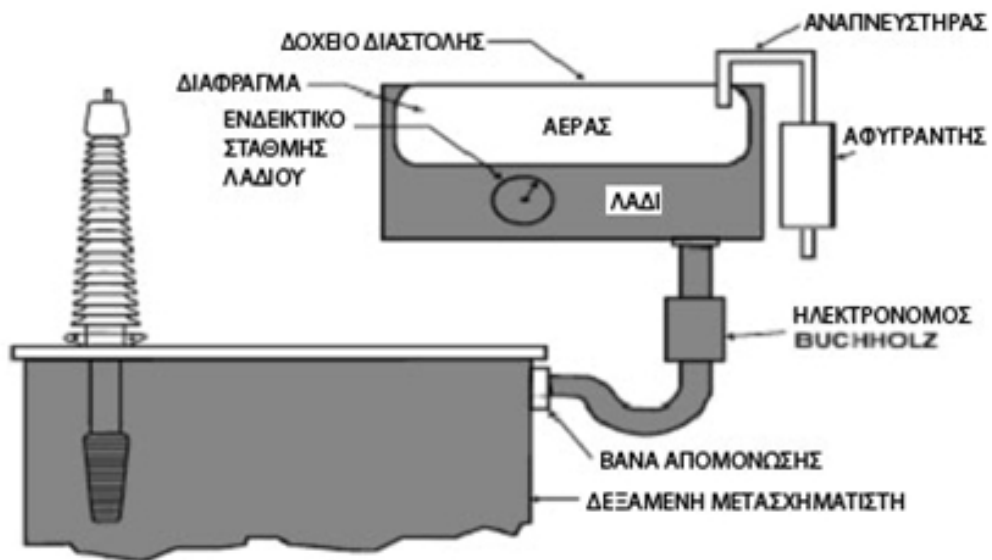
Εικόνα 2 : Όργανο ένδειξης στάθμης λαδιού .

- *Σύνδεσμος γείωσης ουδετέρου* : με τον σύνδεσμο αυτόν εξασφαλίζεται η γείωση του ουδετέρου του τριφασικού τυλίγματος με το δοχείο του μετασχηματιστή .
- *Θερμόμετρο λαδιού* : Το θερμικό στοιχείο του θερμομέτρου είναι τοποθετημένο στο πιο ψηλό στρώμα του λαδιού, ώστε να μετράει τη μέγιστη θερμοκρασία αυτού. 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 .



Εικόνα 3 : Θερμόμετρο λαδιού

- Δοχείο διαστολής* : Κατά την μεταβολή της θερμοκρασίας του λαδιού του μετασχηματιστή και συνεπώς του όγκου του λαδιού, το δοχείο διαστολής δέχεται αυτή την αυξομείωση του όγκου. Η ποσότητα του λαδιού που περιέχει το δοχείο διαστολής μετριέται από τον δείκτη στάθμης λαδιού, ο οποίος είναι ανθεκτικός σε υψηλή θερμοκρασία και έχει δυο ενδεικτικά σημεία : το ένα δείχνει την στάθμη του λαδιού στους  $-20\text{o C}$  και το άλλο στους  $+20\text{o C}$ . 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.



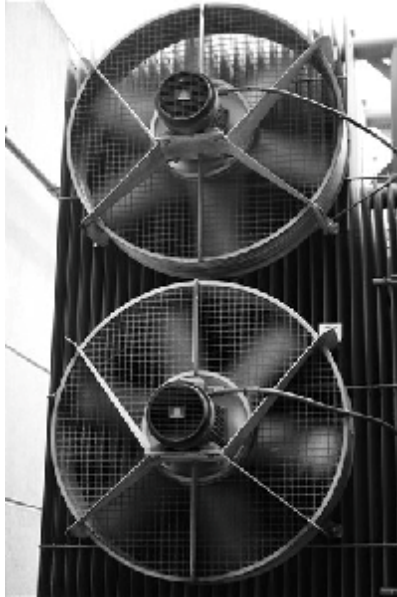
Σχήμα 2 : Δοχείο διαστολής λαδιού

- *Ηλεκτρονόμος Buchholz* : η προστασία των μετασχηματιστών λαδιού από εσωτερικά σφάλματα, τα οποία προκαλούν ανάπτυξη αερίων ή έντονη ροή λαδιού, γίνεται με τον ηλεκτρονόμο Buchholz , ο οποίος τοποθετείται μεταξύ του δοχείου του μετασχηματιστή και του δοχείου διαστολής . Σε περίπτωση σχηματισμού φυσαλίδων (σαν αποτέλεσμα εσωτερικής βλάβης) ή έλλειψης λαδιού μετακινείται ένας πλωτήρας και ενεργοποιείται έτσι η επαφή συναγερμού, ενώ αν τα αέρια που εκλύονται είναι αρκετά μετακινείται ένας δεύτερος πλωτήρας ενεργοποιώντας έτσι την επαφή διακοπής. Επίσης διακοπή έχουμε αν δημιουργηθεί έντονη ροή λαδιού προς το δοχείο διαστολής μετά από βραχυκύκλωμα ή εσωτερική βλάβη .



Εικόνα 4 : Ηλεκτρονόμος Buchholz

- *Ανεμιστήρες* : Για Μετασχηματιστές ελαίου , ανεμιστήρες και ψυκτικά σώματα είναι τοποθετημένα σε διάφορες τοποθεσίες γύρω από το μετασχηματιστή. Τα ψυκτικά σώματα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά θερμότητας από το λάδι στην περιβάλλουσα ατμόσφαιρα .Οι ανεμιστήρες είναι συνήθως τοποθετημένοι στα ψυκτικά σώματα για να τα βοηθήσουν στην απομάκρυνση της θερμότητας. Τα συγκροτήματα ανεμιστήρα παρέχονται με διαφορετικής ιπποδύναμης κινητήρα και πτερύγια ανάλογα με την σχεδίαση του μετασχηματιστή. Οι κινητήρες των ανεμιστήρων προστατεύονται από ένα θερμικό στοιχείο τοποθετημένο στο εσωτερικό του κινητήρα. Τα επιμέρους τμήματα των ανεμιστήρων συνδέονται με την πηγή ισχύος με αγωγό και ευέλικτο καλώδιο για να επιτρέπουν την αφαίρεση του ανεμιστήρα για εργασίες επισκευής. Τα συγκροτήματα των ανεμιστήρων , κινητήρες, καλώδια και κιβώτια καλωδίων έχουν αδιάβροχη σχεδίαση και είναι κατάλληλα για χρήση σε εξωτερικούς χώρους. Η σωστή περιστροφή του ανεμιστήρα είναι όταν η ροή αέρα από τον ανεμιστήρα είναι μέσα από τους σωλήνες του ψυγείου και μακριά από τη δεξαμενή του μετασχηματιστή.



Εικόνα 5: Ανεμιστήρες τοποθετημένοι πάνω στο ψυγείο

- *Αντλίες λαδιού* : Η αντλία λαδιού του μετασχηματιστή είναι μια ηλεκτρική αντλία που ωθεί το λάδι από τη δεξαμενή του μετασχηματιστή μέσα από τα ψυκτικά σώματα ή εναλλάκτες θερμότητας . Η συσκευή θερμοκρασίας ελέγχει την αντλία . Οι μετασχηματιστές που είναι εξοπλισμένοι με αντλίες λαδιού έχουν κάποια μέσα που υποδεικνύουν τη ροή του λαδιού . Ένας τυπικός δείκτης ροής του λαδιού είναι μια συσκευή που λειτουργεί με πτερύγιο που βρίσκεται είτε στην αναρρόφηση είτε στους σωλήνες εκκένωσης της αντλίας λαδιού του μετασχηματιστή. Ο δείκτης ροής έχει σχεδιαστεί για να δείχνει ότι η αντλία είναι ενεργοποιημένη ή η ροή του λαδιού δεν είναι επαρκής, οπότε θα ενεργοποιηθεί ο συναγερμός. Η σωστή περιστροφή αναγράφεται στην αντλία με ένα βέλος και στον δείκτη ροής λαδιού .



Εικόνα 6 : Αντλία λαδιού



- *Πώμα πλήρωσης* : Όλοι οι μετασχηματιστές είναι εφοδιασμένοι με το κατάλληλο πώμα πλήρωσης από όπου γίνεται η συμπλήρωση με μονωτικό λάδι .
- *Συσκευή ανακούφισης πίεσης* : Η συσκευή ανακούφισης της πίεσης μετριάξει τις επιπτώσεις των μεγάλων μεταβολών της πίεσης στο μετασχηματιστή. Η πίεση της δεξαμενής- περιβλήματος κατά την σχεδίαση ,περίπου 10 psig (0,69 bar), είναι υψηλότερη από την κανονική πίεση λειτουργίας, αλλά όχι επαρκής για να αντέχει πιέσεις που προέρχονται από μεγάλες εσωτερικές βλάβες. Η συσκευή ανακούφισης της πίεσης χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα ελατήρια τα οποία είναι υπό συμπίεση που συνδέονται με ένα ανάγλυφο διάφραγμα Όταν η πίεση στο διάφραγμα είναι επαρκής για να συμπίεσει το ελατήριο, το διάφραγμα θα κινηθεί, ανακουφίζοντας έτσι την πίεση από τη δεξαμενή. Η βαλβίδα έρχεται στην κανονική της θέση όταν η πίεση μειωθεί.



Εικόνα 7: Βαλβίδα ανακούφισης πίεσης

- *Αφυγραντήρας* : τοποθετείται πάνω στο δοχείο διαστολής . Μέσα από τον αφυγραντήρα περνά ο αέρας προς και από το δοχείο διαστολής του μετασχηματιστή λόγω της συστολής και διαστολής του όγκου του λαδιού. Περιέχει κρυστάλλους  $\text{SiO}_2$  (silicagel) που απορροφούν την υγρασία του αέρα .Όσο το χρώμα της ουσίας αυτής είναι μπλε σημαίνει ότι η απορρόφηση γίνεται επιτυχώς. Όταν αλλάξει το χρώμα του σε ροζ σημαίνει ότι έχει κορεστεί και πρέπει να ξηραθεί ή να αντικατασταθεί . Η ξήρανση του επιτυγχάνεται θερμαίνοντας το σε θερμοκρασία από  $120^\circ\text{C}$  μέχρι  $150^\circ\text{C}$  ώσπου το χρώμα του ξαναγίνει μπλε .





Εικόνα 8 : Αφυγραντήρας

- *Αφαλός γείωσης δοχείου* : στο δοχείο του μετασχηματιστή και πιο συγκεκριμένα κοντά στον πυθμένα , τοποθετούνται δυο αφαλοί γείωσης αντιδιαμετρικά μεταξύ τους , ώστε να παρέχεται η δυνατότητα γείωσης του δοχείου .
- *Ηλεκτρονόμος ξαφνικής εκτόνωσης* : Ο ηλεκτρονόμος ξαφνικής εκτόνωσης ανιχνεύει τις απότομες υπερτάσεις πίεσης που παράγεται εντός του δοχείου του μετασχηματιστή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του . Ανιχνεύει το ρυθμό μεταβολής της πίεσης κατά τη διάρκεια εσωτερικών σφαλμάτων. Αν η εσωτερική πίεση υπερβαίνει τα ασφαλή όρια, ο ηλεκτρονόμος θα ενεργοποιήσει το σύστημα ασφαλείας για να απενεργοποιήσει την λειτουργία του μετασχηματιστή. Αυτός ο ηλεκτρονόμος δεν λειτουργεί ως μηχανισμός εκτόνωσης της πίεσης



Εικόνα 9 : Ηλεκτρονόμος ξαφνικής εκτονώσεως

- *Επιπλέον εξαρτήματα μετασχηματιστή κλειστού τύπου* : οι μετασχηματιστές κλειστού τύπου είναι συνήθως εφοδιασμένοι με ανακουφιστική βαλβίδα και θερμομέτρο , ή ηλεκτρονόμο DGPT2 . Ο ηλεκτρονόμος αυτός είναι ένα όργανο που διαθέτει διακόπτη υπερπίεσης, θερμομέτρο με επαφές συναγερμού και διακοπής και ελαιοδείκτη με επαφή για διακοπή του κυκλώματος .

## 1.2 Κλάσεις Ψύξεως Μετασχηματιστή

Όπως είναι γνωστό κανένας μετασχηματιστής δεν είναι απόλυτα ιδανικός , αλλά επιβαρύνεται με ένα ορισμένο ποσό από απώλειες ενέργειας, κυρίως αυτό που μετατρέπεται σε θερμότητα .

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την απαγωγή της θερμότητας στους μετασχηματιστές εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το είδος της εφαρμογής , το μέγεθος του μετασχηματιστή και την ποσότητα θερμότητας που πρέπει να διαχέεται .

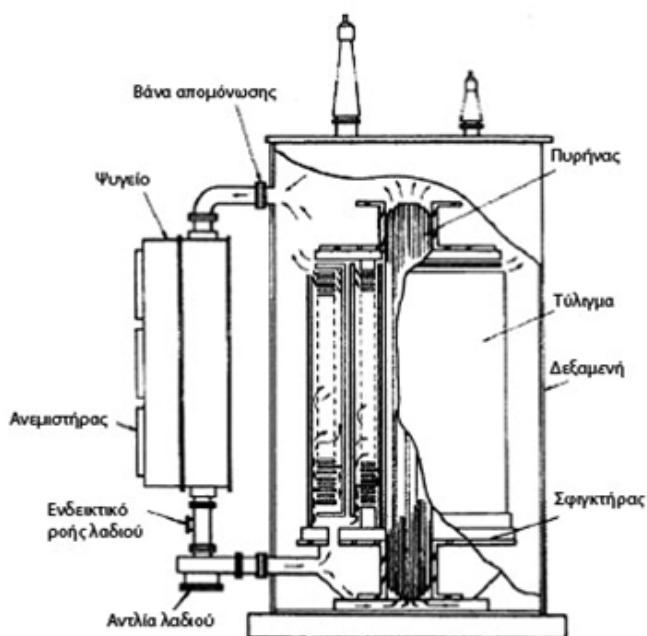
Το μονωτικό μέσο που χρησιμοποιείται σε ένα μετασχηματιστή , συνήθως λάδι , εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς . Αρχικά να συμπεριφέρεται ως μονωτής , και ύστερα να αποτελεί ένα καλό μέσο, μέσω του οποίου γίνεται η απομάκρυνση της θερμότητας .

Τα τυλίγματα και ο πυρήνας αποτελούν τις κύριες πηγές θερμότητας , αν και υπάρχουν εσωτερικές μεταλλικές δομές που μπορούν να δράσουν ως πηγή θερμότητας . Είναι επιτακτική ανάγκη η ύπαρξη κατάλληλων αγωγών ψύξης και περασμάτων κοντά στις πηγές θερμότητας μέσω των οποίων το ψυκτικό μέσο μπορεί να ρέει έτσι ώστε η θερμότητα να μπορεί να απομακρυνθεί αποτελεσματικά από τον μετασχηματιστή .

Η φυσική κυκλοφορία του λαδιού μέσα σε έναν μετασχηματιστή και συνεπώς η μεταφορά θερμότητας ονομάζεται φαινόμενο θερμοσίφωνα , αφού θυμίζει την λειτουργία του κλασσικού θερμοσίφωνα . Η θερμότητα μεταφέρεται στα τοιχώματα της δεξαμενής του μετασχηματιστή, μέσω του μονωτικού υλικού, και μέσω αυτών στο εξωτερικό περιβάλλον .

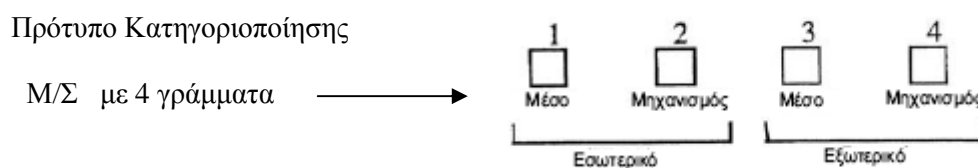
Επίσης έχουν επικρατήσει και ειδικές διατάξεις απαγωγής θερμότητας που τοποθετούνται στην επιφάνεια των μετασχηματιστών και μπορεί να είναι είτε σωλήνες όπου ρέει το λάδι , είτε μεταλλικές συσκευές που θυμίζουν καλοριφέρ . Τα καλοριφέρ είναι αποσπώμενα και παρέχουν μια αύξηση στην περιοχή επιφάνειας που είναι διαθέσιμη για την μεταφορά θερμότητας με συναγωγή , χωρίς αύξηση του μεγέθους της δεξαμενής . Επίσης ανεμιστήρες μπορεί να εγκατασταθούν για να αυξηθεί ο όγκος του κινούμενου αέρα κατά μήκος των επιφανειών ψύξης , αυξάνοντας έτσι το ποσοστό της διάχυσης της θερμότητας . Μεγαλύτεροι μετασχηματιστές που δεν μπορούν να ψυχθούν αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας θερμαντικά σώματα και ανεμιστήρες βασίζονται σε αντλίες που κυκλοφορούν το λάδι μέσα στον μετασχηματιστή και μέσω εξωτερικών εναλλακτών θερμότητας , ή ψύκτες , οι οποίοι χρησιμοποιούν την ύπαρξη αέρα ή νερού ως δευτερεύον μέσο ψύξης.

Η μέθοδος όπου επιτρέπουμε στο υγρό να ρέει διαμέσου των περιελίξεων του μετασχηματιστή με φυσικό τρόπο αναφέρεται ως μη κατευθυνόμενης ροής. Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται αντλίες , ακόμη και μερικές περιπτώσεις όπου μόνο ανεμιστήρες και θερμαντικά σώματα , το υγρό συχνά οδηγείται διαμέσου μερικών ή όλων των περιελίξεων . Αυτή η μέθοδος ονομάζεται κατευθυνόμενης ροής δηλαδή υπάρχει κάποιος βαθμός ελέγχου της ροής του υγρού διαμέσου των περιελίξεων .



Σχήμα 3: Μ/Σ με εξαναγκασμένη ψύξη λαδιού-αέρα. Τα βέλη δείχνουν τη ροή του λαδιού από κάτω προς τα πάνω

Σύμφωνα με πρότυπο του ΙΕΕΕ οι μετασχηματιστές διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά ψύξης τους. Ουσιαστικά η κάθε κατηγορία περιγράφεται με τέσσερα γράμματα. Η γενική μέθοδος που γίνεται η περιγραφή αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4 : Μέθοδος κατηγοριοποίησης Μ/Σ ως προς την ψύξη τους

Παρατηρούμε ότι τα γράμματα αφορούν το ψυκτικό μέσο (λάδι ή ότι άλλο) και τον μηχανισμό που γίνεται η απαγωγή θερμότητας που μπορεί να είναι φυσικής ροής (απλή κυκλοφορία του μέσου) ή εξαναγκασμένης ροής (κυκλοφορία με χρήση αντλιών η άλλων διατάξεων). Ακόμα βλέπουμε ότι τα δυο πρώτα γράμματα αφορούν το εσωτερικό του μετασχηματιστή και τα δυο τελευταία το εξωτερικό του.

Αυτός ο απλός τρόπος ταξινόμησης των μετασχηματιστών χρησιμοποιείται ευρύτατα σε ΗΠΑ και Ευρώπη και αποτελεί μια αρκετά καλή μέθοδο, αφού με τέσσερα γράμματα λαμβάνουμε σημαντικές πληροφορίες για το σύστημα ψύξης ενός Μ/Σ.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα γράμματα που χρησιμοποιούνται και τι συμβολίζουν αυτά :

<i><b>Εσωτερικό Μ/Σ</b></i>	<b>1<sup>ο</sup> γράμμα (ψυκτικό μέσο)</b>	<b>Γράμμα</b>	<b>Περιγραφή</b>
		<b>Ο</b>	Υγρό με σημείο καύσης μικρότερο ή ίσο των 300° C
		<b>Κ</b>	Υγρό με σημείο καύσης μεγαλύτερο των 300° C
		<b>L</b>	Υγρό με μη μετρήσιμο σημείο καύσης
	<b>2<sup>ο</sup> γράμμα (μηχανισμός ψύξης)</b>	<b>N</b>	Φυσική ροή στον εξοπλισμό ψύξης και στα τυλίγματα
		<b>F</b>	Εξαναγκασμένη κυκλοφορία στον εξοπλισμό ψύξης, φυσική ροή στα τυλίγματα
		<b>D</b>	Εξαναγκασμένη κυκλοφορία στον εξοπλισμό ψύξης, κατευθυνόμενη ροή στα τυλίγματα
<i><b>Εξωτερικό Μ/Σ</b></i>	<b>3<sup>ο</sup> γράμμα (ψυκτικό μέσο)</b>	<b>A</b>	Αέρας
		<b>W</b>	Νερό
	<b>4<sup>ο</sup> γράμμα (μηχανισμός ψύξης)</b>	<b>N</b>	Φυσική ροή
		<b>F</b>	Εξαναγκασμένη ροή

Πίνακας 1 : Πρότυπο κατηγοριοποίησης Μ/Σ ως προς τον τρόπο ψύξης τους

Η ψύξη των υγρών μετασχηματιστών γίνεται με πολλούς μεθόδους που καθεμία περιλαμβάνει ειδικές κατηγορίες .

#### Υγροί μετασχηματιστές με ψύξη από τον αέρα

- **Κατηγορία OA** : τα ενεργά μέρη των μετασχηματιστών είναι βυθισμένα σε λάδι και ο μετασχηματιστής ψύχεται με την φυσική κυκλοφορία του αέρα έξω από το περίβλημα

- **Κατηγορία OA/FA** : είναι σαν την κατηγορία OA με τη διαφορά ότι περιλαμβάνουν και ανεμιστήρες . Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δύο επίπεδα φορτίων : στα χαμηλά δε λειτουργούν οι ανεμιστήρες (OA) ενώ στα μεγάλα φορτία ενεργοποιούνται για επιπρόσθετη ψύξη (FA)
- **Κατηγορία OA/FA/FA** : είναι σαν κατηγορία OA/FA με την προσθήκη ενός ακόμα συστήματος ανεμιστήρων. Έτσι αυτοί οι μετασχηματιστές μπορούν να υποστηρίξουν 3 επίπεδα φορτίων (OA, OA/FA, OA/FA/FA).

#### Υγροί μετασχηματιστές με ψύξη από τον αέρα και την εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού

- **Κατηγορία OA/FA/FOA** : τα ενεργά μέρη είναι βυθισμένα σε λάδι. Ο μετασχηματιστής περιλαμβάνει εξαερισμό για φυσική κυκλοφορία αέρα, ανεμιστήρες για εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα και αντλίες για εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού με επιπρόσθετους ανεμιστήρες. Ο μετασχηματιστής έχει 3 βαθμονομήσεις φορτίων (OA,OA/FA ,OA/FA/FOA)
- **Κατηγορία OA/FOA/FOA** : περιλαμβάνει εμβάπτιση σε λάδι , φυσική κυκλοφορία αέρα , εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού και εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα. Έχει τουλάχιστον 3 βαθμονομήσεις φορτίων (OA,OA/FA,OA/FOA,OA/FA/FOA,OA/FOA/FOA)

#### Υγροί μετασχηματιστές με ψύξη από το νερό

- **Κατηγορία OW** :τα ενεργά μέρη είναι βυθισμένα σε λάδι και στο εξωτερικό του δοχείου βρίσκεται ένας εναλλάκτης θερμότητας λαδιού/νερού. Το νερό αντλείται μέσω του εναλλάκτη ενώ το λάδι ρέει μόνο με φυσική κυκλοφορία. Όσο το λάδι ζεσταίνεται από τα τυλίγματα , ανεβαίνει στην κορυφή και βγαίνει μέσω σωλήνα στον εναλλάκτη όπου ψυχωμένο κατεβαίνει και ξαναμπαίνει στο δοχείο από το κάτω μέρος του.
- **Κατηγορία OW/A** : ο μετασχηματιστής έχει δύο τάξεις φορτίου. Η μια επιτυγχάνεται όπως στην κατηγορία OW (oil water) και η δεύτερη (OW/A) με την φυσική κυκλοφορία αέρα στο εξωτερικό του δοχείου.

#### Υγροί μετασχηματιστές με εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού

- **Κατηγορία FOA** : ο μετασχηματιστής ψύχεται με την εξαναγκασμένη κυκλοφορία λαδιού μέσω του εναλλάκτη που βρίσκεται που βρίσκεται στο εξωτερικό του δοχείου και με την εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα από τους ανεμιστήρες.

- **Κατηγορία FOW** : ο μετασχηματιστής ψύχεται με την εξαναγκασμένη κυκλοφορία του λαδιού και του νερού που επιτυγχάνεται με την άντληση μέσω του συλλέκτη.

### 1.3 Πινακίδα Μετασχηματιστή

Η πινακίδα ενός μετασχηματιστή παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τη σωστή λειτουργία και συντήρησή του. Πρέπει να είναι σε ορατό σημείο , ανθεκτική και να κατασκευάζεται από υλικά που δεν διαβρώνονται για να μην χαλάει με το πέρασμα των χρόνων . Τα βασικά τεχνικά στοιχεία που αναγράφονται στην πινακίδα και μας δίνουν σημαντικές πληροφορίες είναι :

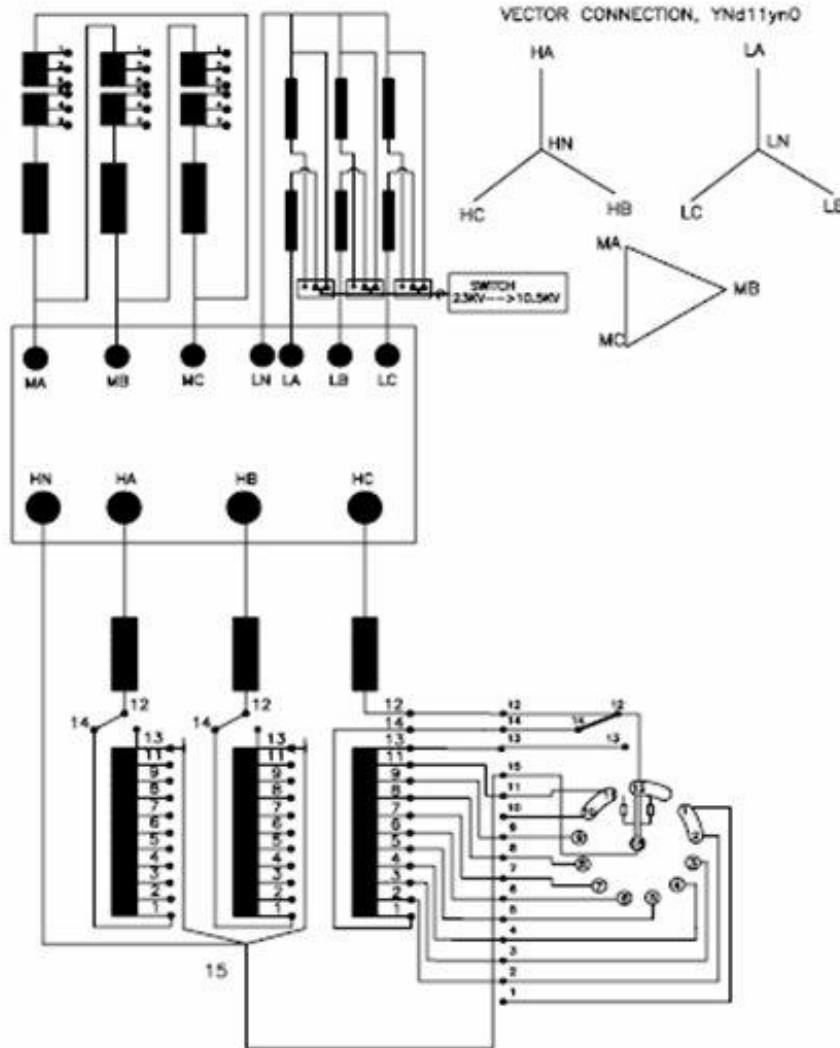
- Ο σχετικός κανονισμός
- Όνομα κατασκευαστή
- Κλάση ψύξεως
- Στάθμη μόνωσης
- Ονομαστική συχνότητα
- Είδος μονωτικού λαδιού
- Πολικότητα
- Ονομαστικές τάσεις και εύρος λήψεων
- Έτος κατασκευής
- Αριθμός φάσεων
- Ονομαστική ισχύς
- Συμβολισμός συνδεσμολογίας τυλιγμάτων
- Ονομαστικά ρεύματα
- Σύνθετη αντίσταση βραχυκύκλωσης
- Ο τύπος του πυρήνα του μετασχηματιστή
- Βάρος (συνολικό, τυλιγμάτων και πυρήνα, δεξαμενής και συνδέσμων, λαδιού).

Επίσης ο μεταγωγέας λήψεων υπό φορτίο διαθέτει πινακίδα με τα τεχνικά στοιχεία του , οι μονωτήρες διέλευσης, οι ανεμιστήρες και οι μετασχηματιστές εντάσεων. Παρακάτω παρουσιάζουμε μια τυπική πινακίδα όπως υπάρχει επάνω στους μετασχηματιστές . Προέρχεται από έναν μετασχηματιστή της κατασκευάστριας εταιρίας ABB, μια εκ των μεγαλύτερων εταιριών που κατασκευάζει μετασχηματιστές, με τρία τυλίγματα (υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης).

# OIL IMMERSED TRANSFORMER

TERMINALS	RATED VOLTAGE (KV)	ONAF RATING		ONAN RATING		INSULATION LEVELS
		MVA	AMPS	MVA	AMPS	
HA-HB-HC-HN	115±9x1.78%	25	126	20	100	U250 AC230/ U/A AC140
MA-MB-MC	38.5±2x2.5%	25	375	20	300	U170 AC70
LA-LB-LC-LN	23(10.5)	25(8.5)	626(467)	20(8.5)	502(374)	U125 AC50 (U75 AC55)

HIGH VOLTAGE				
	HA	HB	HC	HN
POS.	VOLTS	AMPS	SELECTOR SWITCH	PLUS-MINUS SWITCH
1	133420	106	2-15	12-15
2	131380	110	3-15	
3	129330	112	4-15	
4	127280	113	5-15	
5	125240	115	6-15	
6	123180	117	7-15	
7	121140	119	8-15	
8	119090	121	9-15	
9A	117050	123	10-15	
9	117050	123	11-15	
10	115000	126	12-15	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	102720	141	7-15	
17	100670	143	8-15	
18	98620	145	9-15	
19	96580	148	10-15	



MEDIUM VOLTAGE			
	MA	MB	MC
POS.	VOLTS	AMP	SELECTOR SWITCH
1	36500	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)		626(467)	

IMPEDANCES AT 25 MVA BASE (X)	
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	17.3/21
38.50/ 23(10.5) KV	6.36/9.73

Rated frequency (Hz)	<input type="text" value="50"/>	Number of phases	<input type="text" value="3"/>	Core and coils weight (kg)	<input type="text" value="30000"/>
Sound level (dB)	<input type="text" value="66/70"/>	Type of cooling	<input type="text" value="ONAN/ONAF"/>	Oil weight (kg)	<input type="text" value="20000"/>
Standard	<input type="text" value="IEC 60075"/>	Temp. rise wdg/top oil (°C)	<input type="text" value="60/55"/>	Total weight (kg)	<input type="text" value="71000"/>
Year of manufacture	<input type="text" value="2006"/>	Type of oil (Inhibited)	<input type="text" value="Nynas IO GBNP"/>	Transport weight with oil (kg)	<input type="text" value="61000"/>
Serial number	<input type="text" value="VND0200"/>	Tank pressure/vacuum withstand	<input type="text" value="70 MPa/Full"/>	Transport weight without oil (kg)	<input type="text" value="47000"/>

## 2. Σύστημα μόνωσης

### 2.1 Γενικά για τα μονωτικά

Τα μονωτικά υλικά βρίσκονται σε μια από τις 3 φυσικές καταστάσεις, είναι δηλαδή στερεά, υγρά ή αέρια. Τα αέρια και υγρά μονωτικά χρησιμοποιούνται εκεί όπου είναι απαραίτητη εκτός από την μόνωση και η απαγωγή θερμότητας. Το πρώτο αέριο μονωτικό που χρησιμοποιήθηκε και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται είναι ο αέρας . Η χρήση του αέρα ως μονωτικού προϋποθέτει , οι διαστάσεις των μηχανημάτων η των διατάξεων να είναι πολύ μεγάλες (γιατί έχει μικρή διηλεκτρική αντοχή) . Αυτό είναι το κυριότερο μειονέκτημα του , για αυτό πλέον ως μονωτικό αέριο έχει καθιερωθεί το εξαφθοριούχο θείο ή μείγμα με καθαρό άζωτο.

Τα στερεά μονωτικά που χρησιμοποιούνται είναι το χαρτί, προϊόντα κυτταρίνης , ρητίνες κ.ά. . Κάποια από αυτά , όπως η πορσελάνη και το γυαλί χρησιμοποιούνται και για στήριξη , Το χαρτί που χρησιμοποιείται ευρέως στα τυλίγματα των μετασχηματιστών είναι υδρόφιλο και εμποτίζεται με λάδι για να μην απορροφά υγρασία. Η χρήση του συστήματος χαρτί-λάδι έχει καθιερωθεί εδώ και πολλά χρόνια. Τα ζητούμενα από τα μονωτικά υλικά γενικότερα είναι :

- Το μικρό κόστος
- Ο μικρός όγκος
- Η ευκολία εγκατάστασης
- Η μεγάλη αντοχή σε καταπονήσεις κάθε είδους
- Η μεγάλη διάρκεια ζωής

Επίσης αναφέρουμε τις 3 βασικές ιδιότητες που αφορούν στα μονωτικά ή συστήματα μονωτικών όταν αυτά υφίστανται σε εναλλασσόμενη τάση :

- Οι διηλεκτρικές απώλειες
- Ο συντελεστής ισχύος
- Η χωρητικότητα

### 2.2 Υλικά κυτταρίνης

Η χρήση υλικών κυτταρίνης ως μονωτικό στους μετασχηματιστές εφαρμόζεται από την κατασκευή των πρώτων μετασχηματιστών λαδιού. Το ειδικό μονωτικό χαρτί παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα :

- Είναι απλό στην παραγωγή
- Έχει χαμηλό κόστος
- Έχει μεγάλη διαθεσιμότητα
- Είναι εύκολο στη χρήση



Τα χαρακτηριστικά που το καθιστούν τόσο απαραίτητο για την μόνωση των αγωγών των τυλιγμάτων είναι τα εξής :

- Η διηλεκτρική αντοχή του
- Η ελαστικότητα του
- Η ιδιότητα να παίρνει εύκολα σχήμα
- Η αντοχή του στο λάδι

Το χαρτί και τα άλλα προϊόντα κυτταρίνης που εμποτίζονται στο λάδι εφαρμόζονται στη μόνωση των μετασχηματιστών εδώ και περίπου 100 χρόνια . Ενώ το λάδι του μετασχηματιστή χρησιμεύει για την απαγωγή θερμότητας και την αντιμετώπιση ηλεκτρικών καταπονήσεων μετρίου μεγέθους, το εμποτισμένο σε λάδι χαρτί χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση ισχυρότερων ηλεκτρικών καταπονήσεων. Η στερεά μόνωση εμποδίζει τη διάδοση των μερικών εκκενώσεων που μπορεί να εκδηλωθούν στο λάδι.

Ο εμποτισμός του χαρτιού με λάδι είναι ο πλέον διαδεδομένος για διάφορους λόγους . Όταν επιλέγονται δυο υλικά για λειτουργία σε σειρά , οι διηλεκτρικές τους σταθερές πρέπει να έχουν παραπλήσιες τιμές. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου στη σύνθετη μόνωση. Εξάλλου αυτή η μόνωση υφίσταται και μηχανικές καταπονήσεις που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια βραχυκυκλωμάτων .

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.

Τα κυριότερα είδη που χρησιμοποιούνται είναι :

- **Χαρτί Kraft**

Το χαρτί Kraft παρασκευάζεται από την ομώνυμη μέθοδο πολτοποίησης του ξύλου. Χρησιμοποιούνται κυρίως ξυλεία κωνοφόρων ειδών και πραγματοποιείται χημική κατεργασία των ξυλοτεμαχιδίων με υδατικό διάλυμα καυστικού νατρίου και θειούχου νατρίου τα οποία σπάνε τους δεσμούς της λιγνίνης και ελευθερώνουν τις ίνες της κυτταρίνης . Ανεξάρτητα από τις ατέλειες της κυτταρίνης, το χαρτί kraft συνεχίζει να επιλέγεται ως μονωτικό σχεδόν σε όλους τους Μ/Σ. Δυστυχώς , το πολυμερές της κυτταρίνης υπόκειται σε θερμική αποσύνθεση και είναι ευάλωτο σε οξειδωτικές και υδρολυτικές προσβολές. Έτσι, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός που είναι μονωμένος με χαρτί kraft πρέπει να σχεδιάζεται και να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε η θερμοκρασία της μόνωσης να παραμένει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα

- **Το θερμικώς αναβαθμισμένο χαρτί**

Η πιο αξιοσημείωτη πρόσφατη βελτίωση του χαρτιού kraft συνέβη στα τέλη του 1950, όταν το θερμικώς αναβαθμισμένο kraft χαρτί εμφανίστηκε. Δύο βασικά είδη της θερμικής επεξεργασίας αναπτύχθηκαν:

- Τροποποίηση της κυτταρικής αλυσίδας ειδικότερα των ομάδων του υδροξυλίου με τη διαδικασία της κυανοαιθυλίωσης και αυτήν της ακετυλίωσης.
- Προσθήκη χημικών για την προστασία της κυτταρίνης από οξείδωση. Αυτό αρχικά επιτυγχανόταν με νιτρώδης χημικές ενώσεις όπως ουρία, μελαμίνη, δικυανοδιαμίδη και πολυακρυλαμίδη

Επειδή όλες οι διαδικασίες θερμικής αναβάθμισης χρησιμοποιούν χημικά με βάση το άζωτο και αυτό δεν είναι μέρος της δομής της κυτταρίνης, η ποσότητα του παράγοντα σταθεροποίησης (π.χ. δικυανοδιαμίδη) της θερμικής αναβάθμισης μπορεί να καθοριστεί με το να μετρηθεί η ποσότητα του αζώτου. Οι διάφορες τεχνολογίες αναβάθμισης έχουν ποικίλους βαθμούς ποσότητας αζώτου, και η οποία ποσότητα πρέπει να είναι επαρκής για την αναβάθμιση του χαρτιού ώστε να ικανοποιεί τα ικανά κριτήρια για συγκεκριμένο μονωτικό σύστημα. Η χημική επεξεργασία, με τη βοήθεια της δικυανοδιαμίδης, σταθεροποιεί τη δραστηριότητα του υδροξυλίου στο μόριο της κυτταρίνης και συνεπώς μειώνει την τάση προς υδρόλυση. Η διαδικασία αυτή της θερμικής αναβάθμισης αυξάνει την θερμοκρασία συνεχούς λειτουργίας από τους 95° C στους 110° C. Κατόπιν πειραματικών μετρήσεων, δείχτηκε ότι περισσότερο νερό παράγεται στις υψηλές θερμοκρασίες στο μη-θερμικώς αναβαθμισμένο χαρτί συγκριτικά με το θερμικώς αναβαθμισμένο χαρτί. Επίσης εξήχθη το συμπέρασμα ότι ο βαθμός της θερμικής αναβάθμισης του χαρτιού έχει θετική επίδραση στην υδρόλυση, καμιά επίδραση στην βραχυπρόθεσμη οξείδωση (πραγματική οξείδωση) αλλά θετική επίδραση στην μακροπρόθεσμη οξείδωση (νερό που παράγεται κατά τη γήρανση).

- **To 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 και αποτελεί μαζί με το λάδι, το κύριο μονωτικό υλικό των μετασχηματιστών. Έχει υψηλή μηχανική αντοχή, χαμηλή συρρίκνωση και ικανοποιητική αντοχή σε έρπουσες εκφορτίσεις.



Εικόνα 10 : Pressboard στους πυρήνες του μετασχηματιστή

- **To Nomex**

Ο τύπος 410 είναι η αρχική μορφή χαρτιού Nomex . Χρησιμοποιείται ευρέως στην πλειονότητα των εφαρμογών ηλεκτρικού εξοπλισμού, παράγεται σε πάχη 0,05 έως 0,76 mm με ειδικά βάρη 0,7 έως 1,2. Ως ένα προϊόν υψηλής πυκνότητας, προσφέρει υψηλή διηλεκτρική αντοχή, μηχανική ανθεκτικότητα, ευκαμψία και ελαστικότητα. Το Nomex τύπου 410 χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε γνωστή εφαρμογή μόνωσης .



Εικόνα 11 : Μονωτικό χαρτί Nomex στους πυρήνες του μετασχηματιστή

- **To Χαρτί Crepe**

Το χαρτί Crepe συνήθως παράγεται σε λωρίδες των 25mm πλάτος και είναι ιδανικό για την μόνωση ακανόνιστων επιφανειών όπου σωστή μόνωση δεν μπορεί να διαμορφωθεί με επίπεδα χαρτιά όπως πχ στα άκρα των τυλιγμάτων και στην διαδρομή αυτών προς τον μεταγωγέα αφού λόγω της ευκαμψίας του μπορεί να τοποθετηθεί σε ακανόνιστες διαδρομές και σε σημεία που υπάρχουν καμπές. Ένα μειονέκτημα του συγκεκριμένου χαρτιού είναι η τάση να χάνει την ελαστικότητά του με την πάροδο των χρόνων.

### 2.3 Μονωτικά λάδια

Οι απώλειες στον πυρήνα και οι απώλειες χαλκού στο μετασχηματιστή μετατρέπονται σε θερμότητα. Εκτός αν υπάρχει κάποιο μέσο για τη συνεχή απομάκρυνση της θερμότητας από τον πυρήνα και τα τυλίγματα. Το μονωτικό λάδι χρησιμοποιείται για την μεταφορά θερμότητας και τη βελτίωση των ιδιοτήτων μόνωσης. Τα περισσότερα λάδια μόνωσης, έλαια ψύξης, έχουν διάφορα χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά για τη λειτουργία της μεταφοράς ισχύος σε μετασχηματιστές.

Ο πυρήνας, τα πηνία και τα συστήματα που το υποστηρίζουν που κάνουν τον μετασχηματιστή μια στερεά μόνωση εμποτίζονται με μονωτικό υγρό ορυκτέλαιο. Οι κύριες λειτουργίες του μονωτικού λαδιού είναι να μονώσει το πρωτεύον τύλιγμα από το δευτερεύον και το έδαφος και να μεταφέρει τη θερμότητα από τα τυλίγματα στον εξωτερικό εξοπλισμό ψύξης. Το έλαιο αυτό διεισδύει και γεμίζει τα κενά μεταξύ του πυρήνα και των πηνίων, διατηρώντας την ποιότητα του χαρτιού και των υλικών κυτταρίνης.

Τα λάδια που χρησιμοποιούνται για την μόνωση των μετασχηματιστών παράγονται σαν κλάσματα απόσταξης πετρελαίου. Τα λάδια διακρίνονται σε κατηγορίες:

- Μεθανέλαια : που χαρακτηρίζονται από την κυριαρχία κεκορεσμένων υδρογονανθράκων τύπου παραφίνης
- Ναφθανέλαια : όπου κυριαρχούν ακόρεστοι υδρογονάνθρακες τύπου ναφθαλίνης
- Λάδια μεικτής σύστασης : σε αυτά δεν κυριαρχεί κανένα από τα δύο είδη υδρογονανθράκων

Τα μονωτικά λάδια δεν είναι τοξικά και γενικά δεν αποτελούν κίνδυνο για τον εργαζόμενο προσωπικό. Για τα λάδια που προορίζονται για την χρήση σε μετασχηματιστές πρέπει να ελέγχονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Το ειδικό βάρος : αυτό πρέπει να είναι μικρότερο από  $0,895\text{g/cm}^3$  ώστε να αποφεύγεται η επίπλευση μικρών κομματιών πάγου που σχηματίζονται στον πυθμένα του δοχείου του μετασχηματιστή.
- Η ρευστότητα : προσδιορίζει την ικανότητα ψύξης. Το επιθυμητό είναι το λάδι να έχει όσο το δυνατό μικρότερο ιξώδες ώστε να ρέει ευκολότερα ανάμεσα στα τυλίγματα.
- Η θερμοκρασία ανάφλεξης : πρέπει να είναι πάνω από  $140^\circ\text{C}$ .

- Η θερμοκρασία καύσης : συνήθως είναι κατά 25% υψηλότερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης.
- Η θερμοκρασία ψύξης
- Η οξύτητα
- Η καθαρότητα : το λάδι πρέπει να είναι διαυγές και απαλλαγμένο από αιωρήματα.
- Η ευκολία σχηματισμού ιζήματος: το ίζημα (ημιστέρεοι υδρογονάνθρακες) , είναι ιδιαίτερα βλαβερό για τον μετασχηματιστή καθώς επικάθεται πάνω στα τυλίγματα και στα τοιχώματα του δοχείου.
- Η δυνατότητα εμπλουτισμού του

### **3 Είδη καταπονήσεων και βλαβών**

Τα κυριότερα είδη καταπονήσεων που υφίσταται ένας μετασχηματιστής κατατάσσονται στις επόμενες τρεις κατηγορίες :

- Μηχανικές : Περιλαμβάνουν καταπονήσεις μεταξύ των αγωγών, ακροδεκτών και τυλιγμάτων εξαιτίας υπερεντάσεων βραχείας διάρκειας και ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης οφείλονται σε βραχυκυκλώματα και ρεύματα εισροής υπό συνθήκες ηλέκτρισης.
- 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.
- Δηλεκτρικές: Περιλαμβάνουν καταπονήσεις που οφείλονται σε υπερτάσεις του συστήματος, παροδικές κρουστικές τάσεις ή εσωτερική αντήχηση στα τυλίγματα.

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

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

Η χρονική διάρκεια της βλάβης εξαρτάται από την αιτία που την προκάλεσε. Μια βλάβη μπορεί να δημιουργηθεί σε δευτερόλεπτα ή και να αναπτύσσεται σταδιακά σε μεγάλο χρονικό διάστημα που μπορεί να φτάνει ακόμα 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.

### 3.1 Προβλήματα στην μόνωση του μετασχηματιστή

Τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζει η μόνωση του μετασχηματιστή οφείλονται στα εξής :

- Στη γήρανση
- Στην υποβάθμιση
- Στην χειροτέρευση

Ως γήρανση ορίζεται η σταδιακή και μη αντιστρεπτή μεταβολή των φυσικοχημικών και άρα μονωτικών ιδιοτήτων των διηλεκτρικών μιας μόνωσης λόγω των καταπονήσεων που υφίσταται.

Η υποβάθμιση αφορά στην προσωρινή μείωση των μονωτικών ιδιοτήτων μιας μόνωσης υπό την επίδραση καταπονήσεων που εξαφανίζεται μετά τη διακοπή τους.

Η χειροτέρευση περιγράφει τη μόνιμη μείωση των μονωτικών ιδιοτήτων μιας μόνωσης που πραγματοποιείται σε ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα υπό την επίδραση ορισμένων καταπονήσεων που επιβάλλονται κατά την διάρκεια αυτού του διαστήματος.

Αν και αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία είναι η ικανότητα συνολικά του μονωτικού συστήματος του μετασχηματιστή, θα αναφερθούν και χωριστά οι παράγοντες και ο τρόπος που επιδρούν στο χαρτί και στο λάδι .

Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην ακεραιότητα της μόνωσης και οι τρόποι είναι :

**Θερμοκρασία** : κατά τη θερμοκινητική υποβάθμιση των μορίων της κυτταρίνης (πυρόλυση) , αρχίζουν διαδικασίες διάρρηξης των δεσμών. Η διάρρηξη των δεσμών συνεπάγεται την παραγωγή παραπροϊόντων όπως το CO<sub>2</sub> , το CO , το H<sub>2</sub> και το CH<sub>4</sub> . Στο τέλος μιας αλυσίδας το τελευταίο μόριο είναι δυνατό να διασπαστεί και να μετατραπεί σε άλλα υλικά , όπως λάσπη. Η λάσπη αυτή μπορεί να μετατρέψει το λάδι σε ρητίνη.

- **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.

- **Επίδραση στο λάδι**

Ενώ το χαρτί παρουσιάζει αστάθεια στη θερμοκρασία, το λάδι παρουσιάζει αστάθεια στην οξείδωση. 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.

**Οξυγόνο** : η ύπαρξη του συμβάλει στο σχηματισμό απευθείας χημικών δεσμών με τα μόρια του λαδιού και ενδεχομένως με τα μακρομόρια της κυτταρίνης . Το οξυγόνο επιδρά πολύ περισσότερο στο λάδι από ότι στην κυτταρίνη.. Το οξυγόνο μπορεί να παρουσιαστεί μόνο μέσω της εισόδου του από έξω , μέσα στο μετασχηματιστή καμία διαδικασία δεν παράγει οξυγόνο .

- **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.

- **Επίδραση στο λάδι**

Το λάδι επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία οξυγόνου, ειδικά όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή. Ο ρυθμός παραγωγής προϊόντων οξειδωσης 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.

**Νερό**: είναι πιο βλαβερό για την κυτταρίνη . Λόγω της υγροσκοπικής ιδιότητας της κυτταρίνης και της δομής των ινών , τα μόρια του νερού εισέρχονται μεταξύ των αλύσεων της κυτταρίνης προκαλώντας θερμουδρολυτική υποβάθμιση .

- **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.

- **Επίδραση στο λάδι**

Το λάδι επηρεάζεται λίγο από το περιεχόμενο νερό. 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.

## **4 Δοκιμές Μετασχηματιστών ισχύος**

### **4.1 Γενικά**

Σε αντίθεση με τον υπόλοιπο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, η πλειοψηφία των Μ/Σ κατασκευάζεται χειρωνακτικά, αφού κατά τη διάρκεια της κατασκευής εμπλέκεται μικρή ή καθόλου αυτοματοποίηση της διαδικασίας παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι ο πελάτης- αγοραστής δεν μπορεί να βασιστεί στις εκτεταμένες δοκιμές τύπου των δοκιμίων (πριν την παραγωγή των Μ/Σ) για τον ικανοποιητικό σχεδιασμό και την επαρκή κατασκευή των Μ/Σ.



Έτσι, κάθε ένας Μ/Σ μετά την παραγωγή του και πριν την παράδοσή του πρέπει να ελέγχεται για την ικανότητα λειτουργίας του για τουλάχιστον 30 έτη . Οι δοκιμές καταλληλότητας του Μ/Σ εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες

- Δοκιμές για τον έλεγχο αν ο Μ/Σ έχει κατασκευαστεί σωστά. Αυτές περιλαμβάνουν τον έλεγχο του λόγου μετασχηματισμού, τον έλεγχο της πολικότητας, την μέτρηση της αντίστασης και τον έλεγχο λειτουργίας του μεταγωγέα.
- Δοκιμές για την μέτρηση των εγγυημένων μεγεθών όπως αυτά καθορίζονται από τις απαιτήσεις του πελάτη. Πρόκειται για τις απώλειες, τη τάση βραχυκύκλωσης, την ανύψωση της θερμοκρασίας και την στάθμη θορύβου.
- Δοκιμές που αποδεικνύουν ότι ο Μ/Σ θα λειτουργεί ικανοποιητικά. Αυτές είναι οι διηλεκτρικές δοκιμές ή δοκιμές υπερτάσεων.

Επίσης, οι δοκιμές χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Δοκιμές τύπου : Είναι οι δοκιμές που γίνονται σε αντιπροσωπευτικό δείγμα Μ/Σ και οι οποίοι επιλέγονται δειγματοληπτικά από τον πελάτη.
- Δοκιμές σειράς : Είναι οι δοκιμές οι οποίες εκτελούνται σε όλο των αριθμό των παραχθέντων Μ/Σ.
- Ειδικές δοκιμές : Είναι οι δοκιμές που εκτελούνται μετά από συμφωνία πελάτη και κατασκευαστή.

Οι Μ/Σ υπόκεινται στις παραπάνω δοκιμές εφόσον ικανοποιούνται οι παρακάτω απαιτήσεις :

- Οι δοκιμές θα εκτελούνται όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεταξύ 10°C και 40°C και με τον νερό ψύξης (όταν απαιτείται) να βρίσκεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 25°C.
- Οι δοκιμές θα εκτελούνται με ευθύνη του κατασκευαστή, εκτός αν έχει συμφωνηθεί κάτι διαφορετικό μεταξύ κατασκευαστή και αγοραστή .
- Όλα τα εξωτερικά εξαρτήματα που πιθανόν να επηρεάσουν την απόδοση του Μ/Σ κατά την διάρκεια του Μ/Σ πρέπει να είναι τοποθετημένα στη θέση τους.
- Ο μεταγωγέας πρέπει να βρίσκεται στη κύρια θέση του, δηλαδή στην ονομαστική τάση, εκτός αν η σχετική οδηγία του αντίστοιχου προτύπου απαιτεί άλλη θέση ή αν έχει συμφωνηθεί κάτι άλλο μεταξύ κατασκευαστή και πελάτη.

- Τα μετρητικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τις δοκιμές πρέπει να διαθέτουν πιστοποιημένη ακρίβεια και να υπόκεινται σε περιοδική διακρίβωση.
- Όπου απαιτείται, τα αποτελέσματα των δοκιμών θα διορθώνονται σε μία θερμοκρασία αναφοράς και η οποία θα είναι 75°C για τους Μ/Σ λαδιού

Αναλυτικότερα οι δοκιμές αποτελούνται από επιμέρους δοκιμές:

Οι δοκιμές τύπου από:

- Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας
- Δοκιμή μηχανικής αντοχής
- Δοκιμή ελέγχου σπειρών
- Μέτρηση επιπέδων ακουστικού ήχου
- Δοκιμή κρουστικής τάσης

Οι δοκιμές σειράς από:

- Μέτρηση τάσης βραχυκύκλωσης και απωλειών φορτίου
- Μέτρηση λόγου μετασχηματισμού και έλεγχος ομάδας ζεύξης
- Μέτρηση αντίστασης τυλιγμάτων
- Μέτρηση απωλειών σιδήρου και ρεύματος μαγνήτισης
- Μέτρηση πολικότητας
- Δοκιμή λειτουργίας του μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο
- Δηλεκτρικές δοκιμές σειράς
  - Δοκιμή εφαρμοζόμενης τάσης
  - Δοκιμή επαγόμενης τάσης

Οι ειδικές δοκιμές από:

- Προσδιορισμός των χωρητικοτήτων μεταξύ τυλιγμάτων -γη και μεταξύ των τυλιγμάτων
- Δοκιμή βραχυκυκλώματος
- Μέτρηση της αντίστασης της μηδενικής ακολουθίας τριφασικού Μ/Σ
- Μέτρηση αρμονικών του ρεύματος μαγνήτισης
- Μέτρηση της αντίστασης της μόνωσης των τυλιγμάτων ως προς γη

## **4.2 Δοκιμές**

### **4.2.1 Δοκιμές τύπου**

#### **4.2.1.1 Δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας**

Ο σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής είναι το να επαληθεύσει τις εγγυημένες τιμές της αύξησης των θερμοκρασιών τόσο του λαδιού αλλά και των τυλιγμάτων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στο να εντοπίσει πιθανά θερμά σημεία, ιδιαίτερα για Μ/Σ με μεγάλα πεδία σκέδασης (όπως είναι οι Μ/Σ ισχύος που έχουν ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη από 300-500 MVA και οι αυτομετασχηματιστές).

Η θερμοκρασία του λαδιού μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα θερμοκρασίας σε άμεση ή έμμεση επαφή με το λάδι. Αντίθετα, η θερμοκρασία του τυλίγματος πρέπει να μετρηθεί με έμμεσο τρόπο μέσω της αντίστασης αυτού. Έτσι, η αντίσταση του τυλίγματος μετράται αρχικά πριν την έναρξη της δοκιμής, όταν ολόκληρος ο Μ/Σ βρίσκεται σε μία θερμική ισορροπία, ενώ αμέσως μετά την ολοκλήρωση της έγχυσης του ρεύματος πραγματοποιείται η τελική μέτρηση της αντίστασης. Η διαφορά των τιμών της αντίστασης αντικατοπτρίζει τη διαφορά της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων πριν και μετά τη δοκιμή.

Θεωρητικά, υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την εκτέλεση της δοκιμής ανύψωσης θερμοκρασίας αλλά, για πρακτικούς λόγους, η επικρατούσα μέθοδος είναι αυτή του βραχυκυκλώματος. Η δοκιμή αυτή εκτελείται για κάθε ζεύγος τυλιγμάτων. Αν πρόκειται για Μ/Σ δύο τυλιγμάτων, τότε απαιτείται μόνο μία δοκιμή με ένα από τα τυλίγματα να βραχυκυκλώνεται και μάλιστα το κύκλωμα να είναι το ίδιο με αυτό με το οποίο μετράμε τις απώλειες φορτίου. Για Μ/Σ που διαθέτουν μεταγωγέα λήψεων, η δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας πρέπει να πραγματοποιείται στη θέση του μεταγωγέα όπου έχουμε το μέγιστο ρεύμα, και όπου συνήθως αυτή η θέση είναι εκείνη με τις υψηλότερες απώλειες φορτίου. Η δοκιμή εκτελείται 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 παραμείνει σ' αυτή την κατάσταση για τρεις 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 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 με τις πρώτες καταγραφές των ενδείξεων να γίνονται αμέσως μετά την υποχώρηση του φαινομένου της παραμένουσας αλλά όχι μετά από 4 λεπτά από την αποσύνδεση.

#### 4.2.1.2 Δοκιμή μηχανικής αντοχής

Η δοκιμή μηχανικής αντοχής εξετάζει το βαθμό στεγανότητας της κύριας δεξαμενής. Η πίεση που εφαρμόζεται 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.

#### 4.2.1.3 Δοκιμή ελέγχου σπειρών

Με την δοκιμή ελέγχου σπειρών ελέγχεται η αντοχή της μόνωσης μεταξύ σπειρών της ίδιας στρώσης ή σπειρών διαφορετικών στρώσεων που γειτνιάζουν μεταξύ τους. Για αυτό το λόγο ονομάζεται και δοκιμή ελέγχου σπειρών. Η εκτέλεση της δοκιμής αποτελείται από τα εξής βήματα:

- Σύνδεση τριφασικής τροφοδότησης σε όλες τις φάσεις της χαμηλής τάσης. Τοποθέτηση του μεταγωγέα λήψεων στη θέση «1» (161,250/21kV).
- Γείωση του ουδετέρου κόμβου.
- Ανοιχτοκύκλωση των ακροδεκτών των τυλιγμάτων υψηλής τάσης.
- Παραγωγή επαγόμενης τάσης με την εφαρμογή πολικής τάσης ημιτονοειδούς μορφής και συχνότητας έως 100Hz.

- Εφαρμογή της επαγόμενης τάσης ως εξής:
  - Τάση σε ένα επίπεδο όχι μεγαλύτερο του 1/3 των 75kV για την έναρξη της δοκιμής.
  - Ανύψωση στα  $1,1 \cdot (187,5\text{kV})$  και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
  - Ανύψωση στα 225kV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
  - Ανύψωση στα 325kV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για το χρόνο δοκιμής .
  - Μείωση στο επίπεδο των 225kV και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά για μέτρηση μερικών εκκενώσεων.
  - Μείωση στο επίπεδο των  $1,1 \cdot U_m$  ( $U_m=187,5\text{kV}$ ) και παραμονή στο επίπεδο αυτό για 5 λεπτά.
  - Μείωση στο επίπεδο του 1/3 των 75kV πριν τη λήξη τη δοκιμής.

#### 4.2.1.4 Μέτρηση επιπέδων ακουστικού ήχου

Ο σκοπός της μέτρησης του επιπέδου του ήχου είναι για να ελέγξουμε το επίπεδο του ήχου του Μ/Σ πού είτε τηρεί τις απαιτήσεις των προτύπων είτε τηρεί τις τιμές που δίνονται από τον κατασκευαστή. Η φασματική ανάλυση που πραγματοποιείται δίνει το φάσμα του ήχου που δείχνει το μέγεθος των στοιχείων του ήχου σαν συνάρτηση της συχνότητας.

Η μέτρηση εκτελείται σε θέσεις μέτρησης που τοποθετούνται γύρω από το Μ/Σ με τους παρακάτω τρόπους :

- Όταν το ύψος της δεξαμενής λαδιού είναι μεγαλύτερο από 2.5μ , τότε το μικρόφωνο που είναι σε κάθετη διεύθυνση προς το Μ/Σ πρέπει να είναι στο 1/3 με 2/3 του ύψους της δεξαμενής του Μ/Σ.
- Όταν το ύψος της δεξαμενής είναι μικρότερο από 2.5μ το μικρόφωνο τοποθετείται στο μέσο του ύψους της δεξαμενής.

Πριν από και μετά από κάθε μέτρηση , μετράται και το επίπεδο του θορύβου που ενυπάρχει στο χώρο. Προτιμάται το επίπεδο του θορύβου να είναι το λιγότερο 9dB κάτω από το επίπεδο του συνδυασμένου ήχου που μετράται , δηλαδή του ενυπάρχοντος θορύβου και του ήχου που μας ενδιαφέρει . Αν είναι λιγότερο από 9dB αλλά όχι από 3 dB τότε πρέπει να διορθωθεί ο θόρυβος που ενυπάρχει στο χώρο.

#### 4.2.1.5 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 πάτωμα 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:

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

##### Τύλιγμα χαμηλής τάσης:

- Εφαρμογή ενός μειωμένου κύματος κρουστικής τάσης 50%-75% του πλήρους κύματος (72,5kV-108,75kV) μορφής 1,2/50μs.
- 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. Οι φάσεις οι οποίες δεν υπόκεινται σε δοκιμή, γειώνονται .



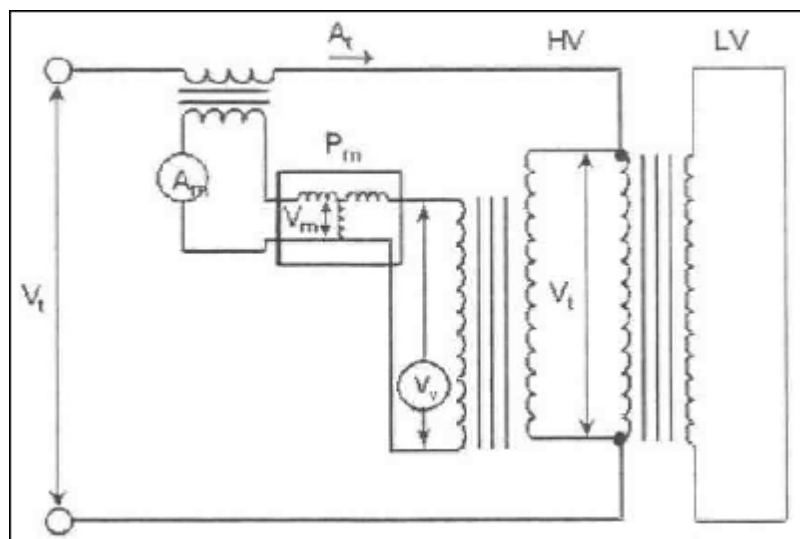
Εικόνα 12 : Σύστημα δοκιμής κρουστικής τάσης. Διακρίνονται: ο υπό δοκιμή Μ/Σ (100kVA, 20/0.4 kV), η κρουστική γεννήτρια δύο σταδίων, ο σπινθηριστής για το αποκομμένο κύμα και ο χωρητικός καταμεριστής

## 4.2.2 Δοκιμές σειράς

### 4.2.2.1 Μέτρηση τάσης βραχυκύκλωσης και απωλειών φορτίου

Οι απώλειες φορτίου μετρώνται βραχυκυκλώνοντας το ένα τύλιγμα του Μ/Σ, συνήθως το τύλιγμα της χαμηλής τάσης, και εφαρμόζοντας επαρκή τάση (την ονομαζόμενη και ως τάση βραχυκύκλωσης) στο τύλιγμα της υψηλής τάσης με αποτέλεσμα τη ροή ονομαστικού ρεύματος και στα δύο τυλίγματα. Τότε, πραγματοποιείται η μέτρηση της τάσης εισόδου, του ρεύματος και της ισχύς. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το σύνθηες κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των απωλειών φορτίου ενός μονοφασικού Μ/Σ. Η μέτρηση των απωλειών σε τριφασικούς Μ/Σ πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο αλλά όμως με τη χρήση τριών ομάδων οργάνων και Μ/Σ μέτρησης.

Και ενώ σύμφωνα με τα πρότυπα IEC και IEEE υπάρχει μόνο ανώτατο όριο (και όχι κατώτατο όριο) αποδεκτών τιμών απωλειών φορτίου για κάθε είδος Μ/Σ, στη πραγματικότητα οι μετρούμενες τιμές δεν μεταβάλλονται σημαντικά. Έτσι, η μεταβλητότητα της τιμής των απωλειών φορτίου συγκεκριμένου είδους Μ/Σ ισχύος πρέπει να είναι πολύ χαμηλή και κυρίως αυτή προκαλείται από τις ανοχές στη μετρητική διαδικασία των Μ/Σ.



Σχήμα 5 : Κύκλωμα μέτρησης απωλειών φορτίου μονοφασικού Μ/Σ



Εικόνα 13: Συνδεσμολογία μέτρησης απωλειών φορτίου και τάσης βραχυκύκλωσης

#### 4.2.2.2 Μέτρηση λόγου μετασχηματισμού και έλεγχος ομάδας ζεύξης

Υπάρχει μία άμεση σχέση μεταξύ των αριθμών των σπειρών και του λόγου των τάσεων του πρωτεύοντος προς το δευτερεύον, και η οποία σχέση είναι η:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

όπου

$V_p$  είναι η τάση του πρωτεύοντος

$V_s$  είναι η τάση του δευτερεύοντος

$N_p$  είναι ο αριθμός των σπειρών του πρωτεύοντος

$N_s$  είναι ο αριθμός των σπειρών του δευτερεύοντος

Αυτός ο βασικός τύπος είναι η βάση για μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους για την δοκιμή και αξιολόγηση της λειτουργικής ικανότητας του Μ/Σ. Η μέθοδος αυτή καλείται δοκιμή λόγου μετασχηματισμού. Η δοκιμή αυτή εκτελείται, μετά την κατασκευή του Μ/Σ, για τον έλεγχο της καλής κατασκευής του αλλά και μετά την εγκατάστασή του για την επιβεβαίωση της μη ύπαρξης προβλημάτων αφού η μόνωση των τυλιγμάτων μπορεί να πάθει ζημιά ή να εκφυλιστεί η ποιότητά του



εξαιτίας διαφόρων αιτιών όπως λόγω ακμών, κυμάτων, σφαλμάτων, ζημιών κατά την μεταφορά κτλ. Η βλάβη της μόνωσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το βραχυκύκλωμα μεταξύ σπειρών, δηλαδή τη μείωση του αριθμού των σπειρών αλλάζοντας το λόγο και αποκλίνοντας από τον ονομαστικό λόγο μετασχηματισμού .



Εικόνα 14 : Συνδεσμολογία ακροδεκτών μετρητή λόγου μετασχηματισμού και ομάδας συνδεσμολογίας

Υπάρχουν δύο μέθοδοι μέτρησης του λόγου μετασχηματισμού:

- Μέθοδος βολτομέτρου

Χρησιμοποιούνται δύο βολτόμετρα, ένα για την καταγραφή της τάσης του τυλίγματος της υψηλής τάσης και ένα για το τυλίγμα της χαμηλής τάσης ενώ οι ενδείξεις των βολτομέτρων καταγράφονται συγχρόνως. Για την καταγραφή των ενδείξεων ενδεχομένως να απαιτηθούν και μετασχηματιστές μέτρησης και συγκεκριμένα τάσης . Μετά την πρώτη ομάδα καταγραφής των ενδείξεων, μία δεύτερη λαμβάνει μέρος αφού πρώτα όμως γίνει ανταλλαγή των δύο οργάνων μεταξύ τους. Έτσι, λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος των δύο ομάδων μετρήσεων για την αντιστάθμιση των σφαλμάτων μέτρησης.

Θα πραγματοποιούνται δοκιμές σε τουλάχιστον τέσσερις τάσεις σε στάδια του 10% και η μέση τιμή αυτών θα θεωρείται η πραγματική μετρούμενη τιμή. Αυτές οι πολλαπλές τιμές δεν πρέπει να έχουν απόκλιση παραπάνω από 1% ενώ σε αντίθετη περίπτωση, οι δοκιμές πρέπει να επαναλαμβάνονται με διαφορετικά βολτόμετρα.

Η διαδικασία των άμεσων μετρήσεων της τάσης εξόδου ίσως φαίνεται απλή λύση αλλά δεν είναι πρακτική. Μετρήσεις τάσεις σε Μ/Σ εν λειτουργία είναι δύσκολες, ενδεχομένως επικίνδυνες και δεν μπορούν να εκτελεστούν με την απαιτούμενη ακρίβεια και ευαισθησία προκειμένου να υπολογιστεί ο λόγος μετασχηματισμού. Επιπρόσθετα, μπορούν να εμφανιστούν σφάλματα που οφείλονται στη διαταραχή από τη πηγή της τάσης και όχι από τη φθορά των σπειρών.

Οι μετρήσεις τάσης είναι το κλειδί στον υπολογισμό του λόγου μετασχηματισμού αλλά πρέπει να εκτελείται από όργανο μέτρησης σχεδιασμένο με κάποια αναγκαία χαρακτηριστικά απόδοσης και ευαισθησίας.

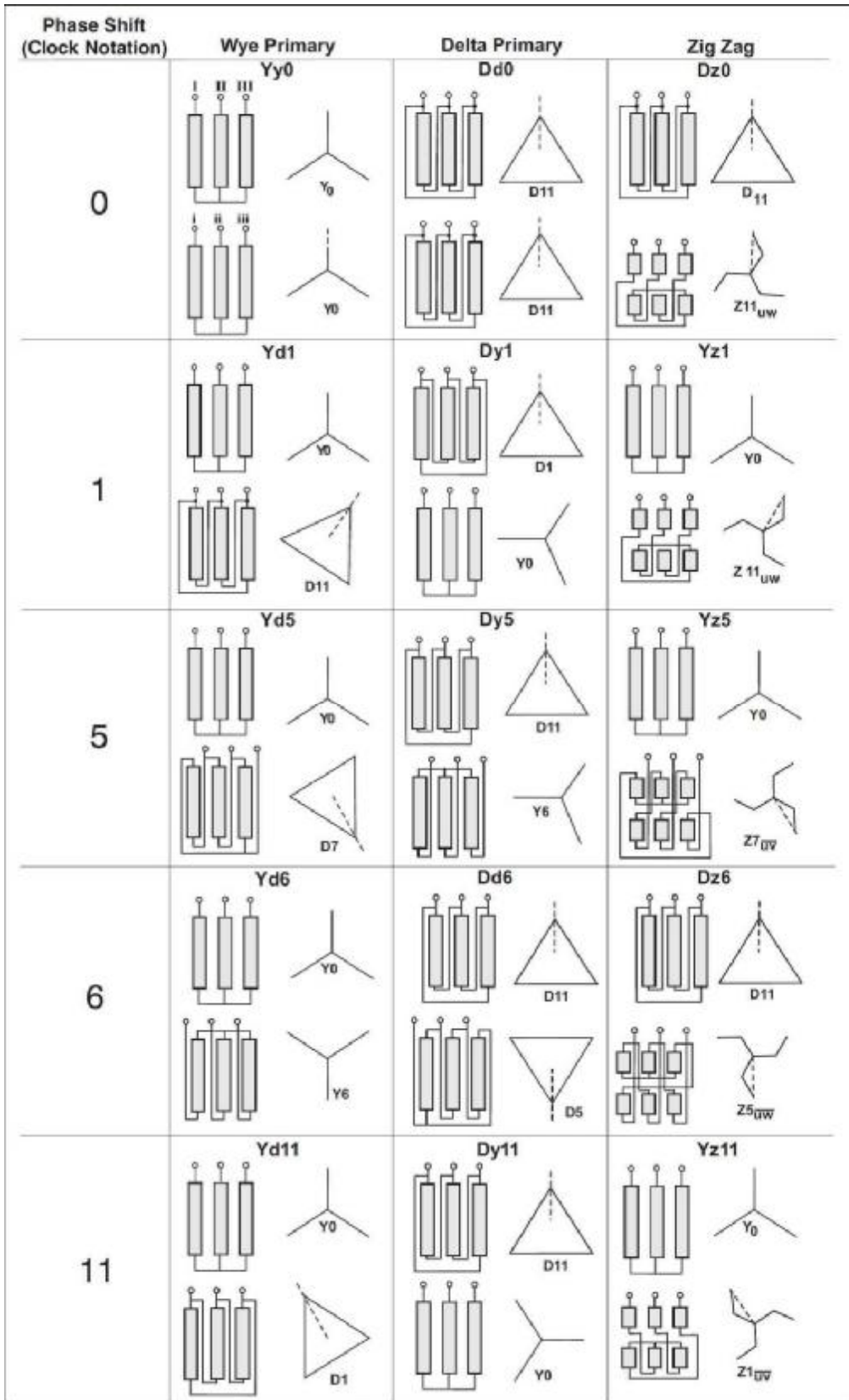
- Μέθοδος μετρητή λόγου

Για να υπάρχει η απαιτούμενη ακρίβεια είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται όργανο μέτρησης λόγου αντί των παραπάνω μεθόδων στις οποίες ο Μ/Σ ηλεκτρίζεται από παροχή χαμηλής τάσης και μετρώνται η υψηλή και χαμηλή τάση.

Ο μετρητής λόγου χρησιμοποιεί, για την λειτουργία του, κύκλωμα γέφυρας όπου οι τάσεις των τυλιγμάτων του υπό δοκιμή Μ/Σ ισορροπούν έναντι των τάσεων που αναπτύσσονται κατά μήκος των σταθερών και μεταβλητών αντιστάσεων του μετρητή λόγου. Έτσι, μέσω της ρύθμισης των διακριβωμένων μεταβλητών αντιστάσεων του μετρητή επέρχεται η μηδενική απόκλιση του γαλβανόμετρου και υπολογίζεται ο λόγος μετασχηματισμού του λόγου μέσω των αντιστάσεων του μετρητή. Με τη μέθοδο αυτή επιβεβαιώνεται η πολικότητα των τυλιγμάτων αφού αν οι συνδέσεις των τυλιγμάτων ήταν αντίστροφα τοποθετημένες δεν θα ήταν δυνατή η επίτευξη της μηδενικής ένδειξης .

Για τον έλεγχο ομάδα ζεύξης , ανάλογα με την συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του Μ/Σ, αυτός μπορεί να είναι συνδεδεμένος κατά αστέρα (Y), κατά τρίγωνο (D) και κατά τεθλασμένο αστέρα (Z). Οι ομάδες αυτές μπορούν να σχηματίσουν πολλαπλές συνδέσεις. Έτσι, ο αστέρας και το τρίγωνο έχουν από έξι παραλλαγές η καθεμιά της ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται τα τρία πηνία μεταξύ τους και με τους μονωτήρες διέλευσης ενώ ο τεθλασμένος αστέρας έχει 24 διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης των έξι υποπηνίων μεταξύ τους και των μονωτήρων διέλευσης του Μ/Σ.

Οι ομάδες συνδεσμολογίας και οι συμβολισμοί τους ορίζονται για τριφασικούς Μ/Σ στους οποίους μεταξύ των τυλιγμάτων της υψηλής και της χαμηλής τάσης υπάρχει γωνία φάσης που ποικίλει από 0 έως 360 μοίρες. Το διανυσματικό διάγραμμα του τυλίγματος υψηλής τάσεως σχεδιάζεται επί ενός χαρτιού με αρίθμηση ρολογιού, έτσι ώστε η κορυφή του διανύσματος 1U (ακροδέκτης τυλίγματος της 1ης φάσης της υψηλής τάσης) να πέσει επί του αριθμού 12. Το διανυσματικό διάγραμμα του τυλίγματος χαμηλής τάσεως τοποθετείται τώρα μετατοπισμένο φασικά, έτσι ώστε να προκύπτει από την διεύθυνση του διανύσματος 2U ο αριθμός της ομάδας συνδεσμολογίας Σε περίπτωση συνδεσμολογίας τεθλασμένου αστέρα, για τον συμβολισμό των ακροδεκτών, καθορίζεται πάντοτε το επόμενο τους μισό τύλιγμα.. Οι συνήθεις συνδεσμολογίες, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60076-1, απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα :

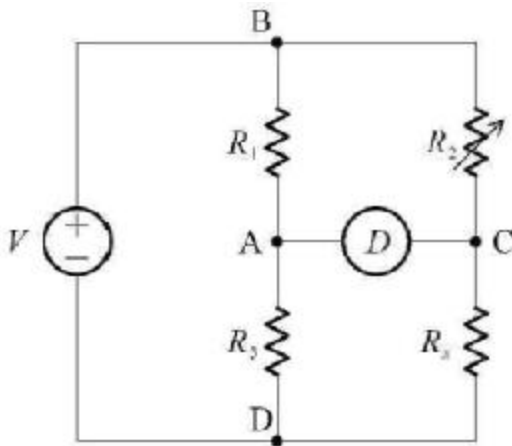


Σχήμα 6 : Συνδεσμολογίες

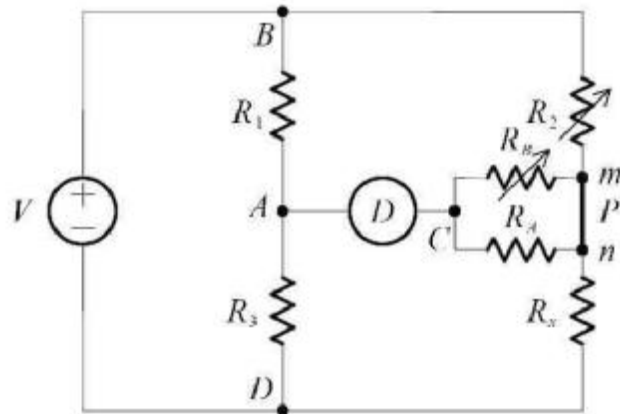
### 4.2.2.3 Μέτρηση αντίστασης τυλιγμάτων

Η αντίσταση ενός αγωγού μπορεί να υπολογιστεί διαιρώντας τη εφαρμοζόμενη στον αγωγό τάση με το ρεύμα που διαρρέει αυτόν. Αυτή η γενική αρχή χρησιμοποιείται για την μέτρηση των τυλιγμάτων του Μ/Σ. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι τέτοια μέτρηση αντίστασης προϋποθέτει συνθήκες σταθερής κατάστασης όπου το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό παραμένει σταθερό ενώ και η πτώση τάσης στα άκρα αυτού να παραμένει επίσης σταθερή. Και το παραπάνω πρέπει να ισχύει καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης. Αλλά είναι γνωστό ότι αν στη μέτρηση της αντίστασης υπάρχει συσχετισμός με κάποια επαγωγή ή χωρητικότητα τότε με την εφαρμογή τάσης και την ροή ρεύματος στον αγωγό δημιουργείται μία μεταβατική περίοδος. Ακριβείς μετρήσεις της αντίστασης δεν είναι δυνατές σε κύκλωμα RLC έως ότου η περίοδος της μετάβασης τελειώσει και οι συνθήκες σταθερής κατάστασης επικρατήσουν. Συνεπώς, για την μέτρηση της αντίστασης των τυλιγμάτων ενός Μ/Σ, όπου δηλαδή σημαντική επαγωγή συνδέεται με την αντίσταση, ειδικές τεχνικές και προφυλάξεις πρέπει να εφαρμοστούν ώστε να έχουμε ακριβείς μετρήσεις. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι :

- Με χρήση γέφυρας Kelvin ή Wheatstone



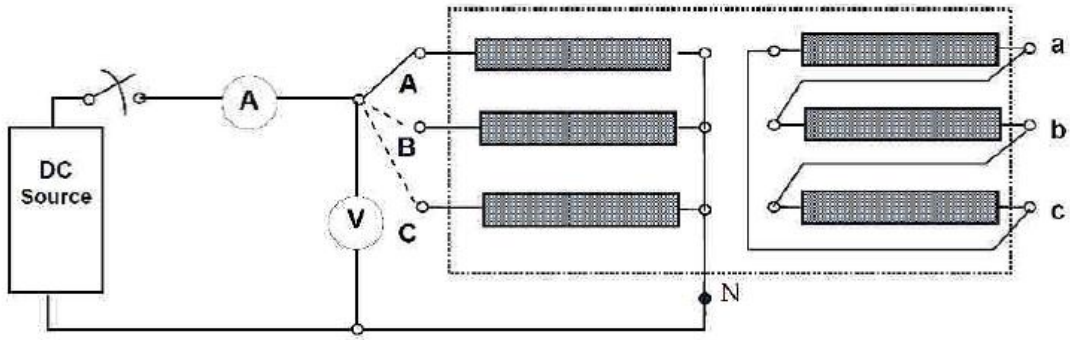
Σχήμα 7 : Γέφυρα Wheatstone



Σχήμα 8 : Γέφυρα Kelvin

Η μέθοδος μέτρησης της αντίστασης μέσω γέφυρας είναι μία από τις δύο μεθόδους που προτιμάται εξαιτίας της ακρίβειας και της ευκολίας της στη χρήση, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις αντιστάσεων μέχρι και 10.000 Ω. Ειδικότερα, για τιμές αντιστάσεων από 1Ω και μεγαλύτερες χρησιμοποιείται η γέφυρα Wheatstone, ενώ για τιμές μικρότερες από 1Ω χρησιμοποιείται γέφυρα Kelvin. Πιο σύγχρονες γέφυρες, πάντως, έχουν την ικανότητα μέτρησης και στις δύο κλίμακες. Αυτή η μέθοδος όμως πρέπει να χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου το ονομαστικό ρεύμα του τυλιγματος του Μ/Σ που θα μετρηθεί να είναι μικρότερο από 1Α.

- Με χρήση βολτόμετρου-αμπερομέτρου



Η μέθοδος βολτομέτρου-αμπερομέτρου κάποιες φορές είναι περισσότερη χρηστική απ' ό τι η μέθοδος της γέφυρας ενώ πρέπει να χρησιμοποιείται αν το ονομαστικό ρεύμα του τυλίγματος του Μ/Σ είναι μεγαλύτερο από 1Α. Για να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος θα πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

1. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με συνεχές ρεύμα, και με τις ενδείξεις του αμπερομέτρου και βολτομέτρου να καταγράφονται ταυτόχρονα. Κατόπιν, η αντίσταση υπολογίζεται βάσει των ενδείξεων με το νόμο του Ohm. Για ικανοποιητική λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή συνεχούς τάσης μία μπαταρία ή ένας ανορθωτής.
2. Για την ελαχιστοποίηση του λάθους παρατήρησης:
  - Τα μετρητικά όργανα πρέπει να διαθέτουν τέτοιες κλίμακες ώστε να εμφανίζουν τις λογικά μεγάλες αποκλίσεις.
  - Η πολικότητα της μαγνήτισης του πυρήνα να παραμείνει σταθερή σε όλη τη διάρκεια της καταγραφής των ενδείξεων.
3. Οι ακροδέκτες του βολτομέτρου πρέπει να είναι ανεξάρτητοι των ακροδεκτών του ρεύματος και πρέπει να είναι συνδεδεμένοι όσο το δυνατόν πιο κοντά στους ακροδέκτες του τυλίγματος του οποίου η αντίσταση πρόκειται να μετρηθεί.
4. Δεν θα γίνεται καταγραφή των ενδείξεων έως ότου το ρεύμα και η τάση φτάσουν σε τιμές σταθερής κατάστασης. Όταν μετράται η κρύα αντίσταση, πριν την εκτέλεση της δοκιμής ανύψωσης θερμοκρασίας, πρέπει να σημειώνεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε οι ενδείξεις να γίνουν σταθερές. Αυτή η χρονική περίοδος πρέπει να διέρχεται προτού καταγράψουμε την πρώτη ένδειξη, όταν πραγματοποιηθεί η τελική μέτρηση της θερμής αντίστασης.



5. Το ρεύμα που χρησιμοποιείται δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15% του ονομαστικού ρεύματος του τυλίγματος του οποίου η αντίσταση πρόκειται να μετρηθεί. Μεγαλύτερες τιμές ίσως προκαλέσουν σφάλμα με το να θερμανθεί το τύλιγμα και συνεπώς να μεταβάλλουν την θερμοκρασία και την αντίστασή του.

#### 4.2.2.4 Μέτρηση απωλειών σιδήρου και ρεύματος μαγνήτισης

Οι απώλειες του πυρήνα μεταβάλλονται με το βαθμό της επαγωγής του πυρήνα (πυκνότητα ροής). Επειδή η πυκνότητα μαγνητικής ροής είναι σε άμεση συνάρτηση με το πλάτος της τάσης διέγερσης, οι απώλειες σιδήρου είναι επίσης σε συνάρτηση με αυτή. Έτσι, μία μεταβολή 1% της τάσης προξενεί μία αντίστοιχη μεταβολή στις απώλειες πυρήνα της τάξης του 1% - 3%. Ενώ, το σχέδιο και υλικό που χρησιμοποιούνται για τον πυρήνα καθορίζουν το μέγεθος της μεταβολής των απωλειών. Συνεπώς, είναι σημαντικό να υπάρχει ακριβής μέτρηση του πλάτους της τάσης διέγερσης. 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



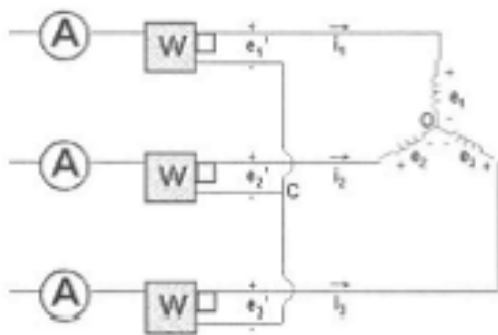
Εικόνα 15 : Δοκιμή μέτρησης απωλειών σιδήρου και ρεύματος μαγνήτισης

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.

Οι συνδέσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες:

- Τριών βαττομέτρων

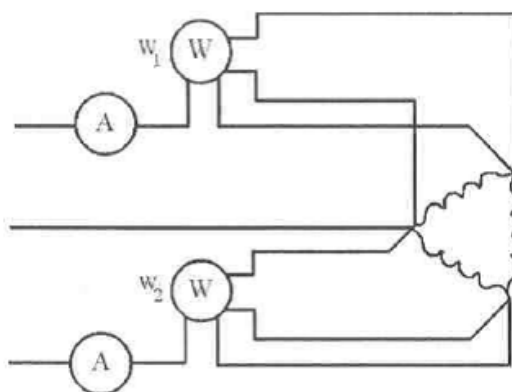
Ο αριθμός των απαιτούμενων βαττομέτρων και των συνδέσεων των πηνίων τάσης και έντασης καθορίζονται από το θεώρημα του Blondel. Το θεώρημα αυτό δηλώνει ότι για να μετρηθεί η συνολική ισχύς που παρέχεται μέσω  $N$  αγωγών, τότε απαιτούνται  $N$  βαττόμετρα με συνδέσεις όπως οι ακόλουθες. Το πηνίο ρεύματος κάθε βαττομέτρου συνδέεται σε μία γραμμή και το αντίστοιχο πηνίο τάσης συνδέεται μεταξύ αυτής της γραμμής και ενός κοινού σημείου. Η συνολική ισχύς υπολογίζεται από το άθροισμα των ενδείξεων των  $N$  βαττομέτρων. Το βασικό σχέδιο που χρησιμοποιείται είναι :



Σχήμα 9 : Σύνδεση 3 βαττομέτρων

- Δύο βαττομέτρων

Θεωρητικά, αν το κοινό σημείο (σημείο C του σχήματος) βρίσκεται σε μία από τις γραμμές τότε απαιτούνται μόνο  $N-1$  βαττόμετρα. Η αντίστοιχη συνδεσμολογία απεικονίζεται στο σχήμα :



Σχήμα 10 : Σύνδεση 2 βαττομέτρων

Αν και η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί στη πράξη, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση των απωλειών για τους ακόλουθους λόγους:

- Μία ασύμμετρη διανομή των απωλειών σιδήρου και του ρεύματος μαγνήτισης υπάρχει μεταξύ των φάσεων
  - Οι κυματομορφές της εφαρμοζόμενης τάσης και του ρεύματος μαγνήτισης της δοκιμής μέτρησης απωλειών παρουσιάζουν έμφυτες παραμορφώσεις
  - Οι Μ/Σ έχουν χαμηλό συντελεστή ισχύος όταν συνδέονται για την μέτρηση των απωλειών. Για παράδειγμα, με την μέθοδο των δύο βαττομέτρων, αν ο συντελεστής ισχύος των απωλειών που μετρώνται είναι μικρότερος από 50% (το οποίο είναι πολύ κοινό για μετρήσεις απωλειών σιδήρου), μία από τις ενδείξεις των δύο βαττομέτρων θα είναι αρνητική και τότε οι συνδέσεις του πρέπει να αντιστραφούν
- Βολτομέτρου

Η τάση δοκιμής που εφαρμόζεται στο βολτόμετρο πρέπει να είναι η ίδια με αυτή του υπό δοκιμή τυλίγματος. Αν η εφαρμοζόμενη στον Μ/Σ τάση περιέχει κατά την διάρκεια της δοκιμής αμελητέες αρμονικές, τότε τα βολτόμετρα μπορούν να συνδεθούν είτε κατά τρίγωνο είτε κατά αστέρα, οτιδήποτε είναι πιο βολικό. Αλλά όμως, αν η εφαρμοζόμενη τάση σημαντική ποσότητα αρμονικών, όπως κατά την διάρκεια της μέτρησης απωλειών σιδήρου, τότε πρέπει να δοθεί προσοχή στις συνδέσεις του βολτομέτρου ώστε οι απώλειες να μετρηθούν σωστά με βάση το ημιτονοειδές κύμα. Έτσι, οι σωστές συνδέσεις του βολτομέτρου εξαρτώνται από την σύνδεση των τυλιγμάτων του υπό δοκιμή Μ/Σ με τη κυματομορφή της εφαρμοζόμενης τάσης στα άκρα κάθε βολτόμετρου να είναι ίδια με τη κυματομορφή της τάσης στα άκρα κάθε ενεργοποιημένου τυλίγματος.

#### 4.2.2.5 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:

- Έστω 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.



#### 4.2.2.6 Δοκιμή λειτουργίας του μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο

Με τον μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο (OLTC) πλήρως συναρμολογημένο στον Μ/Σ θα εκτελεστούν οι ακόλουθες λειτουργίες:

- 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).
- Με τον Μ/Σ απενεργοποιημένο και τη βοηθητική τάση τροφοδοσίας στο 85% της ονομαστικής θα εκτελεσθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας.
- Με τον Μ/Σ ενεργοποιημένο χωρίς φορτίο, στην ονομαστική τάση και ονομαστική συχνότητα θα εκτελεσθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας.
- Με ένα τύλιγμα του Μ/Σ βραχυκυκλωμένο και με ονομαστικό ρεύμα στο υπό δοκιμή τύλιγμα, θα εκτελεστούν 10 λειτουργίες αλλαγής λήψεων κατά μήκος και σε εύρος 2 βημάτων προς κάθε πλευρά, με αφετηρία τη μεσαία λήψη.

Αφού ο μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο (OLTC) έχει πλήρως συναρμολογηθεί στον Μ/Σ, θα εκτελεσθεί δοκιμή αντοχής σε τάση συχνότητας δικτύου για τα βοηθητικά κυκλώματα .

#### 4.2.2.7 Διηλεκτρικές δοκιμές σειράς

##### 4.2.2.7.1 Δοκιμή εφαρμοζόμενης τάσης

Ο σκοπός της δοκιμής αυτής είναι η διαπίστωση της αντοχής των ακροδεκτών και των συνδεδεμένων τυλιγμάτων τους ως προς τη γη και ως προς τα άλλα τυλίγματα . Η δοκιμή αυτή πρέπει να πραγματοποιείται με την εφαρμογή μονοφασικής εναλλασσόμενης τάσης η οποία να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ημιτονοειδής κυματομορφή και συχνότητας όχι μικρότερη από το 80% της ονομαστικής συχνότητας.

Η δοκιμή πρέπει να αρχίζει σε τιμή τάσης όχι μεγαλύτερης από το ένα τρίτο της τάσης δοκιμής και η τάση πρέπει να αυξάνεται έως και την τιμή της δοκιμής τόσο γρήγορα όσο παραμένει αυτή συνεπής με τη μέτρηση. Στο τέλος της δοκιμής, η τάση πρέπει να μειώνεται τάχιστα σε τιμή μικρότερη από το ένα τρίτο της τιμής δοκιμής πριν την απενεργοποίηση.

Η πλήρης τάση δοκιμής πρέπει να εφαρμόζεται για 60 δευτερόλεπτα με όλους τους ακροδέκτες του υπό δοκιμή τυλιγματος συνδεδεμένους μαζί ενώ οι ακροδέκτες των άλλων τυλιγμάτων, ο πυρήνας, το σασί και η δεξαμενή του Μ/Σ να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους .

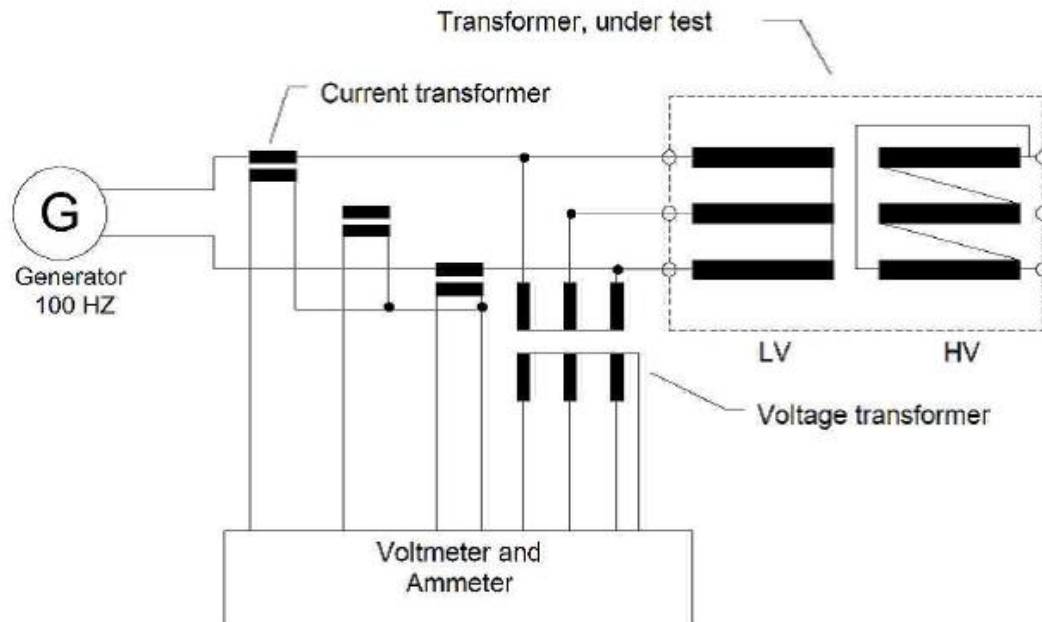
Η τάση δοκιμής εξαρτάται από την υψηλότερη τάση του εξοπλισμού  $U_m$  που συσχετίζεται με τα αντίστοιχα μονωτικά επίπεδα των τυλιγμάτων. Έτσι, ανάλογα με την τάση του εξοπλισμού  $U_m$  προκύπτει η καθορισμένη από τα πρότυπα τάση δοκιμής. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής αν δεν σημειωθεί κατάρρευση της τάσης δοκιμής ή αν δεν υπάρχουν άλλες ενδείξεις σφάλματος όπως καπνός, φυσαλίδες και βροντές ή δεν σημειωθεί ξαφνική αύξηση του ρεύματος του κυκλώματος δοκιμής.



Εικόνα 16: Συνδεσμολογία για την εκτέλεση της δοκιμής της εφαρμοζόμενης τάσης. Στη συγκεκριμένη εικόνα, ελέγχεται η αντοχή του τυλίγματος της μέσης τάσης (βραχυκυκλώνοντας τους τρεις ακροδέκτες αυτής και εφαρμόζοντας σε αυτούς τη τάση δοκιμής) με το τύλιγμα της χαμηλής τάσης και τα υπόλοιπα μεταλλικά μέρη (δεξαμενή, κάλυμμα) να είναι γειωμένα

#### 4.2.2.7.2 Δοκιμή επαγόμενης τάσης

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται με σκοπό την εξακρίβωση της μονωτικής αντοχής μεταξύ του υπό δοκιμή τυλίγματος και της γης, μεταξύ των τυλιγμάτων και μεταξύ των σπειρών. Κατά την διάρκεια της δοκιμής, η συμμετρική τριφασική τάση δοκιμής εφαρμόζεται στο τύλιγμα της χαμηλής τάσης ενώ συγχρόνως το άλλο τύλιγμα πρέπει να παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο και τα μεταλλικά μέρη (δεξαμενή) γειωμένα.



Σχήμα 11 : Κύκλωμα δοκιμής επαγόμενης τάσης

Επειδή η τάση δοκιμής είναι αρκετά μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση του Μ/Σ, η τιμή της συχνότητας δοκιμής πρέπει να είναι επαρκώς μεγαλύτερη της ονομαστικής συχνότητας έτσι ώστε να αποφευχθεί το υπερβολικό ρεύμα μαγνήτισης κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Η τιμή της τάσης δοκιμής επιλέγεται ανάλογα της τιμής  $U_m$  του τυλίγματος με την υψηλότερη τάση λειτουργίας.

Ο χρόνος δοκιμής της εφαρμογής της τάσης δοκιμής πρέπει να είναι 60 δευτερόλεπτα για τις συχνότητες δοκιμής έως και την διπλάσια της ονομαστικής συχνότητας. Όταν η τιμή της συχνότητας δοκιμής υπερβαίνει την διπλάσια τιμή της ονομαστικής συχνότητας, ο χρόνος της δοκιμής σε δευτερόλεπτα δίνεται από τον τύπο:

$$120 \times \frac{\text{Ονομαστική συχνότητα}}{\text{Συχνότητα δοκιμής}} \quad \text{αλλά όχι λιγότερο από 15 δευτερόλεπτα}$$

Οι δοκιμές της επαγόμενης τάσης ταξινομούνται ως μικρής διάρκειας (ACSD) ή μακράς διάρκειας (ACLD) αλλά και ανάλογα με το αν η τάση λειτουργίας είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από 72,5 kV. Έτσι, οι δοκιμές της επαγόμενης τάσης μπορούν να θεωρηθούν ή δοκιμές σειράς ή δοκιμές τύπου ή ειδικές δοκιμές και συνεπώς εκτελούνται ανάλογα. Επίσης, για Μ/Σ με τάση λειτουργίας μικρότερη από 72,5kV, η μέτρηση των μερικών εκκενώσεων δεν είναι υποχρεωτική ενώ για Μ/Σ με τάση λειτουργίας μεγαλύτερη από 72,5kV, η μέτρηση των μερικών εκκενώσεων κατά τη διάρκεια των δοκιμών επαγόμενης τάσης είναι υποχρεωτική και η οποία μέτρηση μπορεί να δείξει ενδεχόμενο ελάττωμα της μόνωσης προτού πραγματοποιηθεί σε αυτή κάποια διάσπαση.



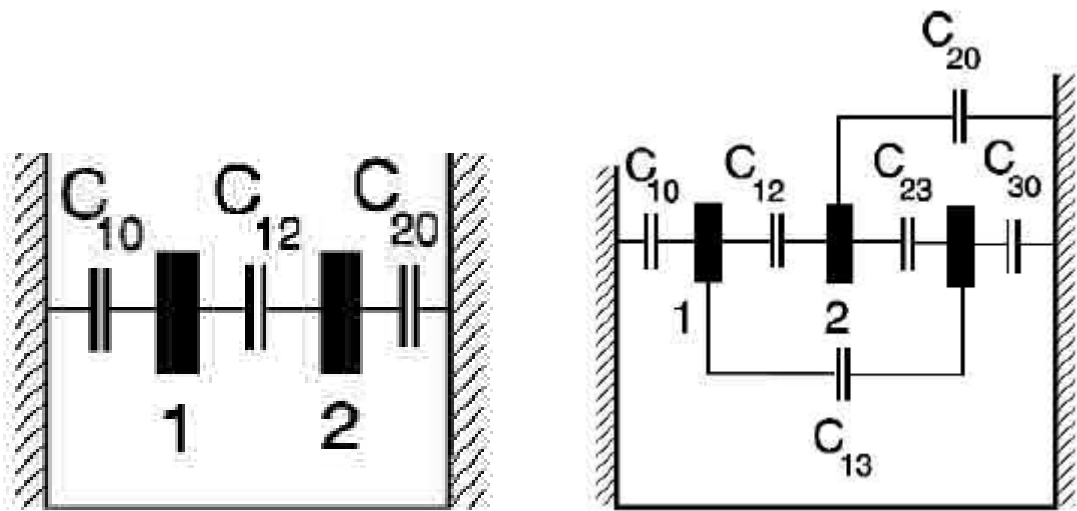
Εικόνα 17 : Συνδεσμολογία εκτέλεσης της δοκιμής επαγόμενης τάσης. Η εφαρμογή της τάσης δοκιμής πραγματοποιείται από τη πλευρά της χαμηλής τάσης και με τους ακροδέκτες της μέσης τάσης να παραμένουν ανοιχτοκυκλωμένοι (στη συγκεκριμένη εικόνα οι ακροδέκτες μιας σειράς Μ/Σ είναι βραχυκυκλωμένοι ανά φάση ώστε την ίδια χρονική περίοδο να δοκιμάζονται συγχρόνως περισσότεροι Μ/Σ)

### **4.2.3 Ειδικές Δοκιμές**

#### **4.2.3.1 Προσδιορισμός των χωρητικότητων μεταξύ τυλιγμάτων-γη και μεταξύ τυλιγμάτων**

Ο σκοπός αυτής της μέτρησης είναι ο καθορισμός των χωρητικότητων μεταξύ των τυλιγμάτων και των γειωμένων μερών και μεταξύ των διαφορετικών τυλιγμάτων του Μ/Σ. Η γνώση των τιμών της χωρητικότητας απαιτείται για τον σχεδιασμό της προστασίας του Μ/Σ από τις υπερτάσεις και για τον υπολογισμό της επίδρασης στον Μ/Σ των υπερτάσεων. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα των μετρήσεων χρησιμοποιούνται από τον κατασκευαστή για σκοπούς που σχετίζονται με τον σχεδιασμό του Μ/Σ.

Όλοι οι ακροδέκτες του κάθε τυλιγματος συνδέονται μεταξύ τους κατά την διάρκεια της μέτρησης. Οι χωρητικότητες των τυλιγμάτων των Μ/Σ με δύο και με τρία τυλιγματα απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα . Επειδή οι μερικές χωρητικότητες του σχήματος δεν μπορούν να μετρηθούν ξεχωριστά, οι τιμές των προκυπτουσών χωρητικότητων (K), οι οποίες λαμβάνονται από τον συνδυασμό των μερικών χωρητικότητων, μετρώνται και οι απαιτούμενες μερικές χωρητικότητες υπολογίζονται από τις μετρούμενες τιμές. Η μέτρηση πραγματοποιείται μέσω γέφυρας χωρητικότητων.



Σχήμα 12 : Χωρητικότητες Μ/Σ με δύο τυλίγματα και με τρία τυλίγματα

Ένας Μ/Σ δύο τυλιγμάτων μετράται ως εξής:

- Η χωρητικότητα  $K_{10}$  μεταξύ γης και τυλίγματος Νο 1 μετράται, με το τυλίγμα Νο 2 να είναι γειωμένο.

$$K_{10} = C_{10} + C_{12} \quad (1)$$

- Η χωρητικότητα  $K_{20}$  μεταξύ γης και τυλίγματος Νο 2 μετράται, με το τυλίγμα Νο 1 να είναι γειωμένο.

$$K_{20} = C_{20} + C_{12} \quad (2)$$

- Η χωρητικότητα  $K_{12}$  από τα διασυνδεδεμένα τυλίγματα Νο 1 και Νο 2 προς της γη μετράται

$$K_{12} = C_{10} + C_{20} \quad (3)$$

Οι μερικές χωρητικότητες  $C_{10}$ ,  $C_{12}$  και  $C_{20}$  υπολογίζονται με τη λύση των εξισώσεων (1), (2) και (3). Για Μ/Σ με τρία ή περισσότερα τυλίγματα χρησιμοποιείται μία παρόμοια μέθοδος. Ο αριθμός  $n_k$  των μερικών χωρητικοτήτων (και συνδυασμοί των μετρήσεων) είναι:

$$n_k = n(n+1)/2$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των τυλιγμάτων

Οι μερικές χωρητικότητες δίνονται ανά φάση, συνεπώς οι τριφασικές τιμές χωρητικότητας που λαμβάνονται από τη μέτρηση διαιρούνται με το 3

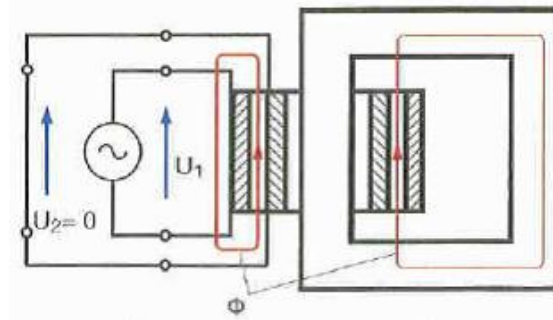
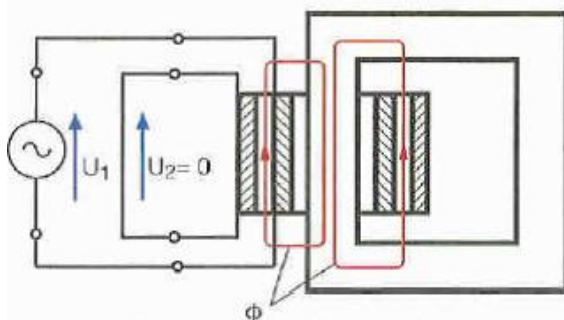


#### 4.2.3.2 Δοκιμή βραχυκυκλώματος

Με τη δοκιμή βραχυκυκλώματος αποδεικνύεται ότι ο ελεγχόμενος μετασχηματιστής αλλά και οι Μ/Σ του ίδιου τύπου και σχεδιασμού θα αντέξουν ενδεχόμενα βραχυκυκλώματα που θα προκληθούν από βλάβες του δικτύου. Οι Μ/Σ πρέπει να είναι ανθεκτικοί στο θερμικό και δυναμικό αποτέλεσμα του βραχυκυκλώματος. Η θερμική αντοχή στο βραχυκύκλωμα αποδεικνύεται υπολογιστικά ενώ η μηχανική αντοχή πρέπει να αποδειχθεί με δοκιμή. Έτσι, ο κύριος σκοπός της δοκιμής αυτής είναι το να επαληθεύσει την αντοχή του Μ/Σ στις επιβαρύνσεις, κυρίως μηχανικές, που αναπτύσσονται όταν ρεύμα βραχυκυκλώματος διαρρέει τον Μ/Σ.

Βασικά, υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνικές για την πραγματοποίηση της δοκιμής βραχυκυκλώματος:

- με ένα ήδη εδραιωμένο ρεύμα βραχυκύκλωσης
- με ένα μεταγενέστερο ρεύμα βραχυκύκλωσης



Σχήμα 13 : Εσωτερικά βραχυκυκλωμένος      Σχήμα 14:Εξωτερικά βραχυκυκλωμένος

Η 1<sup>η</sup> μέθοδος περιλαμβάνει το κλείσιμο ενός διακόπτη των ακροδεκτών της πηγής για την ηλέκτριση του βραχυκυκλωμένου μετασχηματιστή. Αυτό σημαίνει ότι το δευτερεύον τύλιγμα βραχυκυκλώνεται προκαταβολικά και τροφοδοτείται το πρωτεύον. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί αρκετά καλά αν το δευτερεύον τύλιγμα είναι ένα εσωτερικό τύλιγμα ενός ομοκεντρικού πηνίου ενός Μ/Σ τύπου πυρήνα. Η μαγνητική ροή του πυρήνα θα είναι αρκετά χαμηλή, επειδή το πλησιέστερο τύλιγμα είναι βραχυκυκλωμένο και δεν θα επέλθει καμιά αλλαγή στη ροή .

Στην αντίθετη περίπτωση, όπου το πρωτεύον τύλιγμα είναι πιο κοντά στον πυρήνα και το βραχυκυκλωμένο τύλιγμα είναι από την εξωτερική πλευρά, η διαδρομή της ροής είναι εσωτερική . Τότε, θα υπάρξει σημαντική ποσότητα μεταβατικού ρεύματος, το οποίο απαιτείται για την μαγνήτιση του πυρήνα, που θα διαρρέει το πρωτεύον τύλιγμα και θα προστίθεται στο ρεύμα βραχυκυκλώματος. Η κατάσταση αυτή, οδηγεί στη μη-ισορροπία μεταξύ των μαγνητεγερτικών δυνάμεων των δύο τυλιγμάτων καθώς και στην αύξηση των εσωτερικών δυναμικών επιβαρύνσεων.

Η 2<sup>η</sup> μέθοδος περιλαμβάνει το κλείσιμο ενός διακόπτη σε ένα ακροδέκτη υπό σφάλμα για την εφαρμογή του βραχυκυκλώματος στον ενεργοποιημένο από πριν Μ/Σ. Με την υιοθέτηση αυτής της μεθόδου, η δυσκολία της ανεξέλεγκτης μαγνήτισης του πυρήνα παύει να υπάρχει. Έτσι, αρχικά εφαρμόζεται στον Μ/Σ η ονομαστική τάση χωρίς φορτίο και κατόπιν βραχυκυκλώνεται σε προκαθορισμένη γωνία φάσης.

Η 2<sup>η</sup> μέθοδος πρέπει να προτιμάται όσο το δυνατόν περισσότερο, επειδή αντιπροσωπεύει καλύτερα τις τυπικές συνθήκες κατά την διάρκεια των σφαλμάτων. Αν η σύνθετη αντίσταση της πηγής τροφοδοσίας δεν είναι αμελητέα συγκρινόμενη με αυτή του Μ/Σ, τότε η εφαρμοζόμενη εν κενώ τάση πριν το βραχυκύκλωμα πρέπει να αυξηθεί κατά ορισμένη ποσότητα σε σχέση με την ονομαστική τάση. Ο σκοπός είναι να διατηρηθεί η ονομαστική τάση στους ακροδέκτες του τυλίγματος τη χρονική στιγμή που πραγματοποιείται το βραχυκύκλωμα παρά τη πτώση τάσης που θα συμβεί στο σύστημα τροφοδοσίας και να εδραιωθεί η προκαθορισμένη τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος.

#### 4.2.3.3 Μέτρηση αντίστασης μηδενικής ακολουθίας

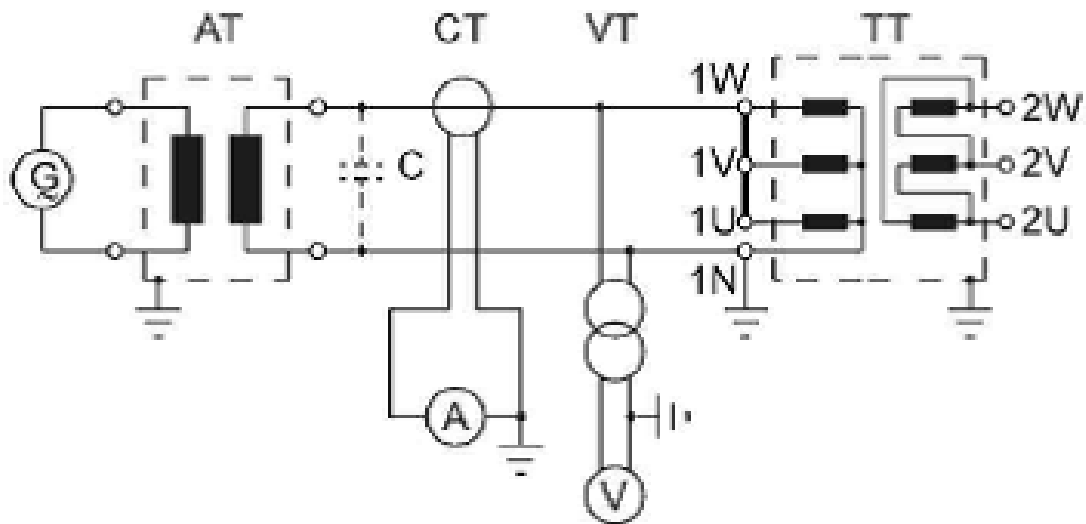
Η τεχνική για τον υπολογισμό των συνθηκών του σφαλμάτων του συστήματος απαιτεί όχι μόνο την γνώση των συμμετρικών συνιστωσών αλλά και τις αντιστάσεις φασικής ακολουθίας των Μ/Σ.

Όπως είναι γνωστό, κάθε διαδικασία υπολογισμού ενός συμμετρικού τριφασικού συστήματος (ρεύματα, τάσεις κτλ.) μπορεί να αναλυθεί για μία φάση μόνο μιας και οι τιμές των άλλων φάσεων είναι απλά μετατοπισμένες κατά 120° και έχουν το ίδιο πλάτος. Αυτό ισχύει επίσης και για ένα τριφασικό βραχυκύκλωμα. Αλλά για ένα ασύμμετρο τριφασικό σύστημα, που μπορεί να προκύψει εξαιτίας π.χ. ενός μονοφασικού προς τη γη σφάλματος, κάθε φάση πρέπει να θεωρηθεί και να υπολογιστεί ξεχωριστά επειδή οι σύνθετες αντιστάσεις διαφέρουν από αυτές του συμμετρικού δικτύου. Έτσι, οποιοδήποτε τριφασικό σύστημα με ασύμμετρες φάσεις μπορεί να μετατραπεί σε τρία τριφασικά συστήματα :

- Ευθύ σύστημα (θετικής ακολουθίας)
- Αντίστροφο σύστημα (αρνητικής ακολουθίας)
- Ομοπολικό σύστημα (μηδενικής ακολουθίας)

Για τη σχεδίαση των κυκλωμάτων ακολουθίας είναι απαραίτητη η γνώση των αντιστάσεων ακολουθίας όλων των συνιστώντων μερών του συστήματος, δηλαδή και των Μ/Σ. Αντιστάσεις ακολουθίας είναι οι αντιστάσεις με τις οποίες αντιδρά το τριφασικό κύκλωμα στο αντίστοιχο σύστημα συμμετρικών συνιστωσών τάσεων ή ρευμάτων.

Το γενικό κύκλωμα μέτρησης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ομοπολική μαγνητική ροή ίσως προκαλέσει υπερβολική θέρμανση στα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ όπως την δεξιαμενή και το καπάκι. Γι' αυτό το λόγο, το ρεύμα μέτρησης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 30% του ονομαστικού ρεύματος. Ρεύματα έως την ονομαστική τιμή αυτού επιτρέπονται για πολύ μικρή περίοδο του χρόνου (μερικά δευτερόλεπτα). Επίσης, η εφαρμοζόμενη τάση δεν πρέπει να υπερβεί τη φασική τάση που εμφανίζεται κατά την διάρκεια της ομαλής λειτουργίας.



Σχήμα 15 : Κύκλωμα μέτρησης ομοπολικής αντίστασης

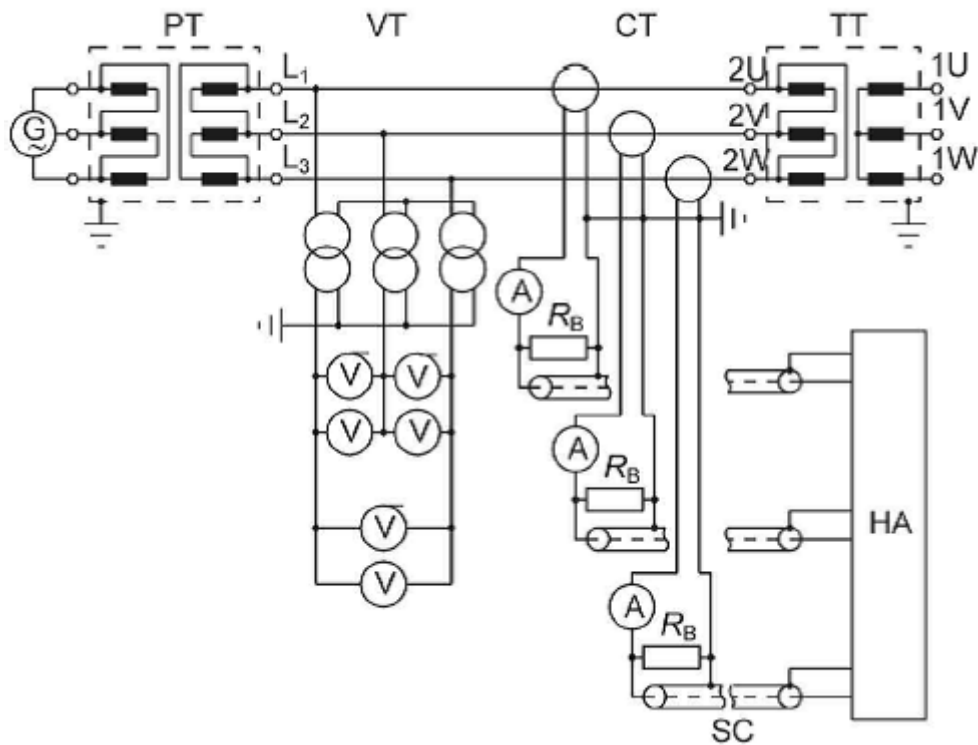
- Όπου G : Τάση πηγής (μονοφασική)  
 C : Συστοιχία από πυκνωτές  
 CT : Μετασχηματιστής ρεύματος  
 VT : Μετασχηματιστής τάσης  
 TT : Μετασχηματιστής υπό δοκιμή

#### 4.2.3.4 Μέτρηση αρμονικών του ρεύματος μαγνήτισης

Οι αρμονικές βιομηχανικής συχνότητας υπάρχουν στο σύστημα διανομής εξαιτίας της επικράτησης των μη-γραμμικών φορτίων. Είναι επίσης γνωστό ότι το ρεύμα μαγνήτισης των Μ/Σ περιέχει αρκετές αρμονικές. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μη- γραμμικής σχέσης μεταξύ της πυκνότητας της ροής και της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο πυρήνα του Μ/Σ. Αλλά, και άλλοι παράγοντες όπως η μέθοδος του στοιβάγματος, το υλικό του πυρήνα και η μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα ροής επηρεάζουν το περιεχόμενο των αρμονικών στο ρεύμα μαγνήτισης.

Το κύκλωμα μέτρησης είναι ακριβώς το ίδιο με εκείνο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των απωλειών σιδήρου και του ρεύματος μαγνήτισης αλλά στη συγκεκριμένη δοκιμή χρησιμοποιείται επιπρόσθετα και ένας ενεργειακός αναλυτής.





Σχήμα 16 : Κύκλωμα μέτρησης των αρμονικών του ρεύματος μαγνήτισης

- Όπου
- G : Γεννήτρια
  - PT : Μετασχηματιστής δοκιμής
  - VT : Μετασχηματιστής τάσης
  - CT : Μετασχηματιστής ρεύματος
  - V : Βολτόμετρα
  - A : Αμπερόμετρα
  - TT : Μετασχηματιστής υπό δοκιμή
  - $R_B$  : Αντίσταση μέτρησης
  - HA : Αναλυτής αρμονικών
  - SC : Προστατευμένη σύνδεση

Το πρόβλημα της παραμόρφωσης της τάσης είναι πολύ σημαντικό για τη δοκιμή αυτή. Οι αρμονικές πρέπει να αναλυθούν με την εφαρμογή ημιτονοειδούς τάσης. Έτσι, είναι σημαντικό να επιλεγούν οι κατάλληλες συνδέσεις της γεννήτριας και του Μ/Σ προσαρμογής ώστε ο εξοπλισμός αυτός να παρουσιάζει γραμμικά μαγνητικά χαρακτηριστικά.

Η τάση που απαιτείται για τη δοκιμή ρυθμίζεται με τη χρήση ενός βολτομέτρου μέτρησης της μέσης τάσης. Συνήθως, εκτελούνται μετρήσεις στο 90%, 100% και 110% της ονομαστικής τάσης. Η τάση αυξάνεται σταδιακά από το μηδέν στη τελική τάση. Η άμεση ζεύξη θα δημιουργούσε μεταβατικά φαινόμενα συμπεριλαμβανομένων και DC συνιστωσών. Αυτές οι DC συνιστώσες θα προκαλούσαν το κορεσμό του πυρήνα του Μ/Σ τάσης και θα αύξαναν την αβεβαιότητα της μέτρησης. Για τον ίδιο λόγο, η τάση δοκιμής πρέπει να μειώνεται σταδιακά αντί της άμεσης απόζευξης.

#### 4.2.3.5 Μέτρηση αντίστασης μόνωσης των τυλιγμάτων ως προς γη

Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με σκοπό τον καθορισμό της αντίστασης της μόνωσης μεταξύ του τυλίγματος προς τη γη ή μεταξύ των τυλιγμάτων. Η γνώση της αντίστασης είναι χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της κατάστασης της μόνωσης του Μ/Σ.

Η μονάδα μέτρησης της αντίστασης της μόνωσης είναι τα ΜΩ. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεταβολές στην τιμή της αντίστασης μόνωσης μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες, όπως: το σχέδιο, η θερμοκρασία, η ξηρότητα και η καθαρότητα των μερών και ειδικότερα των μονωτήρων διέλευσης. Αν η αντίσταση μόνωσης υποχωρήσει κάτω από συγκεκριμένα όρια, συχνά μπορεί να επανέλθει στην απαιτούμενη τιμή με την διαδικασία του καθαρισμού και της ξήρασης. Οι τιμές της αντίστασης μόνωσης μεταβάλλονται με την εφαρμοζόμενη τάση. Έτσι, οποιεσδήποτε συγκρίσεις μετρήσεων πρέπει να πραγματοποιούνται στην ίδια τάση.

### **5.Είδη συντήρησης**

#### 5.1 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

#### 5.2 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 χρήμα. 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 ενδιαμέσο 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 αντίστοιχο κόστος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Σκοπός της Εργασίας

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 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 εναπομένουσας 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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Συντήρηση του Μ/Σ

Ενώ οι μετασχηματιστές είναι σε λειτουργία για πολλά συνεχόμενα έτη , μπορεί να υποβάλλονται σε διάφορες ηλεκτρικές και μηχανικές καταπονήσεις . Αυτές οι καταπονήσεις μπορούν να επηρεάσουν τον πυρήνα και τις περιελίξεις ,τους μονωτήρες ,τους αγωγούς μεταφοράς, και τα διάφορα εξαρτήματα του μετασχηματιστή. Μεταβατικά φαινόμενα από εργασίες μεταγωγής , ηλεκτρικές εκκενώσεις , απορρίψεις φορτίου , και διάφορες άλλες αιτίες μπορεί να επηρεάσουν την κατάσταση του εξοπλισμού .

Αν και στο σχεδιασμό των μετασχηματιστών λαμβάνονται υπόψη αυτά τα φαινόμενα και η προστασία τους έχει βελτιωθεί , αυτά τα φαινόμενα μπορεί να συμβούν και ηλεκτρικές και μηχανικές καταπονήσεις σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναπόφευκτες .Έτσι, κατάλληλοι χειρισμοί , επιθεωρήσεις και συντήρηση είναι απαραίτητα για τους μετασχηματιστές .

Περιοδική επιθεώρηση και συντήρηση των μετασχηματιστών και των εξαρτημάτων τους μπορούν να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα για να αποφευχθούν περαιτέρω επιπλοκές . Η σωστή συντήρηση είναι ο βασικός παράγοντας για μεγάλη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή και των εξαρτημάτων του .

### 1. Στρεσογόνοι Παράγοντες

Μερικά σημαντικά στοιχεία ή στρεσογόνοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση του μετασχηματιστή είναι:

- Η θερμοκρασία και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες
  - Παράμετροι λειτουργίας (όπως η τάση και το ρεύμα)
  - Κίνηση βοηθητικού εξοπλισμού
  - Δόνηση
- 
- **Θερμοκρασία και Ατμοσφαιρικές Συνθήκες**

Υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας (λόγω φορτίων) και θερμοκρασίες περιβάλλοντος επηρεάζουν τη συνολική κατάσταση του μετασχηματιστή. κανονικές συνθήκες λειτουργίας και θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχουν ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό και την κατασκευή, αλλά μη φυσιολογικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν σταδιακή επιδείνωση των εσωτερικών στοιχείων του μετασχηματιστή

και των εξωτερικών βοηθητικών στοιχείων του. Θερμοκρασίες υψηλότερες από εκείνες που συνιστώνται από τον κατασκευαστή και το IEEE Std. C57.91-1995 θα μπορούσαν να επιταχύνουν την επιδείνωση του μονωτικού υγρού και να θέσουν σε κίνδυνο την αναμενόμενη διάρκεια ζωής των μετασχηματιστών.

- **Παράμετροι Λειτουργίας και Μεταβατικά Φαινόμενα**

Τα φυσιολογικά επίπεδα λειτουργίας ανάλογα με την κατηγορία του μετασχηματιστή έχουν μικρή ή καμία επίδραση στο μετασχηματιστή. Αλλά μερικές φορές οι μετασχηματιστές υπόκεινται σε μεταβατικά φαινόμενα. Τα μεταβατικά φαινόμενα είναι μη φυσιολογικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα υπερτάσεις, αιχμές ρεύματος και λανθασμένες διακοπές που μπορεί να οδηγήσουν σε σταδιακή επιδείνωση και πιθανή άμεση αποτυχία, ανάλογα με το μέγεθός τους. μεταβατικά φαινόμενα υπερτάσεων ή αιχμές (όπως κεραυνοί) προκαλούν κατάρρευση της μόνωσης ή ανάφλεξη μονωτήρων. Η κατάρρευση μόνωσης συμβαίνει στο τύλιγμα (στερεό) μόνωσης και / ή στο υγρό μόνωσης. Σοβαρές περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν χαλάρωση πυρήνα ή / και εξάρθρωση.

- **Κίνηση Βοηθητικού Εξοπλισμού**

Βοηθητικά όπως οι ανεμιστήρες και οι αντλίες που υπόκεινται σε συχνή κίνηση απαιτούν συχνή συντήρηση και είτε μερική ή ολική αντικατάσταση. Οι συχνές χρήσεις, ο ανεπαρκής σχεδιασμός, οι συνθήκες του περιβάλλοντος, μηχανικές και δονητικές πιέσεις προκαλούν φθορά και αποτυχίες.

- **Δόνηση**

Το "βουητό" ac του πυρήνα και των τυλιγμάτων παράγουν δονήσεις και θόρυβο, ανάλογα με το πώς ο μετασχηματιστής έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί. Επιπλέον, ο βοηθητικός εξοπλισμός παράγει τις δίκτες του δονήσεις και το θόρυβο, ανάλογα με το πώς έχει κατασκευαστεί και πώς είναι τοποθετημένος στο μετασχηματιστή. Υψηλές δονήσεις σε μια μονάδα μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε διάβρωση λόγω τριβής και φθορά της στερεάς μόνωσης. Εάν ένα αποξεστικό σημείο επαφής υπάρχει σε κάποιο σημείο σε έναν αγωγό ή κάποιο άλλο ελάττωμα κατασκευής, τότε το αποτέλεσμα της διάβρωσης από τις υψηλές δονήσεις επιταχύνεται. Όπως αυτή η κατάσταση διάβρωσης εξελίσσεται, η τοπική μόνωση επιδεινώνεται σε ένα σημείο όπου μπορεί να αναπτυχθεί βραχυκύκλωμα.

## 2. Συνιστούμενες Δοκιμές Συντήρησης , Συντήρηση ρουτίνας , Επιθεωρήσεις και η συχνότητα εκτέλεσής τους

Οι προτεινόμενες δοκιμές συντήρησης ( εκτίμησης της κατάστασης ) που εκτελούνται και η συχνότητα εκτέλεσής τους δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τις απαιτήσεις που αναφέρονται στο σχετικό εγχειρίδιο οδηγιών του κατασκευαστή. Οι συνιστώμενες συχνότητες εκτέλεση έργων συντήρησης που περιέχονται στην έκθεση αυτή πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις συστάσεις που παρέχονται στα αντίστοιχα εγχειρίδια οδηγιών κατασκευαστή. Οι συχνότητες συντήρησης που παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα είναι τα ελάχιστα συνιστώμενα χρονικά διαστήματα και θα πρέπει να τροποποιούνται με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών εκτίμησης της κατάστασης και την πραγματική εμπειρία με τους συγκεκριμένους τύπους μετασχηματιστών. Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο ( on line monitoring ) μπορεί επίσης να είναι αποτελεσματική στη μείωση του ποσού συντήρησης που εκτελούνται στα συνιστώμενα χρονικά διαστήματα.

ΕΙΔΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
<b>Δοκιμές εκτίμησης της κατάστασης</b>	
Διηλεκτρική αντοχή και ποσοστό υγρασίας ελαίου	6 μήνες-1 έτος
Επιφανειακή τάση οξύτητα ελαίου	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
<b>Συντήρηση ρουτίνας</b>	
Τυπικός εξωτερικός έλεγχος	3 μήνες
Καθάρισμα μονωτήρων διέλευσης	2-4 έτη (καθορίζεται από οπτικό έλεγχο)
Εναλλάκτης θερμότητας	1-2 έτη
Καλιμπράρισμα ενδεικτικών οργάνων και ηλεκτρονόμων	5 έτη
Δοκιμές λειτουργίας	5 έτη
Μεταγωγέας λήψεων tap changer	2-4 έτη

### **3. Πρόγραμμα παρακολούθησης και προληπτική συντήρηση**

Προληπτική συντήρηση είναι μια συνεχής ή περιοδική παρακολούθηση και τη διάγνωση του εξοπλισμού και των εξαρτημάτων , χρησιμοποιώντας τις δοκιμές που περιγράφονται στην προηγούμενη ενότητα , για την πρόληψη βλαβών του εξοπλισμού .

Τα αποτελέσματα της παρακολούθησης της κατάστασης χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την καταγραφή της απόδοσης του εξοπλισμού , έτσι ώστε προγραμματισμένη συντήρηση να μπορεί να πραγματοποιηθεί ή ο εξοπλισμός να αντικατασταθεί πριν καταστραφεί.

Τα παρακάτω είναι τα στοιχεία που θα πρέπει να ελέγχονται σε συντήρηση ρουτίνας:

#### **3.1 Μετασηματιστής ( γενικά)**

- Γενική εμφάνιση του μετασηματιστή και σχετικών συστημάτων του (διαφύλαξη, καθαρισμός)
- Σημάδια θερμών σημείων στην επιφάνεια της δεξαμενής ή στους αγωγούς μεταφοράς
- Σημάδια μεταλλικών ρωγμών ή αδύναμων μεταλλικών κατασκευών ή διαρροές στις συγκολλημένες ραφές στην κύρια δεξαμενή ή γύρω από τα ενισχυτικά στηρίγματα
- Χαλαρά προσαρτημένα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σφάλματα ή και βραχυκύκλωμα
- Ενδείξεις διαρροής ελαίου μεταξύ του κιβωτίου του οργάνου μετασηματιστή έντασης CT και τους αγωγούς του πίνακα ελέγχου

#### **3.2 Πίνακας ελέγχου Μετασηματιστή**

- Σωστό κλείσιμο και μανδάλωση της πόρτας του πίνακα ελέγχου
- Τα λάστιχα της πόρτας (τσιμούχες) χωρίς σκασίματα , σκισίματα , κοψίματα και στερεωμένα με ασφάλεια
- Εξωτερική και εσωτερική εμφάνιση του πίνακα ( συντήρηση , καθαριότητα )
- Ο εσωτερικός φωτισμός λειτουργεί σωστά
- Η σωστή στεγανοποίηση όλων των εισερχόμενων καλωδίων και αγωγών
- Ενδείξεις διαρροών νερού ( διάβρωση , λεκέδες )



- Ξεφτισμένη ή ελλειπής μόνωση , χαλαρά ή αποσυνδεδεμένα καλώδια
- Έλεγχο για ενδείξεις υπερθέρμανσης και αποχρωματισμό σε κάθε τερματικό σημείο

### 3.3 Σύστημα Ψύξης Μετασχηματιστή

- Σώματα
  - Θερμογραφία να υποδείξει την κατάλληλη ψύξη
  - Δίοδοι αέρα ελεύθεροι από βρωμιά και ξένα υλικά
  - Σωστή ροή αέρα όταν οι ανεμιστήρες είναι σε λειτουργία
  - Παρουσία ενός φιλμ λαδιού στις σωληνώσεις του ψυγείου
  - Διαρροή λαδιού από το πάνω τμήμα εξαερισμού του ψυγείου ή την βαλβίδα αποστράγγισης
- Ανεμιστήρες Ψύξης
  - Σωστή σύνδεση και σφράγιση των καλωδίων και των σωληνώσεων των ανεμιστήρων
  - Δυνατοί ή ασυνήθιστοι θόρυβοι από τα ρουλεμάν του ανεμιστήρα
  - Η σωστή κατεύθυνση περιστροφής
  - Έλεγχος για παρουσία ραγισμάτων, ξεφλουδίσματος, χαλαρότητας, των λεπίδων των ανεμιστήρων και έλλειψη βιδών
- Αντλίες ελαίου
  - Σημάδια διαρροής ελαίου από φλάντζες της αντλίας ή του καπακιού βαλβίδας της αντλίας
  - Δυνατοί ή ασυνήθιστοι θόρυβοι από τα ρουλεμάν της αντλίας λαδιού
  - Σωστή σύνδεση και σφράγιση των καλωδίων και των σωληνώσεων της αντλίας λαδιού
- Σύστημα ελαίου
  - Κατάσταση ελαίου
  - Επίπεδο Συντήρησης

### 3.4 Μονωτήρες, μονωτές , και Αλεξικέραυνα /Απαγωγοί Υπερτάσεων

- Έλεγχος για παρουσία στην πορσελάνη ξεφλουδισμάτων , ρωγμών , ηλεκτρικών τόξων , ρυπαρότητας , ή άλλης φυσικής βλάβης
- Έλεγχος για παρουσία διαρροής ελαίου
- Η σωστή στάθμη λαδιού
- Έλεγχος για παρουσία διάβρωσης ή αποχρωματισμού λόγω θέρμανσης
- Καμένη συσκευή εκτόνωσης πίεσης του απαγωγέα υπερτάσεων
- Ποσότητα του ρεύματος διαρροής
- Μετρητής κύκλων απαγωγέα υπερτάσεων
- Δοκιμή σπινθηρισμού (για μετασχηματιστή με εξαφθοριούχο θείο) ( SF6 )

### 3.5 Αντίσταση ουδετέρου

- Το σωστό κλείσιμο και βίδωμα του καπακιού περιβλήματος
- Καλή γενική εξωτερική και εσωτερική εμφάνιση καπακιού
- Έλεγχος της αντίστασης για ρωγμές , ηλεκτρικά τόξα , ξεφλούδισμα, ή άλλη φυσική βλάβη
- Έλεγχος για διαρροές νερού ( διάβρωση , λεκέδες , ξεφλούδισμα, ή άλλη φυσική βλάβη )

### 3.6 Σύστημα παροχής αερίου

- Εσωτερική και εξωτερική εικόνα ερμαρίου ( συντήρηση , καθαριότητα )
- Το σωστό κλείσιμο και μαντάλωμα της πόρτας του πίνακα
- Η σωστή στεγανοποίηση όλων των βαλβίδων, των ρυθμιστών και των σωληνώσεων
- Παρουσία στοιχείων διαρροών αζώτου ( μετρητής πίεσης )
- Αξιολόγηση φύλλου καταγραφής ή φύλλου παρακολούθησης για την περιοδικότητα της αλλαγής του κυλίνδρου και την κατανάλωση αζώτου

## **4. Δοκιμές Εκτίμησης της Κατάστασης**

### **4.1 Έλεγχος της ποιότητας του μονωτικού ελαίου**

Παρακάτω παρατίθενται οι δοκιμές που πρέπει να γίνονται κάθε χρόνο, στο πλαίσιο της συντήρησης του μετασχηματιστή, για τον προσδιορισμό της κατάστασης του ελαίου. Με την βοήθεια των δοκίμων αυτών μπορούμε να προσδιορίσουμε την ύπαρξης αιωρούμενων σωματιδίων, νερού, στοιχείων άνθρακα, προϊόντων οξείδωσης, και γενικά στοιχείων ρύπανσης αλλά και αν υπάρχει ανάγκη αναγέννησης του ελαίου.

Οι περισσότεροι από τους ελέγχους γίνονται βάση δείγματος που παίρνουμε από τη βάνα εκκένωσης του μετασχηματιστή. Η ποσότητα του δείγματος ελαίου θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε να διεξάγονται οι απαιτούμενες δοκιμές. Τα δοχεία, μπουκάλια, χωνιά που χρησιμοποιούμε για τους ελέγχους πρέπει να είναι καθαρά και στεγνά. Το δοχείο ή μπουκάλι που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση του δείγματος πρέπει να σφραγιστεί ερμητικά μετά το γέμισμα. Κατά τη δειγματοληψία, η θερμοκρασία του ελαίου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ώστε να αποτρέπεται εισχώρηση τυχόν υγρασίας στο δείγμα.

Η θερμοκρασία ελαίου, 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.

Το ορυκτέλαιο υψηλής διύλισης 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. Αν ο εργαστηριακός έλεγχος δείξει ότι η διηλεκτρική αντοχή αλλά και τα άλλα χαρακτηριστικά του ελαίου δεν είναι εντάξει τότε το έλαιο πρέπει να αντικατασταθεί ή να αναγεννηθεί με ειδική μηχανή καθαρισμού.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις βασικότερες δοκιμές των μονωτικών ελαίων από τον αμερικάνικο οργανισμό ASTM.

<b>Αριθμός δοκιμής</b>	<b>Αντικείμενο</b>
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	Μετρήσεις 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 ελαίου 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	Μετρήσεις για ενώσεις Φουρανίων στα ηλεκτρικά μονωτικά υγρά μέσω της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης.
ASTM D974	Μέτρηση του βαθμού εξουδετέρωσης μέσω χρωστικής

Πίνακας 2 : Κανονισμοί των δοκιμών εκτίμησης των μονωτικών ελαίων

#### 4.1.1 Διηλεκτρική αντοχή-Τάση διάσπασης

Ως τάση διάσπασης καθορίζεται η τάση κατά την οποία εμφανίζεται διάσπαση του μονωτικού μέσου, στην περίπτωση μας το έλαιο, το οποίο βρίσκεται μεταξύ δύο σημείων διαφορετικού δυναμικού. Πειραματικά, η τάση διάσπασης μπορεί να οριστεί ως διηλεκτρική αντοχή, που είναι η μέγιστη τιμή τάσης, που μπορεί να εφαρμοστεί ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια βυθισμένα στο έλαιο χωρίς να δημιουργηθεί τόξο μεταξύ τους. Η τάση διάσπασης δεν είναι κριτήριο της ποιότητας κατασκευής του μονωτικού ελαίου, είναι όμως μια συμβατική μέθοδος δοκιμής, που μπορεί να μας αποκαλύψει το βαθμό, στον οποίο ρυπαντές όπως νερό, ιζήματα ή και άλλα αιωρούμενα σωματίδια είναι αναμεμιγμένα στο έλαιο.

Οι ρυπαντές, οι οποίοι προκαλούν χαμηλή διηλεκτρική αντοχή είναι δυνατόν να αφαιρεθούν με διατάξεις καθαρισμού ελαίων (φίλτρα). Η μετρούμενη τιμή της τάσης διάσπασης εξαρτάται κυρίως από τη συσκευή και τη μέθοδο που θα χρησιμοποιήσουμε. Η δοκιμή εκτελείται με συσκευή η οποία αυξάνει την τάση βαθμιαία, μέχρις ότου επέλθει διάσπαση του ελαίου, δηλαδή να δημιουργηθεί τόξο μεταξύ των ηλεκτροδίων, τα οποία έχουμε τοποθετήσει με το κατάλληλο διάκενο ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιούμε. Τυπικές τιμές της τάσης διάσπασης είναι 30kV/mm-40kV/mm. 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.

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για τον προσδιορισμό της διαλεκτικής αντοχής: η ASTM D-1816 και η ASTM D-877.

Ο κανονισμός ANSI/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 (KV)		
	<69kV	69-288kV	>345kV
ASTM D1816, Διάκενο μεταξύ των ηλεκτροδίων 0.040 ίντσες	23	26	26
ASTM D1816, Διάκενο μεταξύ των ηλεκτροδίων 0.080 ίντσες	34	45	45
ASTM D887, Διάκενο μεταξύ των ηλεκτροδίων 0.10 ίντσες	26	26	26

#### 4.1.2. Διεπιφανειακή τάση IFT

Η μέθοδος σύμφωνα με την οποία μετράται η διεπιφανειακή τάση σε ορυκτέλαια είναι η ASTM D 971. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων απαιτείται ειδική συσκευή (interfacial tensiometer).



Η επιφανειακή τάση αποτελεί μοριακή ιδιότητα, που οφείλεται στις έλξεις μεταξύ των μορίων. Το φαινόμενο της μοριακής έλξης εμφανίζεται στην επιφάνεια που διαχωρίζει δυο αδιάλυτα μεταξύ τους υγρά, π.χ. την επιφάνεια που διαχωρίζει μονωτικό έλαιο και αποσταγμένο νερό. Σ' αυτήν την περίπτωση η επιφανειακή τάση λέγεται διεπιφανειακή τάση. Τα σωματίδια που υπάρχουν ή που δημιουργούνται στο μονωτικό έλαιο τείνουν να συγκεντρωθούν στην επιφάνεια, που διαχωρίζει αυτό από το αποσταγμένο νερό. Η συγκέντρωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής τάσης. Γι' αυτό, ο προσδιορισμός της επιφανειακής τάσης του ελαίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξεύρεση της παρουσίας προϊόντων, που οφείλονται σε οξείδωση. Επίσης ο προσδιορισμός αυτός οδηγεί σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητα και την εξέλιξη των ιδιοτήτων του ελαίου. Τα πιο πάνω ισχύουν τόσο για τα καινούργια έλαια όσο και για τα έλαια που βρίσκονται σε μηχανήματα εν λειτουργία.

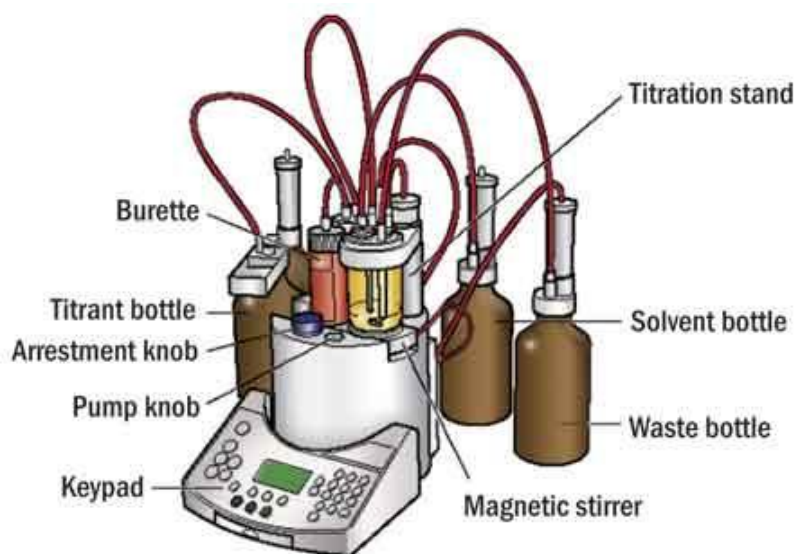
Σύμφωνα με την μέθοδο ASTM D 971 το δείγμα ελαίου τοποθετείται σε ένα ποτήρι αποσταγμένου νερού σε θερμοκρασία 25°C. Το έλαιο θα επιπλέει επειδή το ειδικό βάρος του είναι μικρότερο από αυτό του νερού, και θα υπάρχει μια διακριτή γραμμή μεταξύ των δύο υγρών. Ο αριθμός IFT είναι το ποσό της δύναμης ( δίνες ) που απαιτείται για να τραβήξει ένα μικρό συρμάτινο δαχτυλίδι προς τα πάνω, απόσταση 1 εκατοστού μέσα από την επιφάνεια νερού / ελαίου. Μια δίνη είναι μια πολύ μικρή μονάδα δύναμης ίση με 0,000002247 κιλά. Καλό, καθαρό έλαιο θα κάνει μια πολύ ξεχωριστή γραμμή πάνω από το νερό και θα δώσει έναν αριθμό IFT 40 έως 50 δίνες ανά εκατοστόμετρο της διαδρομής του συρμάτινου δαχτυλιδιού. Όταν στο λάδι υπάρχουν ρυπαντές όπως βερνίκια, χρώματα και προϊόντα οξείδωσης, η διακριτή γραμμή μεταξύ των δυο υγρών-διεπαφή εξασθενεί, και απαιτείται μικρότερη δύναμη για να διασπαστεί. Σωματίδια μέσα στο ελάιου αποδυναμώνουν την διεπιφανειακή τάση και μειώνουν τον αριθμό IFT. Συνιστάται το λάδι να ανακτηθεί όταν ο αριθμός IFT πέφτει κάτω από τις 25 δίνες ανά εκατοστόμετρο. Σε αυτό το επίπεδο , το έλαιο είναι πολύ μολυσμένο και πρέπει να αναγεννηθεί για την πρόληψη του σχηματισμού ιλύος (λάσπης) , η οποία αρχίζει γύρω στις 22 δίνες ανά εκατοστόμετρο.

#### 4.1.3 Βαθμός εξουδετέρωσης

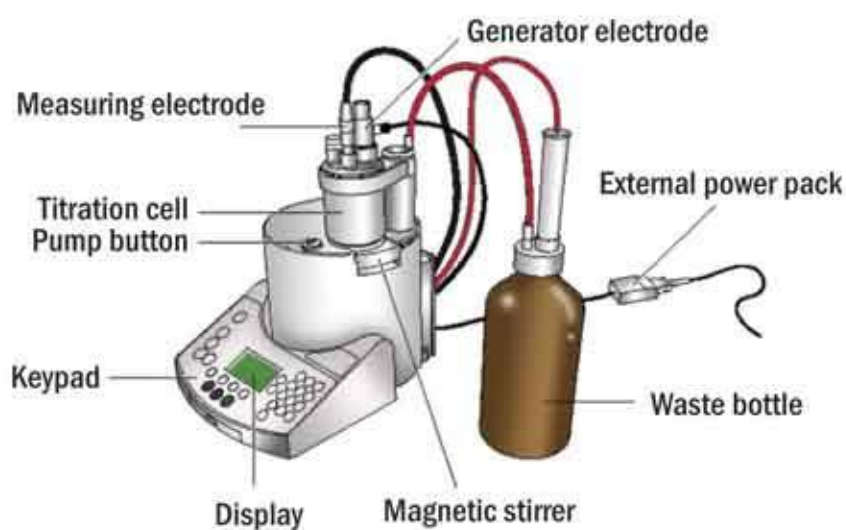
Η εύρεση του βαθμού εξουδετέρωσης, ή οξύτητας, ενός μονωτικού ελαίου περιγράφεται στον κανονισμό ASTM D974, και υποδηλώνει τον αριθμό των mg υδροξειδίου του καλίου KOH που απαιτούνται για να ουδετεροποιήσουν 1 γραμμάριο ηλεκτρομονωτικού ελαίου. Η οξύτητα εξαρτάται από τα παραπροϊόντα γήρανσης, όπως και από τις συγκεντρώσεις των πρόσθετων ουσιών, όπως η πιθανή συγκέντρωση PCBs στο σώμα του ελαίου με τιμή μεγαλύτερη των 50 ppm. Ο βαθμός εξουδετέρωσης αποτελεί μέτρο της οξύτητας του ελαίου. Η οξύτητα, που μετράται στα μονωτικά έλαια, πρακτικά, αποτελείται μόνο από την οργανική οξύτητα, γιατί η ανόργανη είναι αμελητέα. Έχει σημασία η παρακολούθηση της οξύτητας του ελαίου, γιατί αύξηση της οξείδωσής του, συνοδεύεται γενικά και από αύξηση της οξύτητάς του.

#### 4.1.4. Περιεκτικότητα νερού

Η μέθοδος για την εύρεση της περιεκτικότητας νερού στον όγκο του μονωτικού ελαίου (ppm max) περιγράφεται στον κανονισμό ASTM D1533, ο οποίος απαιτεί τη χρήση ειδικού οργάνου (αναλυτής Karl Fischer). Η αυξημένη περιεκτικότητα νερού μπορεί να σημαίνει τον χαρακτηρισμό του ελαίου στο οποίο περιέχεται, ως ακατάλληλο για χρήση. Αντίθετα η μικρή περιεκτικότητα νερού δε σημαίνει κατ' ανάγκη και την ικανοποιητική ποιότητα του μονωτικού ελαίου. Συνεπώς για το χαρακτηρισμό της ποιότητας του ελαίου η αποκλειστική χρήση αυτής της μεθόδου δεν είναι αρκετή.



Volumetric KF ASTM D1533 (Method A)



Coulometric KF ASTM D1533 (Method B)



Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι πολύ σημαντική για τον προσδιορισμό της λειτουργικότητας ενός ελαίου. Η παρουσία υγρασίας ( τόσο λίγη όσο 25 μέρη ανά εκατομμύριο ) συνήθως θα οδηγήσει σε χαμηλότερη διηλεκτρική τιμή αντοχής . Περιεκτικότητα σε νερό είναι ιδιαίτερα σημαντική σε μετασχηματιστές με κυμαινόμενο φορτία . Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται και μειώνεται με το μεταβαλλόμενο φορτίο , ο μετασχηματιστή μπορεί να κρατήσει ποικίλες ποσότητες νερού σε διάλυμα. Μεγάλες ποσότητες νερού μπορεί να κρατηθούν στο διάλυμα σε υψηλότερες θερμοκρασίες , και σε αυτή την κατάσταση ( διαλυμένο) το νερό έχει μια δραματική επίδραση στην απόδοση του λαδιού. Θα πρέπει να αποφεύγεται η μόλυνση του νερού . Περιεκτικότητα σε νερό εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο , και παρόλο που το νερό θα κατακάτσει στον πυθμένα της δεξαμενής και θα είναι ορατό στο δείγμα , η παρουσία ελεύθερου νερού δεν είναι μια ένδειξη της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό , και είναι συνήθως αβλαβές στην παρούσα κατάσταση. Η περιεκτικότητα διαλυμένου νερού είναι ο επικίνδυνος παράγοντας.

#### 4.1.5 Συντελεστής ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος αναπαριστά τις διηλεκτρικές απώλειες του λαδιού, λόγω του ρεύματος διαρροής διάμεσο αυτού. Υψηλή τιμή του συντελεστή ισχύος είναι ένδειξη μόλυνσης ή ύπαρξης προϊόντων υποβάθμισης όπως νερό, άνθρακας, μεταλλικοί σάπωνες και προϊόντα οξείδωσης. 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 .

<b>Συντελεστής ισχύος PF</b>	<b>Πιθανή κατάσταση μόνωσης</b>
PF≤0,5%	Καλή
0,5%<PF≤0,7%	Επιδεινωμένη
0,7%<PF≤1,0%	Απαιτείται έλεγχος
1%< PF	Κακή

#### 4.1.6 Ανάλυση φουρανίων

Όταν το χαρτί της μόνωσης του μετασχηματιστή αποσυντίθεται θερμικά , ορισμένες ελαιοδιαλυτές χημικές ενώσεις απελευθερώνονται και εκτός από τα αέρια, μονοξείδιο του άνθρακα CO και διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>. Αυτές είναι γνωστές ως φουρανικές ενώσεις ή φουράνια.

Δοκιμές γίνονται για πέντε διαφορετικές φουράνια που προκαλούνται από διαφορετικά προβλήματα. Τα πέντε φουράνια και οι πιο κοινές αιτίες τους αναφέρονται παρακάτω:

- 5H2F (5-υδροξυμεθυλ-2-φουραλδεΐδη) που προκαλείται από την οξείδωση (γήρανση και θέρμανση) του χαρτιού

- 2FOL (2-φουρφοουρόλη) που προκαλείται από την υψηλή υγρασία στο χαρτί
- 2FAL (2-φουραλδεΐδη) που προκαλείται από την υπερθέρμανση
- 2ACF (2-ακετυλοφουράνιο) που προκαλείται από κεραυνό (σπάνια βρίσκονται σε DGA)
- 5M2F (5-μεθυλ-2-φουραλδεΐδη) που προκαλείται από την τοπική σοβαρή υπερθέρμανση (hotspot)

Το κυριότερο από όλα είναι η 2-φουραλδεΐδη .

Η προτιμώμενη μέθοδος μέτρησης των φουρανίων είναι με την μέθοδο ASTM D5837 HPLC ( υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης) , παρόλο που υπάρχουν πολλές άλλες τεχνικές όπως:

1. χρωματογραφία υγρής φάσης
2. αεριοχρωματογραφία
3. χρωματομετρική μέθοδος ανίχνευσης φουρφοουράλης
4. χρωματογραφική μέθοδος διαπερατότητας πηκτής

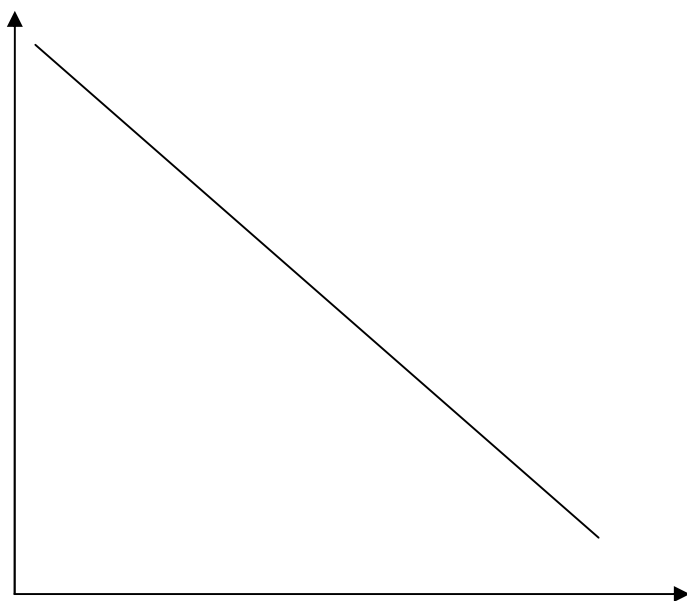
Οι τεχνικές αυτές υλοποιούνται με δειγματοληψία λαδιού χωρίς να απαιτείται διακοπή της λειτουργίας του μετασχηματιστή

Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη διαγνωστικών τεχνικών με βάση την παρουσία των εν λόγω ενώσεων για τον εντοπισμό, όταν υπάρχει, ενός μη ομαλού ρυθμού αποσύνθεσης της μόνωσης, επειδή η δοκιμή μπορεί να γίνει σε ένα δείγμα ελαίου που λαμβάνεται, ενώ ο μετασχηματιστής βρίσκεται σε λειτουργία.

Το γενικό αποτέλεσμα για μετασχηματιστές που λειτουργούν κανονικά είναι ότι δεν υπάρχουν ανιχνεύσιμα φουρανία στο έλαιο ή το επίπεδο είναι μικρότερο από 100 ppb ( μέρη ανά δισεκατομμύριο ) . Σε πολυάριθμες περιπτώσεις, όταν σημαντική θερμική βλάβη έχει ανιχνευθεί και έχει επιβεβαιωθεί από φυσική εξέταση, το επίπεδο φουρανίων είναι τουλάχιστον 100 ppb και αυξάνεται ως και 70 ppm ( μέρη ανά εκατομμύριο ) στην πιο ακραία περίπτωση.

55 °C Rise Transformer 2FAL (ppb)	65 °C Rise Transformer Total Furans (ppb)	Εκτιμώμενος βαθμός Πολυμερισμού (DP)	Εκτιμώμενο ποσοστό της υπολειπόμενης ζωής του μετασχηματιστή	ερμηνεία
58	51	800	100	Φυσιολογικός Ρυθμός Γήρανσης
130	100	700	90	
292	195	600	79	
654	381	500	66	Επιταχυνόμενος ρυθμός Γήρανσης
1,464	745	400	50	
1,720	852	380	46	
2,021	974	360	42	
2,374	1,113	340	38	Υπερβολική Γήρανση επικίνδυνη ζώνη
2,789	1,273	320	33	
3,277	1,455	300	29	
3,851	1,664	280	24	Υψηλός κίνδυνος βλάβης
4,524	1,902	260	19	
5,315	2,175	240	13	Τέλος της αναμενόμενης ζωής του χαρτιού μόνωσης και του μετασχηματιστή
6,245	2,487	220	7	
7,337	2,843	200	0	

Βαθμός πολυμερισμού



Συγκέντρωση φουρανίων

Εκτεταμένα εργαστηριακά πειράματα , από διάφορους ερευνητές έχουν δείξει ότι υπάρχει μια περίπου λογαριθμική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης της φουραλδεΰδης του κυριότερου φουρανίου, στο έλαιο και του βαθμού πολυμερισμού (DP) της κυτταρίνης στο χαρτί. Η ακριβής συσχέτιση όμως της συγκέντρωσης της φουραλδεΰδης στο έλαιο και του βαθμού πολυμερισμού της κυτταρίνης στο χαρτί είναι πιο σύνθετη και εξαρτάται από την υγρασία , την θερμότητα, το είδος του μετασχηματιστή (αν αναπνέει η όχι) και τον τύπο του ελαίου και του χαρτιού. παραπάνω παρατίθεται μια χαρακτηριστική Βαθμού πολυμερισμού - συγκέντρωσης φουρανίων.

#### 4.1.7 Αέρια στο έλαιο

Η πιο χρήσιμη και ευρέως χρησιμοποιούμενη δοκιμή αφορά τη δειγματοληψία και την ανάλυση των διαλυμένων αερίων μέσα στο έλαιο ενός μετασχηματιστή. Αυτή η τεχνική είναι ευαίσθητη σε ένα ευρύ φάσμα δυσλειτουργιών , τόσο θερμικά όσο και ηλεκτρικά , οι οποίες θα μπορούσαν τελικά να οδηγήσουν σε βλάβη ενός μετασχηματιστή , αν δεν ληφθούν διορθωτικά μέτρα .

Κατά τη δειγματοληψία του ελαίου , είναι εξαιρετικά σημαντικό το γεγονός ότι αυτά τα δείγματα πρέπει να λαμβάνονται με προσοχή για να αποφευχθεί η πιθανότητα μόλυνσης του δείγματος . Οι διαδικασίες για τη λήψη δειγμάτων που περιγράφεται στο ASTM D923 – (1997) ή και D3613 – (1998), θα πρέπει να ακολουθούνται.

Ποτέ μην παίρνετε δείγμα λαδιού από ένα μετασχηματιστή υπό αρνητική πίεση . Μια φυσαλίδα αέρα θα μπορούσε να τραβηχτεί μέσα στη δεξαμενή και να προκαλέσει καταστροφική βλάβη στο μετασχηματιστή , και ενδεχομένως να οδηγήσει σε τραυματισμό ή θάνατο του προσωπικού .

Ο οδηγός IEEE Std . C57.104 - 1991 για την ερμηνεία των παραγόμενων αερίων σε μετασχηματιστές ελαίου παρέχει πολυτίμητη βοήθεια για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των δοκιμών αερίου σε έλαιο . Ο οδηγός προσφέρει συμβουλές για απλή και ποιοτική ερμηνεία βασιζόμενη σε ορισμένα αέρια “ κλειδιά ” , καθώς και μια πιο λεπτομερή ποσοτική διάγνωση που βασίζεται σε απόλυτα όρια και αναλογίες των αερίων .

- **Αέρια “ κλειδιά ”**

Η αναγνώριση των αερίων “ κλειδιών ” είναι το πρώτο απλό εργαλείο με το οποίο ο ερευνητής θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος . Η εμπειρία και η λογική οδήγησαν στην ταυτοποίηση των ακόλουθων σχέσεων :

- **Μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα ( CO και CO<sub>2</sub> )** . Θερμική διάσπαση της κυτταρίνης , ακόμη και σε κανονικές θερμοκρασίες λειτουργίας , παράγει τα παραπάνω αέρια οξειδίου του άνθρακα. Έτσι , χαμηλά ποσοστά παραγωγής αυτών των αερίων δεν προκαλούν ανησυχία. Ωστόσο, η παραγωγή των εν λόγω αερίων σε ένα ασυνήθιστα υψηλό ποσοστό σχετίζεται με υπερθέρμανση της μόνωσης . Τόσο ο ρυθμός παραγωγής όσο και η αναλογία των δύο αερίων μπορεί να είναι ενδεικτική της σοβαρότητας της υπερθέρμανσης.

- **Το μεθάνιο , αιθάνιο και αιθυλένιο** ( CH<sub>4</sub> , C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> , και C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) .  
Θερμική κατάρρευση του ελαίου δημιουργεί αυτήν την οικογένεια των αερίων , με ορισμένες αναλογίες των αερίων που δείχνουν τη σοβαρότητα της υπερθέρμανσης.
- **Το υδρογόνο** ( H<sub>2</sub> ) . Χαμηλής έντασης ηλεκτρικές εκκενώσεις στο έλαιο,( μερικές φορές αναφέρεται ως κορώνα ) , παράγουν κυρίως υδρογόνο, μαζί με λίγο μεθάνιο, αλλά μικρότερες ποσότητες των αερίων υδρογονανθράκων.
- **Το ακετυλένιο** ( C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> ) . Υψηλής έντασης ηλεκτρικές εκκενώσεις ή ηλεκτρικά τόξα παράγουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες ( πάνω από 600 ° C έως 700 ° C ) , οι οποίες προκαλούν την παραγωγή μικρών αλλά σημαντικών ποσοτήτων ακετυλενίου . Μικρή ή καμία ποσότητα ακετυλενίου και ένα ευρύ φάσμα των άλλων αερίων είναι συνήθως αποτέλεσμα μεταλλικών τμημάτων που έχουν υπερθερμανθεί από κυκλοφορούντα ρεύματα , χωρίς την παρουσία κυτταρίνης . Το ακετυλένιο είναι απών για άλλους τύπους σφαλμάτων , έτσι είναι ένας λόγος που προκαλεί μεγάλη ανησυχία , όταν ανιχνεύεται .

Δεδομένου ότι όλοι οι μετασχηματιστές που βρίσκονται σε κανονική λειτουργία θα έχουν σε κάποια επίπεδα τα προαναφερθέντα αέρια που διαλύονται στο έλαιο ( με την εξαίρεση του ακετυλενίου ) , είναι σημαντικό να προσδιοριστούν τα επίπεδα συγκέντρωσης για τα οποία ο συντηρητής θα πρέπει να ενεργήσει κατάλληλα. Αυτό έχει γίνει στο IEEE Std . C57.104 - 1991 .

	Όρια συγκέντρωσης Αερίων "κλειδιών"(ppm)							
	H <sub>2</sub> Υδρογό νο	CH <sub>4</sub> Μεθά νιο	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Ακετυλέ νιο	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Αιθυλέ νιο	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> Αιθάν ιο	CO Μονοξεί διο του άνθρακα	CO <sub>2</sub> διοξεί διο του άνθρα κα	TDC G
<b>Κατάστ αση 1</b>	100	120	35	50	65	350	2500	720
<b>Κατάστ αση 2</b>	101- 700	121- 400	36-50	51-100	66- 100	351-570	2501- 4000	721- 1920
<b>Κατάστ αση 3</b>	701- 1800	401- 1000	51-80	101- 200	101- 150	571- 1400	4001- 10000	1921 - 4630
<b>Κατάστ αση 4</b>	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>1000 0	>463 0

Σημειώσεις :

**PPM**= Μέρη στο εκατομμύριο

**TDCG** = Ολικά εύφλεκτα διαλυμένα αέρια (εξαιρούνται CO<sub>2</sub> )

**Κατάσταση 1** = Διαλυμένο αέριο στην περιοχή αυτή υποδηλώνει κανονική λειτουργία

**Κατάσταση 2** = Αρχίστε την ανάλυση εάν το διαλυμένο αέριο δείχνει μεγαλύτερη τιμή από την κανονική παραγωγή αερίου .

**Κατάσταση 3** = Διαλυμένο αέριο στην περιοχή αυτή δείχνει ένα υψηλό επίπεδο αποσύνθεσης μόνωσης . Συχνή δειγματοληψία για να καθοριστεί η τάση της εξέλιξης του αερίου και εφαρμογή ανάλυση της αναλογίας του αερίου για διάγνωση.

**Κατάσταση 4** = Διαλυμένο αέριο στην περιοχή αυτή δείχνει υπερβολική αποσύνθεση της μόνωσης . Η συνέχιση της λειτουργίας μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη του μετασχηματιστή .

Ανάλυση της αναλογίας του αερίου είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό της πηγής της ανώμαλης παραγωγής αερίων . Ο λόγος CO<sub>2</sub>/CO μπορεί να είναι ένδειξη μη φυσιολογικής φθοράς της μόνωσης . Αναλογίες των αερίων των υδρογονανθράκων και υδρογόνο μπορεί να υποδεικνύουν το εύρος της θερμοκρασίας της πηγής θερμότητας . Θα πρέπει να σημειωθεί , ωστόσο ότι , διαλυμένα αέρια σε σημαντικά επίπεδα πρέπει να είναι παρόντα πριν αυτή η τεχνική να μπορεί να εφαρμοστεί.

Η πείρα έχει δείξει ότι, υπό κανονικές θερμοκρασίες λειτουργίας , ο ρυθμός εξέλιξης του διοξειδίου του άνθρακα είναι συνήθως 7 έως 20 φορές υψηλότερη από αυτή για το μονοξείδιο του άνθρακα, αλλά αναλογίες κάτω από 5 θα μπορούσαν να θεωρηθούν φυσιολογικές . Ο λόγος είναι γενικά χαμηλότερος για σφραγισμένα συστήματα διατήρησης ελαίου απ' ότι για τα συστήματα αδρανούς αερίου (φιάλη αζώτου) . Έτσι , μια ένδειξη μιας ασυνήθιστα υψηλή θερμοκρασία και υποβάθμιση της μόνωσης θα ήταν μια αναλογία CO<sub>2</sub>/CO κάτω από 5 .

Άλλες αναλογίες και εκατοστιαίοι δείκτες που είναι μερικές φορές χρήσιμοι είναι οι εξής:

1. Θερμό μέταλλο στο έλαιο

- Αιθυλένιο / Μεθάνιο 1 έως 1,5
- Αιθυλένιο / Αιθάνιο 2 έως 4
- Αιθυλένιο / Υδρογόνο 2 3

Η αναλογία μερικές φορές θα διαφέρει από τα παραπάνω, αλλά το γενικό πρότυπο είναι υψηλά επίπεδα αιθυλενίου και μεθάνιο με μικρότερα επίπεδα από υδρογόνο και αιθάνιο . Υπάρχουν συνήθως χαμηλά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του άνθρακα και άλλα αέρια.

## 2. Μερικές εκκενώσεις σε έλαιο

- Υδρογόνο 80 % έως 85%
- Μεθάνιο 10 % έως 15 %

## 3. Εκκενώσεις τόξου σε έλαιο

- Υδρογόνο 60 %
- Ακετυλένιο 30 %

Αυτές οι οδηγίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί ο γενικός τύπος του προβλήματος . Η γνώση του σχεδιασμού του μετασχηματιστή και το ιστορικό του σε κατάσταση λειτουργίας είναι εξαιρετικά σημαντικά για την ερμηνευτική διαδικασία . Για παράδειγμα , ένας τύπος σχεδιασμού κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου χρονικού πλαισίου είναι γνωστό ότι παρουσιάζει μια κατάσταση έκλυσης αερίων που προκαλείται από θερμό μέταλλο . Αυτό το είδος της γνώσης σε συνδυασμό με το ιστορικό αερίου σε έλαιο είναι πολύτιμη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για αυτόν τον τύπο μετασχηματιστή .

Το πόσο καιρό μπορεί ένας μετασχηματιστής να μείνει σε λειτουργία με ένα πρόβλημα αεριοποίησης, εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα του αερίου που παράγεται και , σε πολλές περιπτώσεις , από τον τύπο και το ιστορικό λειτουργίας του μετασχηματιστή . Αρκετοί από τους μετασχηματιστές με το γνωστό πρόβλημα θερμού μετάλλου βρίσκονται σε λειτουργία για χρόνια με συγκεντρώσεις θερμού αερίου μετάλλου περισσότερο από 1.000 ppm. Στην περίπτωση αυτή , η αιτία του προβλήματος έχει εντοπιστεί , έτσι ώστε μια λογική εκτίμηση των κινδύνων να μπορεί να γίνει. Γενικά θερμά αέρια μετάλλου δεν θα προκαλέσουν την αποτυχία του μετασχηματιστή εφόσον αυτά είναι σταθερά. Εάν στο αέριο στο λάδι εμφανίζονται μερικές εκκενώσεις ή τόξα , τότε χρειάζεται άμεση έρευνα.

### 4.1.8 Δειγματοληψία

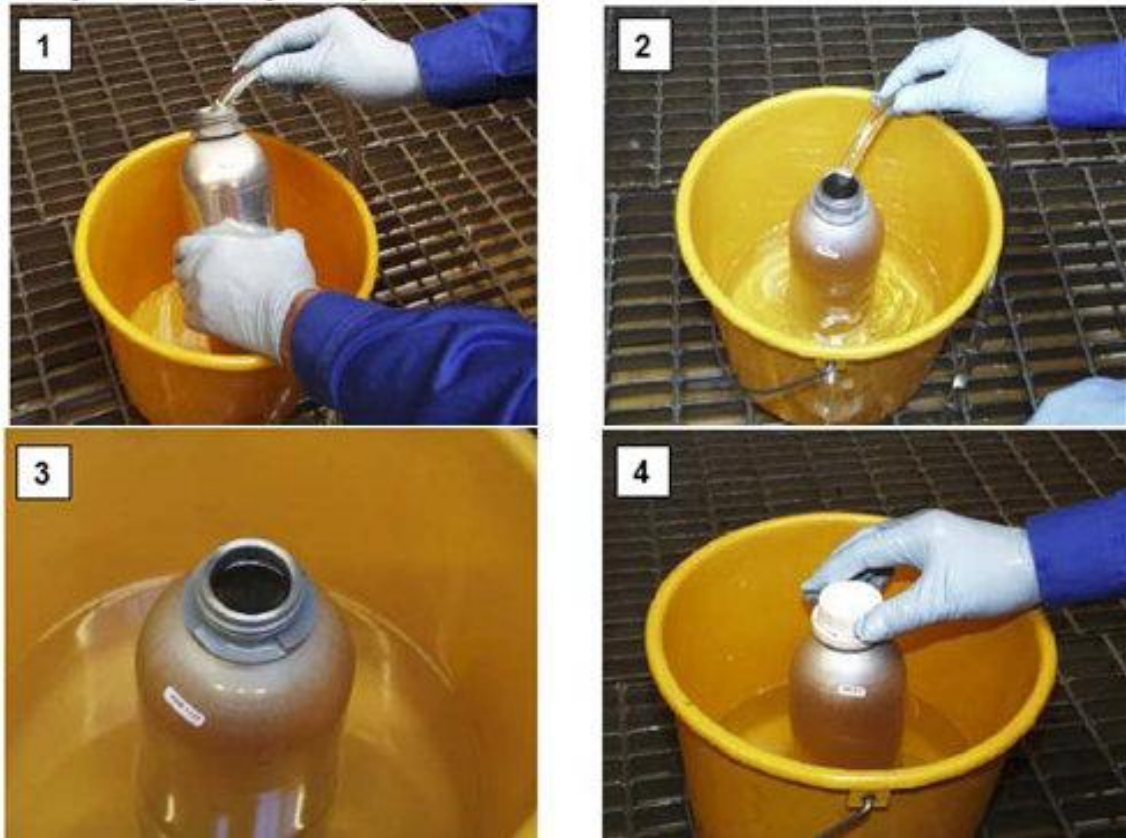
#### 4.1.8.1 Δειγματοληψία για ποιοτικό έλεγχο λαδιού

Η διαδικασία που ακολουθεί υποδεικνύεται από την εταιρία ABB και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 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

1. 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.

2. Αφήνεται ροή λαδιού 3 λίτρα. Απομάκρυνση του σωλήνα αργά, καθώς το λάδι ρέει.
3. Διατήρηση κενού 0.5 εκατοστά από το χείλος του δοχείου .
4. Σφράγιση δοχείου .



Εικόνα 18 : Βήματα λήψης δείγματος σε δοχείο αλουμινίου

#### 4.1.8.2 Δειγματοληψία για ανάλυση διαλυμένων αερίων

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 υδρογόνο.



Το υδρογόνο 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 παρακάτω σχήμα .

#### Βήματα διαδικασίας

1. Σύνδεση σωλήνα με σύριγγα μέσω τριόδης βάνας .
2. Σύνδεση συστήματος σύριγγας-τριόδης-σωλήνα με το σωλήνα που εξέρχεται από το στόμιο της βάνας δειγματοληψίας.
3. Άνοιγμα βάνας δειγματοληψίας
4. Συγκέντρωση ποσότητας
5. Αφαίρεση εγκλωβισμένου αέρα μέσω της τριόδης. Πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να μην παραμένουν φυσαλίδες στη σύριγγα .
6. Λήψη τελικού δείγματος 20ml, κλείσιμο τριόδης βάνας



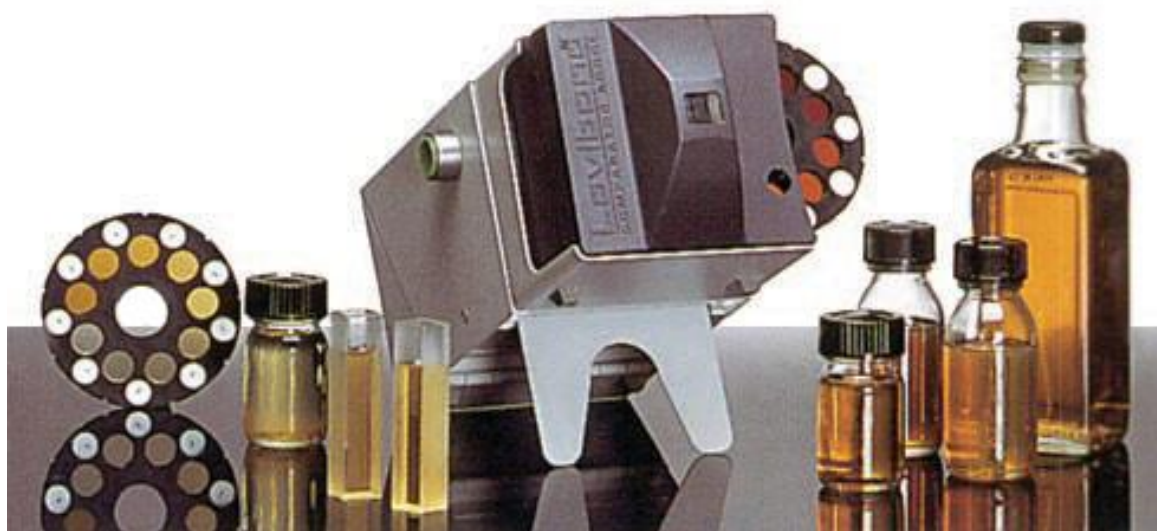


Εικόνα 19 : Βήματα λήψης δείγματος για ανάλυση διαλυμένων

#### 4.1.9 Χρώμα

Ο κανονισμός, που χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο του χρωματικού βαθμού ενός μονωτικού ελαίου, είναι ο ASTM D1500. Σύμφωνα με αυτόν απαιτείται μια συσκευή, που ονομάζεται χρωματόμετρο, η οποία περιλαμβάνει πηγή φωτός, τυποποιημένους χρωματιστούς γυάλινους δίσκους και δύο γυάλινα δοχεία με κάλυμμα και διάταξη για την παρατήρηση. Οι τυποποιημένοι γυάλινοι δίσκοι χαρακτηρίζονται από συμβατικούς αριθμούς που απέχουν κατά 0,5 ο ένας από τον άλλο. Η κλίμακα αρχίζει από το 0,5 (ανοιχτόχρωμα έλαια) και φτάνει ως το 8 (πλέον σκουρόχρωμα έλαια). Το χρώμα των μονωτικών ελαίων είναι γενικά ανοικτό κίτρινο και διαφέρει λίγο από έλαιο σε έλαιο.

Το χρώμα του αχρησιμοποίητου ελαίου είναι κάποιο στοιχείο για να εκτιμηθεί η κατάσταση του. Το ίδιο ισχύει τόσο για τα λίγο μεταχειρισμένα έλαια όσο και για τα έλαια, που βρίσκονται σε χρήση για πολύ χρόνο. Αν η κατάσταση των τελευταίων έχει χειροτερεύσει από τη χρήση τους, είναι δυνατό να βγουν συμπεράσματα από τη μεταβολή στο χρώμα τους, σε συνδυασμό όμως και με άλλους ελέγχους. Η μεταβολή του χρώματος του ελαίου που βρίσκεται σε υπηρεσία πιθανό να σημαίνει οξείδωση ή παρουσία ξένων σωματιδίων μέσα σ' αυτό.



#### 4.2 Έλεγχος με χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας

Υπέρυθρη θερμογραφία (infrared thermography) είναι η τεχνική απεικόνισης ενός αντικείμενου χρησιμοποιώντας την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει το αντικείμενο αυτό. Η εκπεμπόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία (IR) είναι άρατη στο ανθρώπινο μάτι και ουσιαστικά οφείλεται στην θερμική κατάσταση του υλικού που μελετάται.

Τα εργαλεία που μας επιτρέπουν να πραγματοποιούμε μια τέτοια απεικόνιση λέγονται θερμικές κάμερες (thermal imager). Οι θερμικές κάμερες είναι όργανα που θυμίζουν εξωτερικά τις συμβατικές κάμερες, αλλά ουσιαστικά δημιουργούν εικόνες από την θερμότητα που εκπέμπει ο στόχος αντί του φωτός.



Άλλες τεχνικές έχουν επίσης βρεθεί για να βοηθήσουν στον εντοπισμό των προβλημάτων πριν γίνουν σοβαρά . Η υπέρυθρη θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μονωτήρες και σε άλλες συνδέσεις. Αντλίες και μεταγωγείς λήψεων που υπερθερμαίνονται μπορούν επίσης να ανιχνευτούν . Η υπέρυθρη θερμογραφία είναι λιγότερο αποτελεσματική στη συνολική δεξαμενή του μετασχηματιστή λόγω του όγκου του ελαίου και το πάχος του χάλυβα. Ωστόσο, ορισμένα θερμά σημεία κοντά στο τοίχωμα της δεξαμενής έχουν ανιχνευθεί χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική .

Αναλυτικά η θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα ακόλουθα εξαρτήματα:

1. Δεξαμενή
2. Μονωτήρες και Συνδέσεις
3. Αντικεραυνική Προστασία
4. Μεταγωγέας λήψεων
5. Ψυγεία , Αντλίες και Κινητήρες
6. Μετασχηματιστές Οργάνων (PT και CT )
7. Σύστημα Ψύξης ( συμπεριλαμβανομένων των καλοριφέρ , κινητήρες για αντλίες και ανεμιστήρες)

#### 4.2.1 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



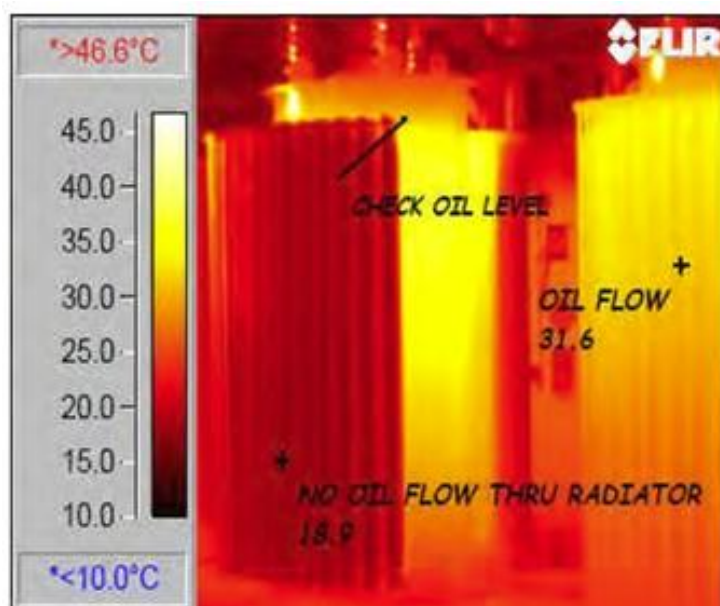
Εικόνα 20 : Μονάδα ψύξης που δεν λειτουργεί



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%. 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 υπερθερμασμένα ρελέ.

#### 4.2.2 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



Εικόνα 21 : Διαφορά θερμοκρασίας σε σημείο με ροή λαδιού (31,6° C) έναντι σημείου χωρίς ροή λαδιού (18,9° C)

### 4.2.3 Εφαρμογή σε Εσωτερικές Διατάξεις

Για προβλήματα σε εσωτερικές διατάξεις ενός μετασχηματιστή, η θερμική απεικόνιση αποτελεί αποτελεσματική τεχνική αν η εσωτερική δυσλειτουργία παράγει θερμότητα ικανή να εντοπίζεται στην εξωτερική επιφάνεια του μετασχηματιστή. Πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολο να κατανοήσει κανείς αν υπάρχει κάποιο εσωτερικό πρόβλημα, οπότε απαιτείται προσεκτικός έλεγχος.

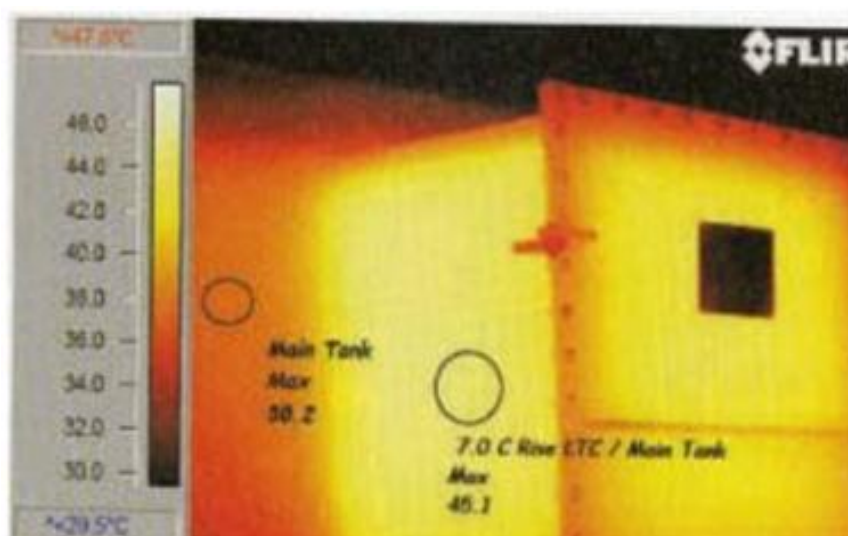
Στο εσωτερικό των μετασχηματιστών μπορούν να παρουσιαστούν προβλήματα που οφείλονται συνήθως :

#### 1. Στις Εσωτερικές Συνδέσεις

Πρόβλημα έχουμε όταν η θερμοκρασία των εσωτερικών συνδέσεων είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία στην επιφάνεια του μετασχηματιστή.

#### 2. Στους Μεταγωγείς Λήψεων

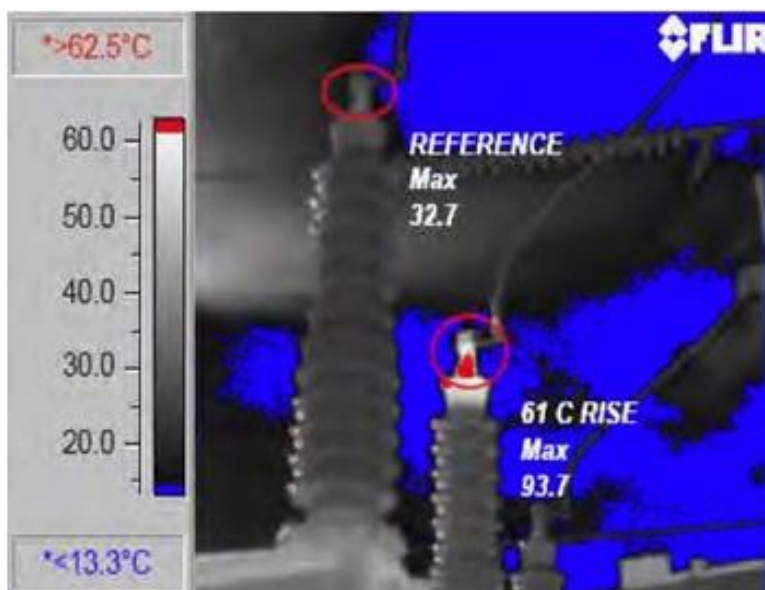
Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας, οι απώλειες χαλκού και τα δινορεύματα προκαλούν στην κυρίως δεξαμενή έκλυση θερμότητας, μεγαλύτερη από αυτή που αναπτύσσεται στο διαμέρισμα του μεταγωγέα. Πιο συγκεκριμένα όταν δεν υπάρχει μεταβολή λήψεων, η θερμότητα στον μεταγωγέα πρέπει να είναι αμελητέα. Εάν 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.



Εικόνα 22 : Διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην κυρίως δεξαμενή (30,2° C) και τον μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο (45,1° C)

#### 4.2.4 Εφαρμογή σε Μονωτήρες Διέλευσης

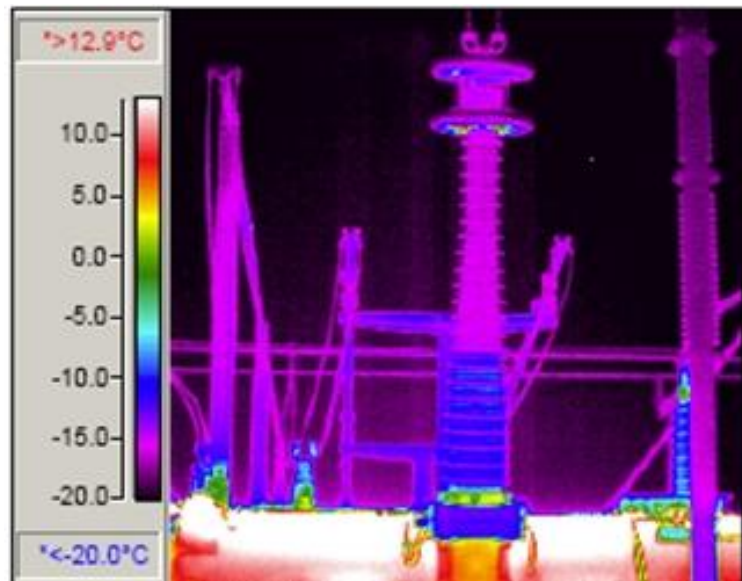
Αν ένας ακροδέκτης μονωτήρα διέλευσης έχει χαλαρή σύνδεση με αγωγό (ή τις μπάρες), υπό συνθήκες φόρτισης θα προκληθεί υπερθέρμανση. Το θερμογράφημα θα εμφανίζει τον ακροδέκτη θερμότερο από το κυρίως σώμα της πορσελάνης.



Εικόνα 23 : Υπερθέρμανση ακροδέκτη μονωτήρα διέλευσης

Οι θερμογραφικές σαρώσεις μπορούν να εμφανίσουν χαμηλές στάθμες λαδιού, πράγμα που σημαίνει αναγκαιότητα άμεσης απενεργοποίησης και αντικατάστασής τους. Αυτό ενδέχεται 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 πλειονοψηφία των σφαλμάτων σε μονωτήρες διέλευσης οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας από το άνω τμήμα. 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.

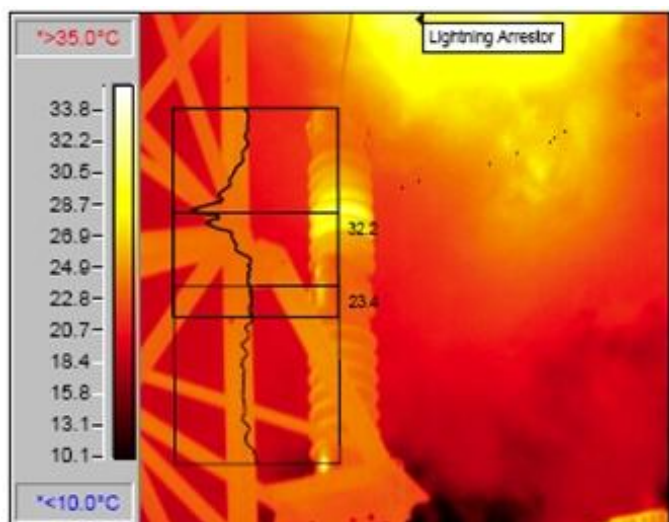
Η δοκιμή θερμού κολάρου μπορεί να εντοπίσει την εισχώρηση υγρασίας. Ωστόσο έχει τα μειονεκτήματα ότι δεν πραγματοποιείται συχνά, ότι ο μετασχηματιστής πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας και ότι οι αγωγοί σύνδεσης στο πρωτεύον και δευτερεύον πρέπει να απομακρυνθούν.



Εικόνα 24 : Στάθμη λαδιού σε μονωτήρα διέλευσης

#### 4.2.5 Εφαρμογή σε Αλεξικέραυνα/ Απαγωγούς Υπερτάσεων

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 φωτεινές. Παρατηρείται ότι στο θερμογράφημα του παρακάτω σχήματος, το αλεξικέραυνο εμφανίζει ένα ασυνήθιστο φωτεινό κίτρινο σημείο (περίπου στο 1/3 του μήκους από το πάνω άκρο). 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 αλεξικέραυνο ή σε γειτονικά. Έτσι προκύπτουν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα και δημιουργείται ιστορικό για μεταγενέστερες συγκρίσεις.

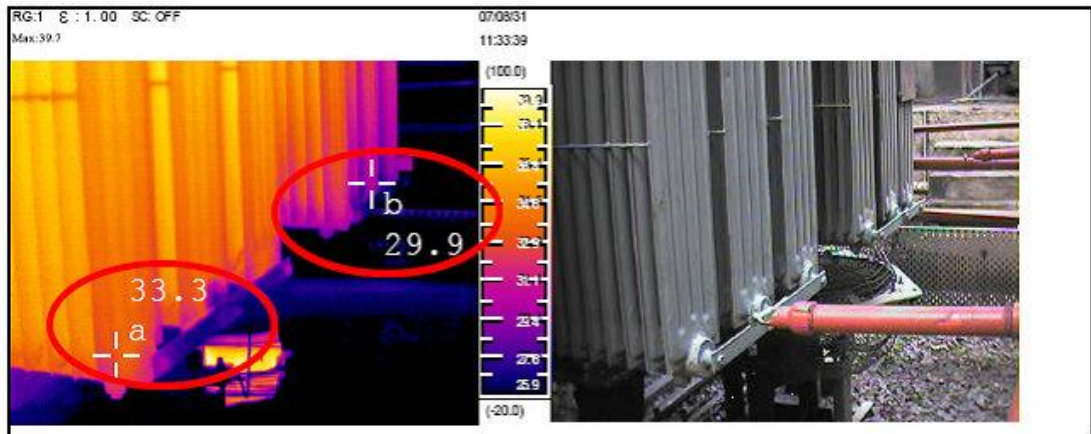


Εικόνα 25: Ελαττωματικό Αλεξικέραυνο



#### 4.2.6 Εφαρμογή σε Ανεμιστήρες και Αντλίες Ψύξης

Ο έλεγχος των ανεμιστήρων και των αντλιών πρέπει να γίνεται όταν βρίσκονται σε λειτουργία. Υπό φυσιολογικές συνθήκες θα πρέπει να έχουν αυξημένη θερμοκρασία, οπότε αν μετρηθεί χαμηλή θερμοκρασία, υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην λειτουργία της διάταξης.



Εικόνα 26 : Θερμική απεικόνιση ανεμιστήρα ψύξης Μ/Σ – παρατηρούμε υψηλότερη θερμοκρασία στην περιοχή **a**, σε σύγκριση με την περιοχή **b**

#### 4.2.7 Εφαρμογή σε Σωλήνες Ψύξης

Οι σωλήνες ψύξης, στους οποίους ρέει λάδι προκειμένου να διευκολύνεται η ψύξη των μετασχηματιστών, υπό φυσιολογικές συνθήκες παρουσιάζουν αυξημένη θερμοκρασία. Σε περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία τους ενός ή περισσότερων σωλήνων είναι χαμηλή συγκριτικά και πρέπει να εντοπιστεί το πρόβλημα.

#### 4.2.8 Εφαρμογή σε Συνδέσεις Υψηλής και Χαμηλής Τάσης

Αύξηση της θερμοκρασίας πέραν του κανονικού στις συνδέσεις υψηλής, μέσης ή χαμηλής τάσης, δηλώνει αύξηση στην αντίσταση διάβασης, που μπορεί να οφείλεται σε ακάθαρτες συνδέσεις, ή σε χαλάρωση των συνδέσεων. Επίσης, πρέπει να γίνεται μια εξέταση των φάσεων προκειμένου να ανιχνευτεί υπερφόρτωση ή ασυμμετρίες



Εικόνα 27: Ακροδέκτες μετασχηματιστή σε συμβατική και θερμική απεικόνιση – παρατηρείται υπερθέρμανση σε έναν από τους ακροδέκτες

#### 4.3 Παρακολούθηση Κατάστασης μόνωσης

Το τεστ εκτίμησης της κατάστασης της μόνωσης είναι ένα σημαντικό τεστ συντήρησης και χρησιμοποιείται για να επαληθεύσει την κατάσταση της ξηρότητας και να προσδιορίσει τη κατάσταση της μόνωσης του μετασχηματιστή. Η δοκιμή προσδιορίζει την αντοχή της μόνωσης των μεμονωμένων περιελίξεων προς έδαφος και μεταξύ των περιελίξεων. Η σημερινή τάση είναι να εκτελούν δοκιμές του συντελεστή ισχύος, όταν οι δοκιμές του ελαίου και η υγρασία στους υπολογισμούς μόνωσης δείχνουν πιθανά προβλήματα, όπως η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία ή μόλυνση στη μόνωση. Ωστόσο, οι δοκιμές του συντελεστή ισχύος σε διαστήματα πέντε έως επτά ετών συνιστάται από ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, ακόμη και αν οι δοκιμές του ελαίου είναι φυσιολογικές, για τον εντοπισμό αρχόμενων προβλημάτων που μπορεί να μην έχουν εμφανιστεί στις δοκιμές ελαίου ή σε άλλες εξετάσεις. Δοκιμές συντελεστή ισχύος θα πρέπει να πραγματοποιούνται πιο συχνά σε μονωτήρες που έχουν ιστορικό προβλημάτων όταν βρίσκονται σε λειτουργία ή που έχουν μια ανοδική τάση του συντελεστή ισχύος.

##### 4.3.1 Αντίσταση μόνωσης

Οι δοκιμές έλεγχου αντίστασης μόνωσης ( megger ) χρησιμοποιούνται συχνά για την ανίχνευση της υγρασίας στη μόνωση του πηνίου. Αφού στις δοκιμές έλεγχου αντίστασης μόνωσης εφαρμόζετε μια dc τάση μεταξύ των περιελίξεων και της γης, είναι πολύ σημαντικό οι περιελίξεις να είναι σωστά γειωμένες, εκτός από αυτήν την συγκεκριμένη που ελέγχεται. Είναι επίσης πολύ σημαντικό να γειωθούν όλοι οι ακροδέκτες για αρκετά λεπτά μετά από κάθε μέτρηση έτσι ώστε να απομακρυνθεί οποιοδήποτε αποθηκευμένο φορτίο. Ένα τυπικός εμπειρικός κανόνας για αποδεκτή αντίσταση περιέλιξης είναι 2 MΩ/1000 V της ονομαστικής τάσης της πινακίδα.

#### 4.3.2 Συντελεστής ισχύος

Δοκιμή για τον συντελεστή ισχύος μιας πλήρης περιέλιξης (τυλίγματος) ενδέχεται να υποδηλώνει την παρουσία υγρασίας στην στερεά μόνωση . Η δοκιμή γίνεται με την μέθοδο Doble όπου εφαρμόζονται 10,000 Vac από το ένα τυλίγμα στο άλλο και τη γείωση . Η τιμή που χρησιμοποιείται συχνά είναι 0,5 % με 1,0 % για καλή ένδειξη συντελεστή ισχύος.

Υπάρχουν και διάφορες άλλες δόκιμες που παρέχουν παρόμοιες πληροφορίες, όπως οι δοκιμές χωρητικότητας και η δοκιμή tanδ ( συντελεστής διάχυσης ) . Όλες αυτές οι δοκιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποκαλύψουν κάποιες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της μόνωση ενός μετασχηματιστή.

#### 4.3.3 Ηλεκτρική εκκένωση ρεύματος

Μερικές εκκενώσεις συμβαίνουν στη μόνωση , όταν υπάρχουν οποιοδήποτε κενά σε αυτήν. Τα κενά αυτά λειτουργούν ως μικροσκοπικοί πυκνωτές όσο αλλάζει η τάση στις περιελίξεις . Αυτοί οι μικροσκοπικοί πυκνωτές θα τείνουν να εκφορτίζονται μέσα σε αυτά τα μικρά κενά και με τον καιρό θα προκαλέσουν υποβάθμιση της μόνωσης σε εκείνη την περιοχή και αν οι μερικές εκκενώσεις είναι αρκετά υψηλές, τότε το φαινόμενο αυτό γίνεται αυτοδιαιωνιζόμενο.

Αυτή η δοκιμή μετρά το επίπεδο της δραστηριότητας των υψηλής συχνότητας εκκενώσεων που συμβαίνουν σε ένα σύστημα μόνωσης. Οι εκκενώσεις μπορεί να είναι στην εσωτερική μόνωση , δηλαδή μεταξύ του αγωγού και της μόνωσης ή οι εκκενώσεις μπορεί να συμβαίνουν στην επιφάνεια του πηνίου .

#### 4.3.4 Ακουστική Ανίχνευση Εκκένωσης

Η ακουστική ανίχνευση των μερικών εκκενώσεων χρησιμοποιεί μια μηχανική συσκευή για την ανίχνευση ή και τη μέτρηση των αποτελεσμάτων των ηλεκτρικών εκκενώσεων . Ο ακουστικός ελεγκτής ανιχνεύει τις μερικές εκκενώσεις , καθώς μεταδίδονται μέσω του ελαίου του μετασχηματιστή. Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε εργοστάσια κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες , αλλά στην πράξη είναι πολύ δύσκολο να απομονωθούν όλες οι πηγές παρεμβολών. Υπάρχουν μέθοδοι υπερήχων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μερικών εκκενώσεων , τόξων , και άλλων ειδών εκκενώσεων στον ηλεκτρικό εξοπλισμό .

## **5. Τακτική συντήρηση και επιθεωρήσεις**

Ένα καλό πρόγραμμα συντήρησης μετασχηματιστής πρέπει να έχει τη δυνατότητα έγκαιρης προειδοποίησης . Αυτό το πρόγραμμα θα πρέπει να περιλαμβάνει λεπτομερείς επιθεωρήσεις ρουτίνας και αποτελεσματική προληπτική συντήρηση.

### **5.1 Εξωτερικές Επιθεωρήσεις**

Εξωτερικός οπτικός έλεγχος θα πρέπει να γίνεται , δεδομένου ότι είναι μια καλή μέθοδος για την αποκάλυψη πιθανών προβλημάτων σε πρώιμο στάδιο . Εξωτερική επιθεώρηση και αξιολόγηση του εξοπλισμού θα μας δώσει μια ένδειξη για την κατάσταση του εξοπλισμού και ποια συντήρηση μπορεί να χρειαστεί να πραγματοποιηθεί .

Κατά τη διάρκεια της συντήρησης , το προσωπικό θα πρέπει ελέγχει για μη φυσιολογικές εξωτερικές συνθήκες , όπως :

- Χυμένα λάδια στη δεξαμενή
- Παρουσία θερμών σημείων/αποχρωματισμός μετάλλων
- Ζημιά σε μονωτήρες , αλεξικέραυνα ή και στο σύστημα ψύξης
- Επαλήθευση σωστής στάθμης λαδιού (για δεξαμενή και μονωτήρες διέλευσης)
- Οπτικός έλεγχος κατάστασης αφυγραντή
- Φυσιολογική ένδειξη του μετρητή θερμοκρασίας
- Θετική πίεση αερίου (για μετασχηματιστή με στρώμα αζώτου)
- Ύπαρξη αερίων στον ηλεκτρονόμο Buchholz
- Επαλήθευση των συναγερμών, καθώς και των ρυθμίσεων ελέγχου και διακοπής
- Βεβαιωθείτε ότι οι ανεμιστήρες ψύξης και οι αντλίες λειτουργούν σωστά
- Αναφορά τυχόν ασυνήθιστων θορύβων

Ορισμένοι έλεγχοι μπορεί να χρειαστούν να χρησιμοποιήσουμε κιάλια για να επιθεωρήσουμε σωστά ορισμένα στοιχεία .

## 5.2 Συντήρηση Μονωτήρων Διέλευσης

Βλάβη μονωτήρων μπορεί να αποδοθεί στις ακόλουθες κύριες αιτίες :

1. Εισχώρησης υγρασίας , διαρροές
2. Εσωτερικές μερικές εκκενώσεις
3. Υπερθέρμανση
4. Εξωτερική μόλυνση
5. Υπερτάσεις συστήματος
6. Οριακή σχεδίαση
7. Ακατάλληλη αποθήκευση

Οι μονωτήρες υψηλής τάσης πρέπει να διατηρούνται απαλλαγμένοι από οποιαδήποτε εξωτερική μόλυνση και θα πρέπει να εξετάζονται τακτικά. Η μόνωση από πορσελάνη θα πρέπει να εξετάζεται για σπασίματα , ρωγμές και διαρροές ελαίου. Ο κύριος στόχος είναι να αποτραπεί η ανάφλεξη που θα μπορούσε να οδηγήσει σε καταστροφική αποτυχία.

Εξωτερική μόλυνση επικαλύπτεται συνεχώς και μπορεί να γίνει αρκετά σοβαρή ώστε να προκαλέσει ηλεκτρική κατάρρευση μετά από δύο με τρία χρόνια σε μη επικαλυμμένους μονωτήρες ανάλογα με τις συνθήκες. Πρέπει να σημειωθεί ότι διάφορα είδη σφαλμάτων σε μονωτήρες είναι πολύ συχνά αίτια βλάβης των μετασχηματιστών ελαίου. Η επιθεώρηση αυτή θα πρέπει να γίνεται πιο συχνά σε χώρους όπου άλατα και αποθέσεις σκόνης μαζεύονται στους μονωτήρες .

Επειδή η σοβαρότητα της μόλυνσης εξαρτάται έντονα από τις τοπικές συνθήκες, δεν είναι δυνατό εδραιωθεί ένα γενικό διάστημα για το έργο αυτό (για παράδειγμα , το διάστημα θα μπορούσε να είναι οπουδήποτε στην περιοχή μεταξύ 2 και 10 χρόνων) , αλλά αυτή η απόφαση πρέπει να βασίζεται σε οπτικές επιθεωρήσεις και τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Καθαρισμός των μονωτήρων γίνεται συνήθως με μεθόδους θερμής πλύσης για την αφαίρεση των ρύπων που έχουν συσσωρευτεί πάνω στους μονωτήρες. Αμμοβολή με ξηρό αέρα θα αφαιρέσει με ασφάλεια μεταλλικά οξείδια , τα χημικά προϊόντα , εναποθέσεις αλατιού , και σχεδόν οποιαδήποτε ρύπανση . Άλλα υλικά , όπως αγγειοπλαστικός πηλό , ξύλο καρυδιάς ή κέλυφος πεύκου, αλεσμένο καλαμπόκι , ή θρυμματισμένα κελύφη καρύδας μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση των ρύπων . Η αμμοβολή με διοξείδιο του άνθρακα ( CO<sub>2</sub> ) είναι πιο ακριβή, αλλά ουσιαστικά εξαλείφει την ανάγκη καθαρισμού , διότι εξατμίζεται . Όποια και αν είναι η μέθοδος καθαρισμού που χρησιμοποιείται , οι καθαριστές θα πρέπει να αποφεύγουν την αφαίρεση του αρχικού υλικού που έχει τοποθετηθεί στην πορσελάνη κατά την κατασκευή . Υπάρχουν εταιρείες που ειδικεύονται στον καθαρισμό μονωτήρων σε χρήση. Οι μονωτήρες πρέπει να καθαρίζονται πριν την εφαρμογή δοκιμών για τον συντελεστή ισχύος προκειμένου να προσφέρονται αξιόλογα δεδομένα από δοκιμή σε δοκιμή .

Υπάρχουν διάφορες επιστρώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιορίσουν τη συλλογή των ρύπων σε μονωτήρες και άλλους μονωτές από πορσελάνη . Μια ελαφριά εφαρμογή ενός σιλικονούχου γράσου θα βοηθήσει στη μείωση του κινδύνου των εξωτερικών αναφλέξεων . Το μειονέκτημα αυτής της εφαρμογής είναι ότι μπορεί να συμβεί συσσώρευση γράσου . Σε υψηλή υγρασία και υγρές περιοχές , μια καλύτερη επιλογή μπορεί να είναι ένα κερι σιλικόνης υψηλής ποιότητας που εφαρμόζεται στην πορσελάνη, η οποία θα μειώσει τον κίνδυνο ανάφλεξη .Το κερι θα προκαλέσει το νερό για να σχηματίσει σταγόνες αντί για μια συνεχή ροη, η οποία μειώνει τον κίνδυνο εκρήξεως . Υπάρχουν εταιρείες που επενδύουν τους μονωτές από πορσελάνη με ένα ελαστομερές επίστρωμα που κάνει το νερό να κυλάει μακριά και διευκολύνει τον καθαρισμό τους .

Το φαινόμενο Corona (ιονισμός του αέρα) μπορεί να είναι ορατό στο επάνω μέρος των μονωτήρων κατά τις βραδινές ώρες, ιδιαίτερα τις μέρες με βροχή, ομίχλη ή υψηλή υγρασία. Το φαινόμενο Corona φυσιολογικά συμβαίνει στο πάνω τμήμα του μονωτήρα. Ωστόσο, καθώς η ρύπανση του μονωτήρα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο, εμφανίζεται ερπυσμός όλο και πιο χαμηλά. Σε αυτή την περίπτωση, ο μονωτήρας θα πρέπει να ελεγχθεί και να καθαρισθεί, και να πραγματοποιηθεί δοκιμή συντελεστή ισχύος το συντομότερο. Το όργανο corona score μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δούμε και να φωτογραφίσουμε τα χαμηλά επίπεδα Corona το σούρουπο ή τη νύχτα.

### 5.3 Συντήρηση εναλλάκτη θερμότητας

Η αύξηση της θερμοκρασίας του ελαίου συνδέεται με τη λειτουργία του εναλλάκτη θερμότητας. Ο πυρήνας και τα τυλίγματα του μετασχηματιστή διαχέουν θερμότητα μέσα στο λάδι , αυξάνοντας τη θερμοκρασία του . Έτσι, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ελαίου και του εξωτερικού αέρα εξαρτάται από την απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας. Η μείωση της απόδοσης σε έναν εναλλάκτη μπορεί να προέλθει από την ρυπαρότητα (σκόνη, βρωμιά) των επιφανειών ψύξεως . Συνιστάται να επιθεωρούνται οι εναλλάκτες θερμότητας , ειδικά αν υπάρχει κάποιο θερμικό πρόβλημα. Με την υπέρυθρη θερμογραφία μπορεί να εντοπιστεί ένα θερμαντικό σώμα που είναι σε υψηλότερη θερμοκρασία από τα υπόλοιπα σε έναν μετασχηματιστή .

Οι εναλλάκτες θερμότητας πρέπει να καθαρίζονται σε τακτική βάση, και περισσότερο σε περιοχές όπου εμφανίζονται εναποθέσεις βρωμιάς, στις σωληνώσεις και στο επάνω μέρος των εναλλακτών . Βρωμιά και άλλες εναποθέσεις εμποδίζουν τη μεταφορά θερμότητας . Τα πτερύγια των εναλλακτών καθαρίζονται με πεπιεσμένο αέρα , όταν λερωθούν. Άλλοι τρόποι καθαρισμού είναι με νερό, νερό με διάλυμα, νερό υψηλής πίεσης ή ακόμα και ατμός χαμηλής πίεσης . Πριν χρησιμοποιήσουμε οποιαδήποτε μέθοδο καθαρισμού , πρέπει να συμβουλευτούμε τις συστάσεις του κατασκευαστή ώστε να αποτραπεί οποιαδήποτε ζημιά ή διάβρωση στον εναλλάκτη.

Μια συνήθης βλάβη στους εναλλάκτες εξαναγκασμένης ψύξης λαδιού είναι τα φραγμένα πτερύγια. Το «φράξιμο» αυξάνει το φορτίο του κινητήρα, προκαλώντας πτώση του θερμικού του . Συνήθως ο καθαρισμός των πτερυγίων λύνει το πρόβλημα. Η ανακύκλωση του ζεστού αέρα ανάμεσα στις ψήκτρες , μπορεί να προκαλέσει υπέρμετρη αύξηση 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 διαρροών σε έναν εναλλάκτη θερμότητας είναι δύσκολο να επιτευχθεί . Προσωρινές επισκευές μικρών διαρροών σε χαλύβδινους εναλλάκτες με πτερύγια μπορεί μερικές φορές να γίνει με τον καθαρισμό της περιοχής με ένα διαλύτη και εφαρμόζοντας στην διαρροή μια ταχείας πήξης εποξική ρητίνη. Αυτή η επισκευή θα πρέπει να γίνεται μόνο από ειδικευμένο προσωπικό και ως προσωρινή επισκευή . Για πιο ακραίες διαρροές , ο μετασχηματιστής μπορεί να χρειαστεί να βγει εκτός λειτουργιάς και ο εναλλάκτης να αφαιρεθεί για πιο διεξοδική επισκευή. Υπάρχουν περιπτώσεις που οι εναλλάκτες κολλιούνται ενώ βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω στον μετασχηματιστή και πλήρεις από λάδι, ωστόσο αυτό είναι πολύ επικίνδυνο εγχείρημα.

#### 5.4 Συντήρηση Δεξαμενής και Συστήματος Διατήρησης Ελαίου

Η ακεραιότητα της δεξαμενής είναι υψίστης σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία και τη ζωή ενός μετασχηματιστή. Η δεξαμενή προστατεύει τα τυλίγματα , περιέχει το έλαιο , και παρέχει έναν δρόμο για την απομάκρυνση της περίσσειας θερμότητας από έναν μετασχηματιστή . Πρέπει να γίνονται έλεγχοι κυρίως για υπερβολική διάβρωση και τις διαρροές ελαίου. Κατά τη διάρκεια των επιθεωρήσεων ,πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις φλάντζες και τις τσιμούχες των( μονωτήρων , βαλβίδων , και των εναλλακτών ) και το κάτω τμήμα της κύριας δεξαμενής . Οι διαρροές ελαίου πρέπει να αναφέρονται ώστε να γίνει συντήρηση , και ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί στο δείκτη στάθμης λαδιού , αν έχουν βρεθεί διαρροές. Σοβαρά διαβρωμένα σημεία πρέπει να καθαρίζονται και να βάζονται με αντισκουριακό .

##### 5.4.1 Σύστημα Σφραγισμένης Δεξαμενής

Κατά την εγκατάσταση , ένας μετασχηματιστής βρίσκεται υπό πίεση με ξηρό αέρα ή άζωτο. Η βαλβίδα εξαέρωσης είναι σχεδιασμένη να κρατά την πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής περίπου στα 5 psi ( 0,34 bar). Αέρας ή άζωτο διοχετεύεται προς την εξωτερική ατμόσφαιρα , όταν η πίεση μέσα στη δεξαμενή είναι πάνω από 5 psi ( 0,34 bar). Αυτή η διαδικασία δεν προσθέτει υγρασία και οξυγόνο στη δεξαμενή. Ωστόσο , κατά την ψύξη , το έλαιο συστέλλεται και αν η πίεση πέσει 5 psi κάτω από την εξωτερική ατμόσφαιρα , η βαλβίδα επιτρέπει στον εξωτερικό αέρα να εισέρθει μέσα στη δεξαμενή, ο οποίος φέρει μαζί του υγρασία και οξυγόνο .

Περιοδικά , ελέγξτε το μετρητή πίεσης έναντι των εβδομαδιαίων φύλλων δεδομένων. Εάν η πίεση δεν διαφέρει ποτέ με τις εποχιακές αλλαγές της θερμοκρασίας , τότε ο μετρητής είναι ελαττωματικός. Άζωτο πρέπει να προστεθεί εάν η πίεση πέσει κάτω από 1 psi ( 0,069 bar ). Προσθέστε αρκετό άζωτο για να έρθει η πίεση στα 2 psi ( 0,137 bar) ή 3 psi ( 0,207 bar).

Στα συστήματα με σφραγισμένη δεξαμενή μπορεί να τοποθετηθεί σαν αναβάθμιση ειδικός αφυγραντής πάνω στη βαλβίδα εξαέρωσης , ώστε να αποτραπεί η εισχώρηση υγρασίας και οξυγόνου στη δεξαμενή του μετασχηματιστή.

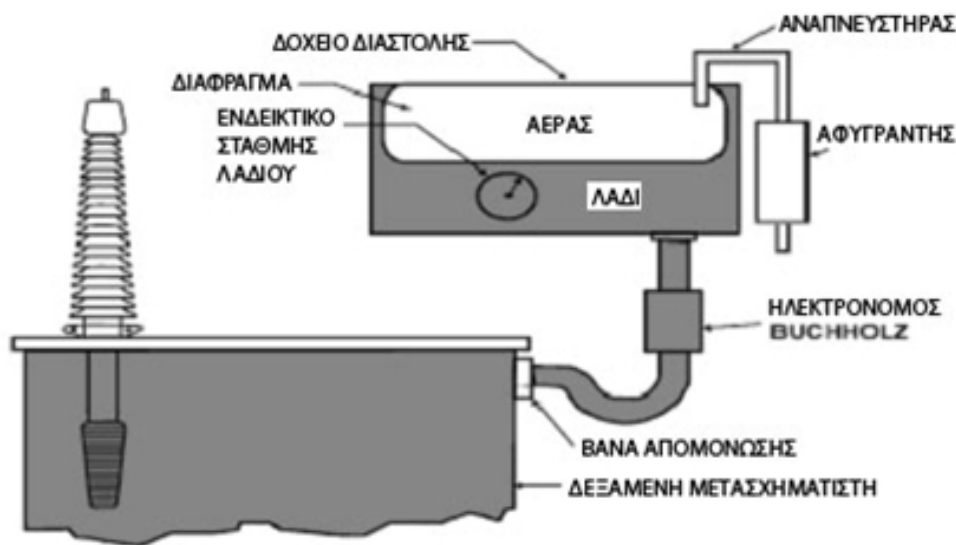
#### 5.4.2 Σύστημα Πίεσης αδρανούς αερίου

Αυτό το σύστημα διατηρεί τον χώρο πάνω από το έλαιο υπό πίεση με ένα ξηρό αδρανές αέριο , συνήθως άζωτο. Αυτός ο σχεδιασμός αποτρέπει τον αέρα και την υγρασία με το να έρχονται σε επαφή με το μονωτικό έλαιο. Τυπικά, μία φιάλη αερίου αζώτου χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της πίεσης μεταξύ 0,5 psi ( 0,034 bar) και 5 psi ( 0,34 bar).

Μετρητές πίεσης υπάρχουν στον ερμάριο του πίνακα αζώτου και για τις υψηλές και για τις χαμηλές πιέσεις. Ένας μετρητής πίεσης / κενού κανονικά συνδέεται έτσι ώστε να παίρνουμε ενδείξεις για χαμηλή πίεση αερίου μέσα στη δεξαμενή. Αυτός ο μετρητής συνήθως βρίσκεται πάνω στον μετασχηματιστή και έχει επαφές συναγερού υψηλής και χαμηλής πίεσης.

Τα συστήματα πίεσης αδρανούς αερίου είναι συνήθως εξοπλισμένα με ένα ρυθμιζόμενο , τριών στοιχείων σύστημα ελέγχου πίεσης, το οποίο διατηρεί τις τιμές της πίεσης από 0.5 psi ( 0,034 bar ) έως 5 psi ( 0,34 bar) μέσα στη δεξαμενή του μετασχηματιστή. Υπάρχει επίσης μια βαλβίδα εξαέρωσης που εξάγει αέριο στην ατμόσφαιρα , όταν η πίεση υπερβεί την πίεση ανοίγματος της βαλβίδας [ κανονικά μεγαλύτερη από 5 psi ( 0,34 bar ) έως 8 psi ( 0,55 bar) ].

#### 5.4.3 Συντήρηση δοχείου διαστολής και κύστης



Το σύστημα συντήρησης του δοχείου διαστολής αποτελείται από μια κύστη μέσα στο δοχείο διαστολής και έναν αφυγραντή στη διαδρομή ροής αέρα από την κύστη στην ατμόσφαιρα . Το εσωτερικό της κύστης είναι ανοικτό σε ατμοσφαιρική πίεση - όπως το έλαιο διαστέλλεται και συστέλλεται και όπως ατμοσφαιρική πίεση αλλάζει , η κύστη 'αναπνέει' αέρα μέσα και έξω . Αυτό κρατά τον αέρα και το ελαίου του μετασχηματιστή ουσιαστικά σε ατμοσφαιρική πίεση. Η κύστη δεν είναι εντελώς αδιαπέραστη και αέρας θα μετακινηθεί μέσω της μεμβράνης της κύστης εντός του ελαίου μετασχηματιστή . Επιπλέον , εάν μία διάτρηση λαμβάνει



χώρα στην κύστη , ο αέρας θα μετακινηθεί απευθείας μέσα στο έλαιο. Οι συνθήκες αυτές μολύνουν με υγρασία και αέρα το έλαιο του μετασχηματιστή και απαιτούν πρόληψη για να ασφαλίσει τη βέλτιστη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή .Κάθε τρία έως πέντε έτη , η φλάντζα του δοχείου διαστολής πρέπει να ανοίξει , και το εσωτερικό του δοχείου πρέπει να επιθεωρηθεί . Αν η κύστη έχει διατηρηθεί , έλαιο θα είναι παρών στο πάνω μέρος της κύστης , και θα πρέπει να αντικατασταθεί με καινούρια.

Αφυγραντές χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της υγρασίας από τον αέρα που εισέρχεται στο δοχείο διαστολής και είναι συνήθως αποξηραντικού τύπου . Το αποξηραντικό θα πρέπει να ελέγχεται σε τακτική βάση για να βεβαιωθείτε ότι εξακολουθεί να είναι σε αποδεκτή κατάσταση και να παρέχει την προβλεπόμενη λειτουργία του . Το κουτί του αφυγραντή έχει στο πλάι μια θυρίδα για να μπορούμε να επιθεωρήσουμε την εμφάνιση του αποξηραντικού . Υπάρχουν διάφοροι τύποι αποξηραντικού που χρησιμοποιούνται και το καθένα ξεκινά με διαφορετικό χρώμα όταν είναι καινούριο και αλλάζει σε ένα διαφορετικό χρώμα όταν απορροφά την υγρασία .

Μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν αποξηραντικό ,το οποίο έχει χρώμα αμμόπετρας και παίρνει χρώμα ανοικτό κίτρινο-καφέ , όταν αναλωθεί . Άλλοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν αποξηραντικό μοβ ή μπλε όταν είναι καινούριο και παίρνει χρώμα ξεθωριασμένο ροζ ή λευκό , όταν αναλωθεί.

### 5.5 Καλιμπράρισμα Μετρητών και Ρελέ

Μετρητές και Ρελέ πρέπει να καλιμπράρονται σε τακτά χρονικά διαστήματα . Ορισμένοι μετρητές μπορεί να χρειάζονται αντικατάσταση , αν δεν μπορούν να ρυθμιστούν ή αν παρεκκλίνουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των καλιμπραρισμάτων . Αυτό θα περιλαμβάνει το ρελέ ξαφνικής πίεσης ,τα ρελέ όγκου αερίου , τους μετρητές στάθμης ελαίου και τους συναγερμούς , και τους μετρητές θερμοκρασίας και πίεσης. Οι φλάντζες πρέπει να αντικαθίστανται όταν συντηρούμε τις συσκευές . Οι δείκτες θερμοκρασίας ( ειδικά οι δείκτες θερμοκρασίας τυλιγμάτων ), μπορεί να μην είναι ακριβής και συχνά είναι δύσκολο το καλιμπράρισμα τους .Θα πρέπει να δίνεται προσοχή αν οι ενδείξεις των συσκευών αυτών είναι σταθερά χαμηλές.

Δεδομένου ότι αυτά τα συστήματα πληρούνται υπό πίεση , ο δείκτης θα έχει ένδειξη low αν δεν είναι καλιμπραρισμένος. Δοκιμές στην πράξη έχουν δείξει ότι κάποιοι μετρητές θα έχουν ένδειξη 15°C έως 20°C χαμηλότερη από την πραγματική θερμοκρασία των τυλιγμάτων. Αυτό είναι επικίνδυνο για τους μετασχηματιστές , διότι θα τους επιτρέψει να λειτουργούν συνεχώς σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από ότι προορίζονται , λόγω της καθυστέρησης ενεργοποίησης συναγερμών και ψύξης . Αν τα θερμόμετρα δεν έχουν δοκιμαστεί και έχουν ρυθμιστεί εσφαλμένα, η διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή μπορεί να μειωθεί ή μπορεί να συμβεί πρόωρη αποτυχία λειτουργίας.

## 5.6 Μεταγωγέας λήψεων Load Tap Changer ( LTC )

Οι μετασχηματιστές μεταφοράς του ελληνικού συστήματος 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.

Οι μεταγωγείς λήψεων υπό φορτίο είναι ευπαθείς σε διάφορα θερμικά και μηχανικά προβλήματα. Το λάδι πρέπει να αποστραγγίζεται και όλος ο μεταγωγέας λήψεων πρέπει να επιθεωρείται για σημάδια υπερθέρμανσης και χαλαρά ή σπασμένα εξαρτήματα ή εξαρτήματα που λείπουν. Κάθε μία από τις επαφές θα πρέπει να ελέγχεται , και φθαρμένες επαφές ή επαφές που έχουν λυγίσει ή έχουν υποστεί θερμική βλάβη μπορεί να χρειαστεί να αντικατασταθούν. Φιάλες κενού , εάν χρησιμοποιούνται , θα πρέπει να ελέγχονται για την ακεραιότητά κενού. Επειδή ο μεταγωγέας λήψεων είναι μια μηχανική συσκευή , διάφορα εξαρτήματα μπορεί να χαλαρώσουν ή να ξερυθμιστούν , προκαλώντας κακή ευθυγράμμιση της επαφής . Εκκενώσεις τόξου στο λάδι κατά τη διάρκεια της διακοπής του ρεύματος θα οδηγήσει σε εναποθέσεις άνθρακα σε διάφορες επιφάνειες του μεταγωγέα. Οι εναποθέσεις αυτές πρέπει να καθαρίζονται και το λάδι πρέπει να φιλτράρετε ή να αντικαθιστάτε.

Εναποθέσεις οπτανθρακοποίησης στους διακόπτες εναλλαγής του μεταγωγέα λήψεων υπό φορτίο ( LTC ) μπορεί να συμβεί όταν αυτός δεν περνά από την ουδέτερη θέση για μεγάλο χρονικό διάστημα και οι επαφές δεν έχουν σκουπιστεί, καθαριστεί. Στις επαφές τότε παρατηρούμε εναποθέσεις οπτάνθρακα ( κοκ ), το οποίο μπορεί να βλάβει μόνιμα τις επαφές η ακόμα και να προκαλέσει βλάβη στον μεταγωγέα. Η ρύθμιση του θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να περνά από την ουδέτερη θέση σε συχνή βάση. Αν αυτό δεν γίνεται, τότε ο μεταγωγέας λήψεων θα πρέπει να αλλάζει θέση χειροκίνητα μέσω της ουδέτερης θέσης αρκετές φορές τουλάχιστον κάθε εξήντα ημέρες. Η συχνότητα αλλαγής θέσης χειροκίνητα εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας. Κάποιες τεχνικές που έχουν αποδειχτεί ότι περιορίζουν πιθανά προβλήματα επαφής λόγω εναποθέσεων κοκ είναι, η εγκατάσταση on-line φίλτρων ελαίου του μεταγωγέα και η αντικατάσταση των αρχικών επαφών των διακοπών εναλλαγής με βελτιωμένες θερμικής ικανότητας επαφές.



Εικόνα 28 : Μεταγωγέας λήψεων OLTC



Damaged reversing switch contacts Phase B in the LTC  
FIGURE 1

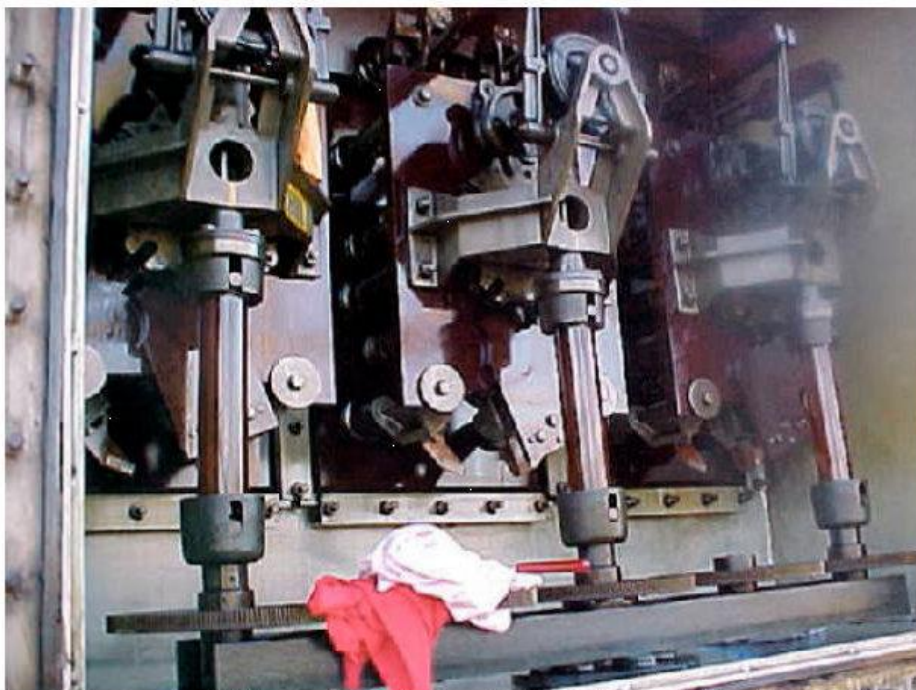


Close-up view of the damaged reversing switch contacts  
FIGURE 2





Damaged contacts on Phase B reversing switch  
FIGURE 3



LTC operating mechanism showing 3-phase assembly with new  
reversing switch contacts on Phase B  
FIGURE 4

### 5.7 Μετασηματιστές Οργάνων

Στους μετασηματιστές συναντάμε τους Μετασηματιστές Έντασης και τους Μετασηματιστές Τάσης. Το λάδι στους Μετασηματιστές Έντασης θα πρέπει να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα . Δοκιμές του συντελεστή ισχύος του ελαίου θα πρέπει να γίνονται για να καθοριστεί η κατάσταση του ελαίου . Ορισμένες εταιρείας παρακολουθούν συνεχώς τους Μετασηματιστές Έντασης, τους βγάζουν εκτός λειτουργίας και τους αντικαταστούν πριν αποτυγχάνουν .

Οι Μετασηματιστές Τάσης είναι λιγότερο προβληματικοί από τους Μετασηματιστές Έντασης, αλλά εξακολουθούν να χρειάζονται συντήρηση . Συνήθως , οι δοκιμές ελαίου για τους Μετασηματιστές Τάσης γίνονται σε διαστήματα 3 ετών.

### 5.8 Αλεξικέραυνα /Απαγωγοί Υπερτάσεων

Στα αλεξικέραυνα / απαγωγούς υπερτάσεων πραγματοποιείτε συνήθως οπτικός έλεγχος . Τα στοιχεία που πρέπει να ελέγχονται κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Διαβρωμένος ή χαλαρός αγωγός γείωσης
- Σπασμένοι ή ραγισμένοι πορσελάνινοι μονωτές
- Ενεργοποιημένη συσκευή ανακούφισης πίεσης
- υπερθερμασμένα σημεία γύρω από τη βάση και ή την κορυφή των απαγωγών
- Ενδείξεις σχηματισμού ηλεκτρικών εκκενώσεων

### 5.9 Λειτουργικές δοκιμές

Ορθή λειτουργία των διαφόρων βοηθητικών συσκευών μπορεί να επιβεβαιωθεί με την εκτέλεση των παρακάτω λειτουργικών δοκιμών :

1. Βεβαιωθείτε ότι οι κατάλληλες ομάδες αντλιών και ανεμιστήρων του ψυγείου λειτουργούν στα κατάλληλα σημεία ρύθμισης .
2. Βεβαιωθείτε ότι όλοι οι συναγερμοί λειτουργούν στα κατάλληλα σημεία ρύθμισης .
3. Βεβαιωθείτε ότι οι απομακρυσμένες περιοχές λαμβάνουν ειδοποιήσεις , αν ενεργοποιηθούν οι συναγερμοί .
4. Βεβαιωθείτε ότι ο μεταγωγέας λήψεων περιστρέφεται τόσο χειροκίνητα όσο και ηλεκτρικά .

## **6. Όργανα μέτρησης και ηλεκτρονόμοι**

### **6.1 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 λαδιού 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.



Εικόνα 29 : Θερμόμετρο ελαίου

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).
- Ύπαρξη σκουριάς στο εσωτερικό του οργάνου
- Ύπαρξη υγρασίας (θολό μπροστινό κρύσταλλο)
- Ηλεκτρικός έλεγχος των επαφών

## 6.2 Θερμόμετρο τυλιγμάτων

Το θερμόμετρο τυλιγμάτων δίνει τη θερμοκρασία στο θερμότερο σημείο του τυλιγματος. Ωστόσο η μέτρηση δεν είναι άμεση αλλά έμμεση, αφού τα θερμόμετρα δεν μετρούν την πραγματική θερμοκρασία αλλά την τιμή που προκύπτει από προσομοίωση. Το τύλιγμα προσομοιώνεται 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.



Εικόνα 30 :Θερμόμετρο τυλιγμάτων

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 θερμόμετρο 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).

### 6.3 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 λίγα 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 καλύμματος της βαλβίδας, εκτονώνοντας έτσι την πίεση.

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 διάφραγμα επανέρχεται στην αρχική του θέση με τη βοήθεια ελατηρίων που βρίσκονται κάτω από το κάλυμμα στο εσωτερικό της βαλβίδας. Ο πείρος επανέρχεται στην αρχική θέση (εσοχή) μόνο μετά από χειροκίνητη επαναφορά.



Εικόνα 31: Ανακουφιστική βαλβίδα

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 δοκιμές 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. Αν οφείλεται σε βλάβη της τελευταίας, κατά την παραγγελία πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε η νέα συσκευή να αντιστοιχεί στην υποδοχή της προηγούμενης.

### 6.4 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 ταχύτατα. Η διαφορά στην πίεση ανασηκώνει τον σύνδεσμο εξισορρόπησης των δύο φυσητήρων και ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο. Όταν η πίεση εξισωθεί, ο ηλεκτρονόμος άμεσης εκτόνωσης επαναφέρεται αυτόματα στην αρχική του κατάσταση.



Εικόνα 32 : Ρελέ ξαφνικής εκτόνωσης

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 κυκλώματος διέγερσης με τη βοήθεια πολύμετρου και αντιστοίχιση των σημάνσεων

## **7. Αφυγραντής**

Η υγρασία η οποία βρίσκεται στον αέρα που περιέχεται στο άνω τμήμα του δοχείου διαστολής απομακρύνεται με τους αφυγραντές. Οι αφυγραντές περιέχουν γυροσκοπικούς 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, Όταν η περιεχόμενη υγρασία αυξηθεί, το χρώμα αλλάζει σε περισσότερο από τα 2/3 του μήκους του, ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω. 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-περιβαλλοντικά φιλικούς-οργανικούς χρωματικούς δείκτες οι οποίοι αλλάζουν το χρώμα από πορτοκαλί σε άχρωμο.

Η συντήρηση είναι κάποια από τις επόμενες ενέργειες:

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

## **8. Φλάντζες**

Οι φλάντζες είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση της στεγανότητας του εξοπλισμού. Πρέπει να είναι απολύτως στεγανές για να μην ρυπαίνουν το λάδι ενώ η ελαστικότητά τους πρέπει να είναι αυξημένη για να απορροφούν τυχόν ατέλειες και κραδασμούς κατά τη λειτουργία. Παράλληλα πρέπει να είναι ανθεκτικές σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες. Η σωστή επιλογή μιας φλάντζας σχετίζεται με τα εξής:

1. το υλικό
2. το σχέδιο της επιφάνειας σφράγισης

3. τις θερμοκρασίες αντοχής
4. τον τύπο του μονωτικού υγρού
5. την πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής

Το πρότυπο ASTM F104-3(2009) δίνει τη γενική κατάταξη των φλαντζών.

#### Υλικά κατασκευής φλαντζών

Οι φλάντζες χωρίζονται στους παρακάτω τύπους ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους:

- Φελλού – Νιτριλίου
- Φελλού – Νεοπρένιου
- Νιτριλίου
- Viton

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Power Transformer Maintenance and Application Guide, EPRI, Palo Alto, CA: 2002. 1002913
2. Fist 3-30 transformer maintenance facilities instructions, standards, and techniques
3. FACILITIES INSTRUCTIONS, STANDARDS, AND TECHNIQUES VOLUME 3-31 TRANSFORMER DIAGNOSTICS HYDROELECTRIC RESEARCH AND TECHNICAL SERVICES GROUP UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION JUNE 2003
4. Χαρακτηρισμός Γήρανσης Μονωτικών Ελαίων Μετασχηματιστών – Φυσικοχημικές / Αναλυτικές Μέθοδοι και Διηλεκτρική Φασματοσκοπία. Μέρος Ι – Θεωρητική Ανάλυση Χ. Δ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ Ε.Μ.Π. Π. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.
5. Department of the Army TM 5-686, Power Transformer Maintenance and Acceptance Testing, 16 November 1998
6. Transformer oil analysis Neil Robinson I.A.R. Gray - Transformer Chemistry Services pdf
7. Τεχνικό Τετράδιο Νο 2 Μετασχηματιστές Διανομής Λαδιού ΕΛΒΗΜ – Χρήση και Συντήρηση, Schneider Electric
8. Maldague, Xavier P.V – “Infrared methodology and technology”, 1994
9. Maldague, Xavier P.V – “Nondestructive evaluation of materials by infrared thermography”, 1993
10. Ραΐτσιος Π. Ε., «Μελέτη Μετασχηματιστών», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα 2000.
11. Χαλκός και κράματα χαλκού – Πλάκες, φύλλα και ταινίες χαλκού για ηλεκτρικές εφαρμογές”, ΕΛΟΤ EN 13599, 2003-09-24
12. Γνωρίζετε για το χαρτί Kraft;”, Επιπλέον, τεύχος 41, 8/2009

13. Προδιαγραφές για χαρτόνι και πεπιεσμένο χαρτί για ηλεκτρικές χρήσεις Μέρος 1: Ορισμοί και γενικές απαιτήσεις”, ΕΛΟΤ EN 60641.01, 2η Έκδοση, 2008-01-24
14. Testing of Power Transformers, Routine tests, Type tests and Special tests, Ake
15. Carlson, Jitka Fuhr, Gottfried Schemel, Franz Wegscheider, 1st Edition, ABB
16. The art and science of measuring the winding resistance of Power Transformers, Oleh W. Iwanskiw
17. Transformer Turn Ratio Testing , Jeff Jowelt, Neta World The Official Publication of the InterNational Electrical Testing Association, Winter 2005-2006
18. “Three Phase Transformer Winding Configurations and Differential Relay Compensation”, Larry Lawhead, Randy Hamilton, John Horak, 60th Annual Georgia
19. Tech Protective Relay Conference, May 2-5, 2006
20. Guide for Testing Power Transformers – Routine test”, Tesar, 2002
21. Διπλωματική Εργασία « Συντήρηση μετασχηματιστών μεταφοράς» Δημήτριος Γιαννόπουλος