

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1510

**ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΜΕ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΑΝΟ-ΥΛΙΚΩΝ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ.**

ΣΑΓΙΑΝΝΗΣ ΜΙΧΑΗΛ (5696)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2017

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

©2017-All rights reserved

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η “Πτυχιακή Εργασία” αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση του σπουδαστή ώστε να καταστεί πτυχιούχος. Έχει ως στόχο την εμβάθυνση σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο σχετικό με αυτά που έχει διδαχθεί κατά τη διάρκεια της φοίτησής του στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε στα πλαίσια των σπουδών μου ως Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τεχνολογικής Εκπαίδευσης, στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΠΑΤΡΑ) κατά την περίοδο 2015-2017.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου, οι οποίοι με βοήθησαν κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών, προσφέροντάς μου απλόχερα πολύτιμες γνώσεις, οι οποίες συνέβαλαν στην επιστημονική μου κατάρτιση, την επαγγελματική μου σταδιοδρομία και στη βελτίωση μου ως άνθρωπο.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή της πτυχιακής **κ. Βασίλειο Χαραλαμπάκο, Επίκουρο καθηγητή**, για την βοήθεια, τις συμβουλές και την καθοδήγηση του, καθ’ όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας, καθώς και την άριστη συνεργασία που είχαμε, δηλώνοντας παρών για όποια απορία και πρόβλημα προέκυπτε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την οικογένεια μου, για την συμβολή και την στήριξη που έδειξε σε αυτό το ταξίδι των σπουδών μου.

*“Στον πατέρα μου οφείλω το ζην
Στον δάσκαλο μου το ευ ζην.»*

Μέγας Αλέξανδρος

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, σε πρώτη φάση, γίνεται γενικότερη αναφορά πάνω σε μία από τις τρεις μεγαλύτερες κατηγορίες υλικών ως προς τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες, τα διηλεκτρικά (μονωτές) και πιο συγκεκριμένα στα υγρά. Αρχικά, γίνεται μια ιστορική αναδρομή γύρω από αυτά και μια σύντομη πρώτη γνωριμία στην κατηγορία των διηλεκτρικών αυτών.

Στα επόμενα κεφάλαια, γίνεται μία άκρως λεπτομερή ανάλυση στις κατηγορίες των υγρών μονωτικών και αναλύονται μεταξύ άλλων, οι τρόποι παραγωγής τους, οι ιδιότητες τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα χρήσης τους, τόσο στους ηλεκτρολογικούς εξοπλισμούς και μηχανήματα, όσο και στην χρησιμότητα τους στην βιομηχανική πτυχή του ηλεκτρισμού.

Στην συνέχεια μελετάται αναλυτικά η ηλεκτρική διάσπαση των υγρών προκειμένου να κατανοηθούν όλοι οι μηχανισμοί διάσπασης τους, καθώς και η βαρύτητα του καθένα από αυτούς. Τέλος και με μεγαλύτερη προσήλωση, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση σε μια καινούρια κατηγορία μονωτικών λαδιών, αποκαλούμενα ως βιοδιασπώμενα νάνο-υλικά (Nano fluids), στις ιδιότητες και στις διαδικασίες παρασκευής τους.

Η τελευταία κατηγορία υγρών μονωτικών, η χρήση και η σκοπιμότητα τους έγκειται στην αντικατάσταση των ήδη ευρέως διαδεδομένων μονωτικών λαδιών, δια μέσω της ενσωμάτωσης νανοσωματιδίων, που σκοπό έχουν την βελτίωση των υγρών ως προς την οικολογική-περιβαλλοντική τους επίδραση, την διηλεκτρική τους αντοχή αλλά και την αντιστροφή πιθανών αρνητικών φαινομένων γήρανσης εξαιτίας παραπροϊόντων.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

SYNOPSIS

In this thesis, in the first place is made a general report on one of the three largest categories of materials, as to their electrical properties, the dielectrics (insulators) and more specifically in liquids.

Initially, it is made a historical review around them and a short first acquaintance in the category of dielectrics. In the next chapters, it is made a very detailed analysis on categories of liquid insulation and analyzed into alia, the modes of production, the properties, advantages and disadvantages of their use. Both the electrical equipment and machinery and their utility in the industrial aspect of electricity.

Then it is studied in detail, the electrical breakdown of liquids, in order to understand all the mechanisms of degradation, as well as the importance of each of them. Finally, and with greater dedication special emphasis is placed in a new category of insulating oils, their properties and manufacturing processes, called as biodegradable Nano materials (Nano fluids).

The last category of insulating liquids, use and desirability, lies in replacing the already widespread insulating oils, through the integration of Nano-particles, which are aimed at the improvement of liquids. As in the ecological-environmental effect, the dielectric resistance and the reversal of potential negative phenomena of ageing, due to by-products.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
SYNOPSIS.....	v
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	6
2.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ (TRANSFORMERS)	6
2.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
2.3 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	16
3.1 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ	16
3.2 ΕΙΔΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ	17
3.2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ	19
3.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ	21
3.3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	22
3.3.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	25
3.3.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ	26
3.3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	29
3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ.....	31
3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	35
3.6 ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ.....	36
4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	41
4.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	41
4.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ.....	42
4.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	43
4.4 ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ	46
4.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΪΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ	48

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	50
5.1 ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ ΕΛΑΙΑ (ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ)	50
5.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΣΤΕΡΩΝ	51
5.2.1 RETROFILLING (ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΕΛΑΙΩΝ)	52
5.3 ΦΥΣΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ ΕΝ ΔΡΑΣΗ	53
5.3.1 ENVIROTEMP [™] FR3 [™]	53
5.3.2 MIDEL eN 1215	55
5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	60
6.1 ΝΑΝΟΕΛΑΙΑ (NANOFLUIDS)	60
6.2 ΚΛΙΜΑΚΑ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ	62
6.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΝΑΝΟΎΛΙΚΩΝ	64
6.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟ ΡΕΥΣΤΩΝ	66
6.4.1 ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (AC)	66
6.4.2 ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC)	69
6.4.3 ΩΘΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ	70
6.5 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	70
6.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΕΛΑΙΩΝ	71
6.6.1 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΝΑΝΟΕΛΑΙΟΥ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	72
6.6.2 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΝΑΝΟΕΛΑΙΟΥ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	73
6.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχήμα 1.1

Καθώς τα χρόνια περνούν, οι γεννεές διαδέχονται η μία την άλλη, οι κοινωνίες αυξάνονται και πληθαίνουν, οι ανάγκες για εξέλιξη μεταβάλλονται και αυτές αυξητικά. Μέσα σε όλα αυτά το κύριο επίκεντρο είναι ο άνθρωπος. Με την επιμονή του, την παρατηρητικότητα, την εφευρετικότητα και το εγώ του, προσπαθεί καθημερινά να δημιουργήσει ένα πιο βέλτιστο αέριο για τον ίδιο και όλα αυτά μέσω της τεχνολογίας. Μα μέσα στον όρο αυτόν της τεχνολογίας, δεν θα μπορούσε να απουσιάζει η μεγάλη επιστήμη του ηλεκτρισμού. Προσπάθεια για ανάλυση και χρήση της προς το όφελος του, όπως τόσοι και τόσοι σπουδαίοι επιστήμονες και εφευρέτες έκαναν στο παρελθόν, ένας από αυτούς και ο μεγάλος Νικόλα Τέσλα.

Έτσι λοιπόν, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, καθώς οι ανάγκες μεγαλώνουν ολοένα και περισσότερο, έτσι και η ανάγκη για μεγαλύτερα φορτία ηλεκτροδότησης και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις κοινωνίες και τον γνωστό κόσμο γίνονται επιτακτικά. Κυρίαρχο ρόλο της διαδικασίας αυτής, διαδραμάτισαν μέχρι και σήμερα οι γνωστοί σε όλους μετασχηματιστές ((Μ/Σ) τάσης. Μετασχηματιστές διαφόρων τύπων και λειτουργιών που θα αναλυθούν στο 2^ο κεφάλαιο. Βασικός όμως παράγοντας της εύρυθμης λειτουργίας των Μ/Σ, είναι μια κατηγορία μονωτικών: τα υγρά και πιο συγκεκριμένα τα υγρά διηλεκτρικά. Ας ρίξουμε όμως μια μικρή ματιά στην ιστορία τους και πως αυτά πρωτοεμφανίσθηκαν, άλλα και χρησιμοποιήθηκαν.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ

Τα ηλεκτρικά μονωτικά ορυκτέλαια αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στο τέλος του 19ου αιώνα. Σχεδόν όλοι οι φέροντες μετασχηματιστές στα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο γεμίζονται με κάποιο είδος αυτού του υγρού. Το υγρό λειτουργεί ως διηλεκτρικό μονωτικό και ως υγρό μεταφοράς θερμότητας. Σήμερα, υπάρχει η τάξη ενός δισεκατομμυρίου γαλονιών αυτών των πετρελαιοειδών, βασικά μονωτικά έλαια που χρησιμοποιούνται, σε μετασχηματιστές, μόνο στις Η.Π.Α. Οι μετασχηματιστές σε συστήματα διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να λειτουργήσουν αξιόπιστα και αποτελεσματικά και να το πράττουν για πολλά χρόνια. Η ποιότητα του πετρελαίου σε έναν μετασχηματιστή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εκτέλεση αυτής της λειτουργίας. Ορυκτέλαια που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρική συσκευή, ορίζονται ότι έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν αξιόπιστες επιδόσεις για πολλά χρόνια. Τα λάδια που χρησιμοποιούνται στους μετασχηματιστές κατασκευάζονται από πολλούς περιφερειακούς και διεθνείς οργανισμούς, εταιρείες ραφινάρισματος, καθένας από τους οποίους χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο αργό πετρέλαιο και τεχνολογία διύλισης.

Τα χημικά, ηλεκτρικά και φυσικά χαρακτηριστικά του ελαίου του μετασχηματιστή που παράγεται από κάθε προμηθευτή τότε είναι, σε κάποιο βαθμό, μοναδικά για το ίδιο το έλαιο. Για να βεβαιωθείτε ότι ένα λάδι είναι αποδεκτό για χρήση σε συγκεκριμένες συσκευές, τα σχετικά χαρακτηριστικά καθορίζονται στις προδιαγραφές που έχουν συμφωνηθεί από τους κατασκευαστές και τους χρήστες του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και των διυλιστηρίων των ελαίων. Αυτές οι προδιαγραφές ή οι οδηγοί, αναπτύσσονται από ομάδες αποτελούμενες από εμπειρογνώμονες σε μετασχηματιστές και υλικά μετασχηματιστών. Προκειμένου να αξιολογηθούν τα σημερινά διηλεκτρικά υγρά, είναι απαραίτητο να συγκριθεί η εξέλιξη της μηχανής EDM (μηχανική κατεργασία με ηλεκτρική εκκένωση) με εκείνη των διηλεκτρικών. Το 1943 οι Λάζαρενκος ανακάλυψαν ότι η διαβρωτική επίδραση των εκκενώσεων των πυκνωτών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία των μετάλλων - εξ ου και η ανακάλυψη του EDM. Αρχικά, ο συνηθισμένος αέρας χρησιμοποιήθηκε ως διηλεκτρικό και πολύ σύντομα μετά τα παράγωγα ορυκτελαίου βρέθηκαν να έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Χημικά δορυφορικά ηλεκτρόδια συμβάλλουν στην ομοιόμορφη κατανομή της σπίθα Κηροζίνη χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα χρόνια και εξακολουθεί να είναι σε ορισμένες χώρες του τρίτου κόσμου.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Έκτοτε, οι βελτιώσεις στις διεργασίες διύλισης έχουν καταστήσει αυτά τα υγρά πιο αποδεκτά, αλλά η εξέλιξη τους υπολείπεται των τεχνικών βελτιώσεων των μηχανών EDM κατά την ίδια περίοδο. Σκεφτείτε τα πρώιμα EDM με τροφοδοτικά τύπου σωλήνα που είναι διαθέσιμα τη δεκαετία του 1950. Οι σταθερές βελτιώσεις κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών οδήγησαν σε σύγχρονες, "τρανζιστοποιημένες" πηγές τροφοδοσίας. Παρακολουθούν αυτόματα τις συνθήκες κοπής και πραγματοποιούν τις απαραίτητες ρυθμίσεις για να διατηρήσουν αποτελεσματικά την κοπή EDM ακόμα και στις χειρότερες συνθήκες. Τα σερβοσυστήματα έχουν περάσει από διάφορα στάδια του υδραυλικού εξοπλισμού στους σύγχρονους ηλεκτροκινητήρες DC και AC που βελτιώνουν τις δυνατότητες ακρίβειας και κοπής. Τι συμβαίνει με την εξέλιξη από μηχανήμα χειρός σε τροχιά, σε συστήματα πλήρους ψεκασμού CNC, αυτόματων εργαλειομηχανών, ρομπότ και Fuzzy Logic. Το γεγονός είναι, σε σύγκριση με την εξέλιξη των μηχανών EDM, ακόμη και τα πιο δημοφιλή, εξαιρετικά εκλεπτυσμένα, πετρελαιοειδή διηλεκτρικά υπολείπονται σε γενικές βελτιώσεις.

Υπάρχουν τρεις καταστάσεις υλικών-στερεών, υγρών και αερίων και αυτές οι καταστάσεις είναι χαρακτηριστικά που συνδέονται καλύτερα με συγκεκριμένους τύπους ηλεκτρικών μηχανών ή εφαρμογών. Για παράδειγμα, η στερεή μόνωση έχει επηρεαστεί περισσότερο από περιστρεφόμενες μηχανές, υγρή μόνωση από μετασχηματιστές και αέριο μόνωση με διακόπτες ή διακόπτες. Τα έλαια με βάση πετρέλαιο έχουν χρησιμοποιηθεί ως υγρά διηλεκτρικά για τους μετασχηματιστές πριν από το 1887. Αυτά τα παραφινικά έλαια πετρελαίου χαμηλού ιξώδους εξυπηρετούσαν το σκοπό της παροχής ανώτερης μόνωσης όταν εμποτίστηκαν σε χαρτί ή σε άλλα στερεά διηλεκτρικά. Παρέχουν επίσης ένα εξαιρετικό μέσο μεταφοράς θερμότητας για την αφαίρεση της θερμότητας που παράγεται από ηλεκτρικές απώλειες. Τα παραφινικά άλατα περιέχουν μεγάλες ποσότητες παραφινικού κεριού και ως εκ τούτου έχουν υψηλά σημεία ροής που τα καθιστούν απαράδεκτα για χρήση σε ηλεκτρικές συσκευές που εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η οξειδωση των βαρελιών με βάση την παραφίνη παράγει μια αδιάλυτη λάσπη, η οποία αυξάνει το ιξώδες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες δυνατότητες μεταφοράς θερμότητας, υπερθέρμανση και μειωμένη διάρκεια ζωής. Ως αποτέλεσμα αυτής της παραφίνης οι ακατέργαστες ουσίες αντικαταστάθηκαν με ναφθενικά έλαια. Αν και τα ναφθενικά έλαια είναι πιο εύκολα οξειδωμένα από τα παραφινικά αλλά τα προϊόντα οξειδωσης είναι διαλυτά στο έλαιο, οδηγεί σε μείωση του προβλήματος. Τα ναφθενικά έλαια περιέχουν αρωματικές ενώσεις που παραμένουν υγρές σε συγκριτικά χαμηλές θερμοκρασίες, όπως στους -40°C . Τα ναφθενικά ακατέργαστα προϊόντα ονομάζονταν επίσης παράκτια Crudes. Μία από τις πρώτες ανησυχίες με το μονωτικό πετρέλαιο με βάση τα ορυκτά ήταν η ευφλεκτότητα του.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Οι Askarels αποτελούν μια ομάδα συνθετικών, ανθεκτικών στη φωτιά, χλωριωμένων αρωματικών υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικά μονωτικά υγρά για εφαρμογές όπου τα εύφλεκτα ορυκτά έλαια δεν ήταν αποδεκτά του 5ου Εθνικού Συνεδρίου. Ο πρώτος μετασχηματιστής Askarel κατασκευάστηκε το 1932 και περιείχε Aroclor (πολυχλωριωμένο διφαινύλιο, PCB's). Η χρήση των Aroclors ως μη εύφλεκτων μονωτικών υγρών συνεχίστηκε μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1970, όταν διαπιστώθηκε ότι δεν ήταν πλέον περιβαλλοντικά αποδεκτά. Με τη διακοπή του PCB η βιομηχανία μετατράπηκε σε υγρά σιλικόνης (πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο ή PDMS). Οι σιλικόνες έχουν εξαιρετικές ηλεκτρικές μονωτικές ιδιότητες, υψηλότερο σημείο ανάφλεξης από τα πετρελαιοειδή, λιγότερο εύφλεκτα υγρά, εξαιρετικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες και θερμική σταθερότητα λόγω της υψηλότερης ενέργειας δέσμευσης του δεσμού: Si-O σιλοξάνης που είναι ο λόγος για τον οποίο τα λάδια σιλικόνης έχουν υιοθετηθεί για την αντικατάσταση του PCB. Στο πρώτο στάδιο, η μόνωση Kraft από χαρτί / σιλικόνη χρησιμοποιήθηκε για τη μόνωση και στη συνέχεια άλλαξε στο σύστημα λαδιού αραμιδίου / σιλικόνης. Τα συστήματα μόνωσης αραμιδίου / σιλικόνης έχουν χρησιμοποιηθεί για περισσότερα από 20 χρόνια, αλλά δεν υπήρχαν αρκετά βασικά στοιχεία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση και τη διάγνωση της μόνωσης σε σύγκριση με τα δεδομένα του συστήματος χαρτιού Kraft / ορυκτέλαιου. Μια δεύτερη εμπορική εναλλακτική λύση στα ρευστά των PCB ήταν τα υψηλού μοριακού βάρους ή τα αποκαλούμενα υδρογονανθράκων υψηλής θερμοκρασίας (HTH). Αρκετά από αυτά τα εμπορικά ρευστά υψηλής πυκνότητας υδρογονανθράκων ήταν διαθέσιμα. Ήταν καλά ηλεκτρικά μονωτικά υγρά, ωστόσο, όπως οι σιλικόνες, ήταν επίσης εύφλεκτα αλλά με υψηλά σημεία ανάφλεξης.

Μετασχηματιστές γεμισμένοι με συνθετικά υγρά όπως σιλικόνη, εστέρας, υπερχλωροαιθυλένιο χρησιμοποιούνται σήμερα σε ειδικές εφαρμογές. Αυτά τα υγρά έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτά των λαδιών των μετασχηματιστών και κανονικά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως άμεσες αντικαταστάσεις για πετρελαιοειδή σε λειτουργία ή για επισκευασμένες μονάδες. Έχουν καλές ιδιότητες διηλεκτρικής και θερμικής μεταφοράς αλλά το σχετικά υψηλό κόστος και διαθεσιμότητα τους έχει περιορίσει τη χρήση τους σε ειδικές εφαρμογές μετασχηματιστών. Μέρη της οικογένειας χλωροφθορανθράκων (Freons) χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά ως ηλεκτρικά μονωτικά υγρά. Αυτά τα υλικά δεν είναι εύφλεκτα, έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά ηλεκτρικής μόνωσης, αλλά είναι ακριβά. Τα επίπεδα του σημείου βρασμού είναι αρκετά χαμηλά και έτσι εξατμίζονται σε κανονικές θερμοκρασίες λειτουργίας του μετασχηματιστή. Αυτό έδωσε την ευκαιρία να παράγει ηλεκτρικό εξοπλισμό χρησιμοποιώντας δύο φάσεις ψύξης που είναι μια πολύ αποτελεσματική διαδικασία αφαίρεσης θερμότητας. Το τετραχλωροαιθυλένιο (C₂Cl₄) είναι ένα μη εύφλεκτο μονωτικό υγρό που εισήχθη εμπορικά το 1980 με την εμπορική ονομασία "WECOSOL". Έχει καλές ηλεκτρικές ιδιότητες και είναι υγρό χαμηλού ιξώδους που παρέχει εξαιρετική μεταφορά θερμότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνη του ή αναμιγνύεται καλά με μεταλλικό μετασχηματιστή ώστε να παραμείνει μη εύφλεκτο και να παρέχει βελτιωμένες ιδιότητες λίπανσης σε χαμηλότερο κόστος.

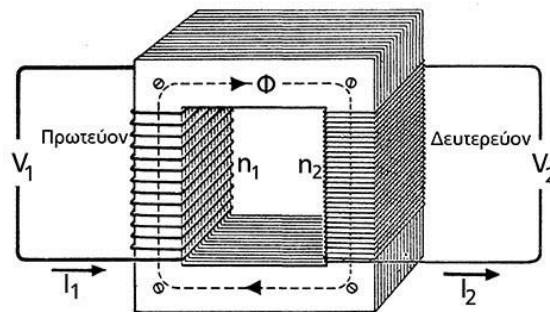
Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Το ισοπροπυλοδιφαινύλιο είναι ένα ρευστό υδρογονανθράκων αποτελούμενο από προπυλιωμένα διφαινυλικά ισομερή που χρησιμοποιείται ως διηλεκτρικό υγρό πυκνωτή. Εισήχθη με την εμπορική ονομασία WEMCOL ως αντικατάσταση των πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (PCB's) το 1978. Δεν είναι ούτε εύφλεκτο ούτε "λιγότερο εύφλεκτο", αλλά έχει εξαιρετικές ιδιότητες για ένα μονωτικό υγρό πυκνωτή. Η επιλογή του αργού πετρελαίου είναι το πιο σημαντικό βήμα στην κατασκευή του μονωτικού ελαίου. Ο βαθμός εξευγενισμού του ακατέργαστου και το είδος της διαδικασίας και της επεξεργασίας μπορεί να μεταβάλλουν σημαντικά τα συστατικά στο τελικό προϊόν. Στη διεργασία εξευγενισμού επιλέγονται τα πλέον επιθυμητά χαρακτηριστικά του αργού πετρελαίου και αφαιρούνται τα λιγότερο επιθυμητά συστατικά. Το τελικό προϊόν είναι μια δομή με τις επιθυμητές αναλογίες αρωματικών δακτυλίων, ναφθενικών και παραφινών.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ (TRANSFORMERS)



Ο πρώτος μετασχηματιστής

Το 1831, ο Michael Faraday πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων που αποδεικνύουν πειστικά την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η πρώτη πρόοδος στην επίλυση του προβλήματος της παραγωγής ηλεκτρισμού από μαγνητισμό συνέβη στις 29 Αυγούστου 1831. Την ίδια μέρα πήρε ένα μαλακό σιδερένιο δακτύλιο 7/8 ίντσας παχύ και 6 ίντσες σε εξωτερική διάμετρο.

Περίπου το ήμισυ της περιφέρειας του δακτυλιδιού (την οποία πλευρά ονόμασε A), περιτύλιξε τρία πηνία συρμάτων. Κάθε πηνίο είχε 24 πόδια από σύρμα με τις στροφές να χωρίζονται από κρασί και τσίπι (είδος βαμβακερού υφάσματος). Στην άλλη πλευρά (πλευρά B), που την χώρισε από την πλευρά A με απόσταση, περιτύλιξε 60 πόδια του σύρματος σε δύο ξεχωριστά πηνία στην ίδια κατεύθυνση με τα προηγούμενα πηνία. Συνέδεσε τα δύο πηνία στην πλευρά B σε σειρά και έφερε το συνδετικό καλώδιο πάνω από μια μαγνητική βελόνα. Έπειτα, συνέδεσε ένα από τα πηνία της πλευράς A σε μια μπαταρία και έκλεισε το κύκλωμα στην πλευρά A. Η μαγνητική βελόνα στην πλευρά B, το αισθάνθηκε αμέσως, ταλαντεύτηκε και στη συνέχεια επέστρεψε στην αρχική της θέση. Παρατήρησε μια περαιτέρω διαταραχή της βελόνας μόνο όταν έσπασε τη σύνδεση της μπαταρίας στην πλευρά A, αλλά αυτό ήταν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η αναφορά του Faraday για αυτή τη στιγμιαία διαταραχή της μαγνητικής βελόνας ήταν η πρώτη επίδειξη αυτού που είναι σήμερα γνωστό ως ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Μόλις πήρε τη σωστή διαδρομή, τα πειράματά του προχώρησαν πολύ γρήγορα. Αυτός ήταν ο πρόδρομος του σύγχρονου ηλεκτρικού μετασχηματιστή.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Η συσκευή Faraday σχεδιάστηκε για την μελέτη είτε πρόκειται για συνεχές ρεύμα (DC), είτε για μαγνητικό πεδίο που παρήχθη από ένα πηνίο dc, που προκλήθηκε τάση σε άλλο πηνίο. Χρειάστηκαν αρκετά χρόνια πειραματισμού για τον Faraday να συνειδητοποιήσει ότι το σταθερό dc δεν έχει τέτοιο αποτέλεσμα, αλλά η αλλαγή, αύξηση ή μείωση του ρεύματος, στην πραγματικότητα παράγει τάση στο άλλο πηνίο. Φυσικά, η συσκευή τροφοδοτήθηκε από μια γαλβανική μπαταρία dc, δεδομένου ότι καμία άλλη πηγή ενέργειας δεν ήταν διαθέσιμη. Ο Faraday διαπίστωσε ότι μια ροή ηλεκτρικού ρεύματος που ρέει σε ένα πηνίο τυλιγμένου σύρματος γύρω από ένα κομμάτι σίδηρο θα μετατρέψει το σίδηρο σε ένα μαγνήτη και ότι, αν αυτός ο μαγνήτης εισερχόταν σε ένα άλλο πηνίο σύρματος, ένα γαλβανόμετρο συνδεδεμένο με τους ακροδέκτες του δεύτερου πηνίου θα παραμορφωνόταν.

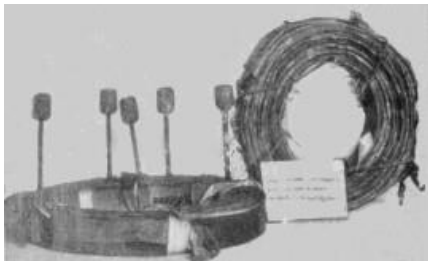


Ο πρώτος μετασχηματιστής του Faraday

Δυο πηνία τυλιγμένα σε ένα σίδηρο.

Τα επόμενα 50 χρόνια (1832-1882)

Για πολλά χρόνια μετά την ανακάλυψη του Faraday, δεν είχε καμία πρακτική αξία. Χρησιμοποιήθηκαν πηνία επαγωγής για την παραγωγή πολύ μεγαλύτερης τάσης από τις γαλβανικές μπαταρίες. Το 1832 όταν εφευρέθηκε η αυτεπαγωγή, ο Joseph Henry παρατήρησε ότι με τη διακοπή της τρέχουσας πολύ υψηλής τάσης (αρκετές εκατοντάδες βολτ) προκαλείται στο πηνίο λόγω της ραγδαίας αλλαγής ροής.



Πηνία του Henry

Το σχήμα δείχνει το που χρησιμοποιούνται από τον Henry στα πειράματα επαγωγής του. "Τα πηνία είναι φτιαγμένα από χάλκινες λωρίδες τυλιγμένο σε μόνωση μεταξίου.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

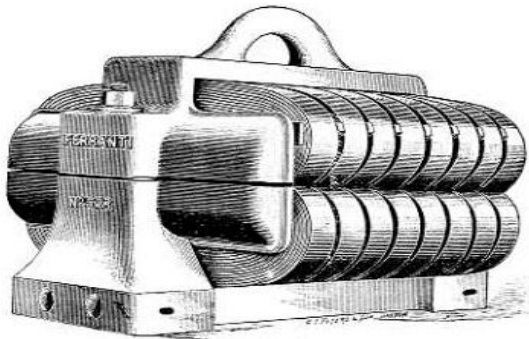
Η συνεχής λειτουργία των επαγωγικών πηνίων εξασφαλίστηκε με τη χρήση διαφόρων δονητών. Αν και άλλοι πειραματιστές επαναλάμβαναν επίσης πειράματα του Henry και συνέχισαν να κατασκευάζουν πηνία επαγωγής που λειτουργούσαν με διακοπτόμενο συνεχές ρεύμα για να δίνουν κραδασμούς ή σπινθήρες, δεν υπήρξε η σκέψη του μετασχηματιστή ως οικονομικό μέσο διανομής ισχύος.

Ο επαγωγέας σπινθηρισμού ήταν στην πραγματικότητα ένας μετασχηματιστής παλμών υψηλής τάσης και δεν μπορεί να ταυτιστεί με τον σημερινό μετασχηματιστή βαρέως ρεύματος και ακόμη λιγότερο με την εφαρμογή του. Όσο παράλογο μπορεί να ακούγεται από τη φυσική πλευρά, οι επαγωγείς σπινθήρων θεωρούνταν ως συσκευές συνεχούς ρεύματος (dc) εκείνη την εποχή! Όταν ενεργοποιείτε την μπαταρία, προκλήθηκε μακρόχρονος, αλλά με χαμηλό πλάτος μισό κύμα. όταν το σπάσει, βραχυχρόνια, αλλά προκλήθηκε υψηλή τάση αιχμής. Έτσι, η τάση εκκίνησης δύσκολα θα μπορούσε να γίνει αισθητή. Όταν υπάρχει επίσης ένα διάκενο σπινθήρων, μόνο η μέγιστη τάση θραύσης θα μπορούσε να παράγει ένα ρεύμα, έτσι ώστε το dc να ρέει στο δευτερεύον κύκλωμα. Με αυτόν τον τρόπο ερμηνεύτηκε ο θετικός και ο αρνητικός πόλος. Η ανάπτυξη των επαγωγέων σπινθηρισμού προώθησε την κατασκευή των μεταγενέστερων μετασχηματιστών στον τομέα της τεχνολογίας παραγωγής αντί της θεωρίας. Τα σημαντικά τεχνικά επιτεύγματα ήταν ο εμποτισμός υπό κενό των πηνίων υψηλής τάσης, η μόνωση πετρελαίου, η περιέλιξη δίσκων που πρότεινε ο Roggendorff και η εφαρμογή του πυρήνα πολυστρωματικού σιδήρου.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

2.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το 1890, μόλις πέντε χρόνια πριν από την έναρξη της πρώτης μεγάλης κλίμακας έργου ηλεκτρικής ενέργειας στους καταρράκτες του Νιαγάρα, η μέθοδος παραγωγής και διανομής ενέργειας εξακολουθούσε να είναι αναποφάσιστη. Το έργο επρόκειτο να συμπεριλάβει τη μετάδοση στο Μπάφαλο. Υποβλήθηκαν δεκατέσσερα έργα για διαβίβαση εκεί που θεωρήθηκαν σωστά. Τέσσερις από τις προτάσεις αφορούσαν τον πεπιεσμένο αέρα, με τις βασικές βιομηχανικές χρήσεις του, όπως η ρυμούλκηση και η ανύψωση, μέσω δύο υπόγειων δικτύων διαμέτρου τροφοδοσίας. Μια πρόταση ήταν για υδραυλική μετάδοση και άλλη για μηχανική μετάδοση μέσω χαλύβδινων καλωδίων σε μια αλυσίδα στύλων και τροχαλιών. Πέντε από τις προτάσεις ήταν για μετάδοση dc και μόνο δύο ήταν για μετάδοση ac. Το εναλλασσόμενο ρεύμα ήταν μια καινοτομία για εκείνη την εποχή, το οποίο δεν θεωρήθηκε ότι είναι μεταξύ των οκτώ βραβείων που δόθηκαν. Μετά από νέες προτάσεις της General Electric και της Westinghouse τον Αύγουστο του 1883, επιλέχτηκε πολυφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (ac) και η ισχύς κατασκευάστηκε για πρώτη φορά στους καταρράκτες του Νιαγάρα, στις 6 Αυγούστου 1895. Η αρχική σύμβαση ήταν για τη δημιουργία 15.000 ίππους (hp) στα 2200 Volt σε 25 κύκλους.



Σχήμα 3

Οι μετασχηματιστές μπορούν να τείνουν στο τρισδιάστατο σχέδιο όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Σε αυτή την περίπτωση οι μετασχηματιστές τείνουν με τα πρωτεύοντα τυλίγματα τους σε πολλαπλάσια και τα δευτερεύοντα σε σειρά, με τον ουδέτερο ή μεσαίο σύρμα να περνά μεταξύ τους. Αυτό έγινε γενικότερα με μετασχηματιστές 100 V κάτι που εξοικονομεί πολύ καλώδιο, με το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας να κατανέμεται στα 200 V με τους λαμπτήρες να καίγονται αποτελεσματικά δύο σε σειρά. Το μεσαίο σύρμα συνήθως είχε μεταξύ μισού και ενός τρίτου τη χωρητικότητα των εξωτερικών καλωδίων.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Ο μετασχηματιστής Ferranti [1] είναι μετατροπέας της ευρωπαϊκής κατασκευής. Είναι ένα καλό παράδειγμα της ευρωπαϊκής πρακτικής το 1892. Φαίνεται ότι ο μετασχηματιστής δεν περικλείεται μέσα σε μια υδατοστεγή θήκη, όπως συνηθιζόταν με τους μετατροπείς αμερικανικής κατασκευής εκείνη την εποχή. Αυτό συμβαίνει επειδή στην Ευρώπη ο μετασχηματιστής εγκαταστάθηκε μέσα στα κτίρια. Το πλαίσιο που συγκρατεί και στηρίζει τον πραγματικό μετατροπέα είναι από χυτοσίδηρο και είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να παρέχει τη δυνατότητα να στέκεται ο μετασχηματιστής στο πάτωμα.

Οι πρωτεύοντες και δευτερεύοντες ακροδέκτες του μετασχηματιστή Ferranti βρίσκονται στα αντίθετα άκρα της βάσης και είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε να μην μπορούν να παραβιαστούν, ή τα σύρματα να χαλαρώνονται με ένα συνηθισμένο κατσαβίδι. Οι ακροδέκτες είναι καλά μονωμένοι από το πλαίσιο μέσω μόνωσης θείου και γυαλιού, που χύνεται ενώ βρίσκεται σε τετηγμένη κατάσταση, μέσα στον χώρο μεταξύ του πλαισίου και κάθε τερματικού. Το σίδηρο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αυτών των μετασχηματιστών είναι εξαιρετικά μαλακό σουηδικό φύλλο και είναι ασυνήθιστα λεπτό. Ένας αριθμός δεσμών σιδήρου ενώνονται παράλληλα και περιτυλίγονται και ενώνονται μεταξύ τους με μόνωση στο κεντρικό τμήμα τους. Πάνω από τη μόνωση είναι τυλιγμένο το δευτερεύον, και πάνω από αυτό και πάλι τοποθετείται το πρωτεύον, γενικότερα σε μια μορφή έτοιμων πηνίων περιελίξεων, λόγω της μόνωσης που παρεμβάλλεται. Στη συνέχεια, ο μαλακός σίδηρος γυρίζει πίσω και πάνω από κάθε άκρο, με τα άκρα των λωρίδων να σπρώχνουν το ένα πάνω στο άλλο, έως ότου φτάσει στο μέσο της δέσμης, όταν τα δύο τελευταία άκρα επιστρέφουν και γίνουν γρήγορα. Το υπόλοιπο μισό του σιδήρου επιστρέφει στη συνέχεια προς τα πίσω κατά παρόμοιο τρόπο προς την αντίθετη κατεύθυνση.

2.3 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Τα κύρια στοιχεία του μετασχηματιστή είναι ο πυρήνας, η περιέλιξη, η μόνωση και η δεξαμενή. Θα αναφερθούν τώρα εν συντομία όλα αυτά τα στοιχεία και ορισμένες από τις εξελίξεις τους.

Πυρήνας του μετασχηματιστή

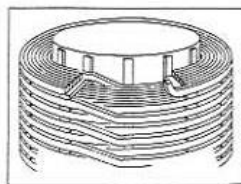
Ο σκοπός του πυρήνα του μετασχηματιστή είναι να παράσχει μια μικρή διαδρομή απροθυμίας για τη μαγνητική ροή που συνδέει τις πρωτογενείς και δευτερεύουσες περιελίξεις. Με τον τρόπο αυτό ο πυρήνας παρουσιάζει απώλειες σιδήρου εξαιτίας της υστέρησης και της ροής των φουσκωμένων ρευμάτων που εκδηλώνεται ως θερμότητα. Η έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα των ηλεκτρικών χαλύβων έχει ως εκ τούτου ως προς τη μείωση αυτών των απωλειών και επίσης για τη μείωση του εκπνεόμενου θορύβου. Οι πρώιμοι πυρήνες κατασκευάστηκαν από δέσμες από σύρμα μαλακού σιδήρου.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Οι πρώτοι κατασκευαστές μετασχηματιστών κατά τη δεκαετία του 1880 είχαν πυρήνες κατασκευασμένους από υψηλής ποιότητας σφυρήλατο σίδηρο και για κάποιο διάστημα προτιμήθηκε ο σουηδικός χάλυβας. Περίπου το 1900 διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη μικρών ποσοτήτων πυριτίου ή αλουμινίου στον σίδηρο μείωσε σημαντικά τις μαγνητικές απώλειες. Έτσι ξεκίνησε η τεχνολογία της εξειδικευμένης κατασκευής ηλεκτρολογικού χάλυβα. Ωστόσο, οι χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα συνέχισαν να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις έως περίπου το 1930. Η προσθήκη πυριτίου μειώνει την απώλεια υστέρησης, αυξάνει τη διαπερατότητα και αυξάνει την ειδική αντίσταση, μειώνοντας έτσι την απώλεια του εντυπωσιακού ρεύματος. Ωστόσο, η παρουσία πυριτίου έχει το μειονέκτημα ότι ο χάλυβας γίνεται εύθραυστος και σκληρός έτσι ώστε η ποσότητα πυριτίου να περιορίζεται σε όχι περισσότερο από 4,5%. Ο πυριτιούχος χάλυβας για πυρήνες μετασχηματιστών χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά γύρω στο 1906 και παρήχθησαν ελασματοποιήσεις πάχους περίπου 0,35 mm με μια διαδικασία θερμής έλασης στην οποία οι κόκκοι συσκευάζονται μαζί με έναν τυχαίο τρόπο έτσι ώστε οι μαγνητικές ιδιότητες να είναι ανεξάρτητες από την κατεύθυνση της μέτρησης. Οι συγκεκριμένες τιμές απώλειας περίπου 7 W / kg σε 1,5 T λήφθηκαν στα 50 Ηz για αυτούς τους πρώιμους χάλυβες θερμής έλασης.

Περιέλιξη μετασχηματιστή (Transformer winding)

Οι περιελίξεις του μετασχηματιστή έχουν κατασκευαστεί ως επί το πλείστο από σκληρό χαλκό εκτός από τις χώρες όπου το αλουμίνιο είναι άμεσα διαθέσιμο λόγω των γενικά ανώτερων ιδιοτήτων του. Οι πρώτες περιελίξεις των μετασχηματιστών κατασκευάστηκαν από στρογγυλούς αγωγούς και ήταν διπλά καλυμμένα με βαμβάκι, σύρμα. Αυτοί ήταν τυλιγμένοι σε ένα τόρνο και τα πηνία έλαβαν μια τελική επικάλυψη από γογγύλη και ψήθηκαν σε φούρνο. Το σύρμα κυκλικής διατομής είναι γενικά περιορισμένο στην καλυμμένη με σμάλτο μορφή που χρησιμοποιείται για την περιέλιξη υψηλής τάσης σε μετασχηματιστές διανομής. Το σύρμα κυκλικής διατομής δεν μπορεί να τυλιχθεί σε περιελίξεις που έχουν καλό συντελεστή διαστήματος και έτσι χρησιμοποιούνται είτε ορθογώνιο τμήμα είτε σύρμα ή ταινία. Αυτός ο ορθογώνιος αγωγός διατομής είναι συνήθως μονωμένος σε χαρτί. Τα πηνία μονού στρώματος χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για περιελίξεις χαμηλής τάσης. Για την επίτευξη υψηλότερων τιμών ισχύος, κατασκευάστηκαν πηνία μονής στοιβάδας με διάφορες ομόκεντρες στρώσεις. Η ελικοειδής περιέλιξη εισήχθη στα μέσα της δεκαετίας του 1920.



Σχήμα 4.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Η περιέλιξη του δίσκου (σχήμα 4) χρησιμοποιήθηκε ακριβώς από την αρχή καθώς η περιέλιξη υψηλής τάσης σε μετασχηματιστές απαιτούσε πολλές στροφές. Η κατανομή τάσης για ταχείες μεταβάσεις, υπερτάσεις από αστραπή ήταν ένα δύσκολο πρόβλημα για αυτές τις περιελίξεις στις πρώτες μέρες. Στις σημερινές περιελίξεις δίσκων υψηλής τάσης οι στροφές διασπώνται μεταξύ διαφορετικών δίσκων έτσι ώστε μια υψηλότερη χωρητικότητα σειράς και κατά συνέπεια επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή τάσης παλμού.

Μόνωση του μετασχηματιστή

Οι σημερινοί μετασχηματιστές είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου γεμισμένοι με πετρέλαιο, αλλά οι πρώτοι μετασχηματιστές χρησιμοποιούσαν αμίαντο, βαμβάκι και χαμηλού βαθμού πιεστήριο στον αέρα. Το μολυσμένο από Shellac χαρτί στα τέλη του 19ου αιώνα ήταν ένα τεράστιο βήμα προς τα εμπρός. Το μεταλλικό πετρέλαιο άρχισε να χρησιμοποιείται για τη μόνωση και την ψύξη των μετασχηματιστών το 1906. Το λάδι με τη σειρά του ψύχθηκε με ψυκτικούς σωλήνες γεμάτους με νερό που εισήχθησαν στη δεξαμενή μετασχηματιστή. Το χάρτινο χαρτί δεν μπορεί να ταιριάζει με τις θερμικές δυνατότητες των μετασχηματιστών που έχουν φτιαχτεί πρόσφατα. Αυτοί χρησιμοποίησαν το σύστημα μόνωσης kraft χαρτιού και πρέσας. Το χαρτί και το χαρτόνι αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος του μονωτικού υλικού που χρησιμοποιείται σε μετασχηματιστές ισχύος όταν χρησιμοποιείται σε μετασχηματισμένο πετρέλαιο αλλά όχι πολύ καλό διηλεκτρικό υλικό ελλείψει ελαίου. Άλλες μορφές χαρτιού που χρησιμοποιούνται είναι θερμικά αναβαθμισμένο χαρτί και διάσπικτος χαρτί. Το επόμενο πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό είναι το ξύλο. Τα πετρελαϊκά έλαια έχουν χρησιμοποιηθεί στον ηλεκτρικό εξοπλισμό από το τελευταίο μέρος του δέκατου ένατου αιώνα. Οι Ferranti αναγνώρισαν τα οφέλη τους για το μετασχηματιστή ήδη από το 1891.

Δοχείο μετασχηματιστή

Οι πολύ πρώιμοι μετασχηματιστές στο τέλος του δέκατου ένατου αιώνα ήταν γενικά του τύπου χυτοσίδηρου. Έκτοτε, οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται σχεδόν πάντοτε από συγκολλημένες πλάκες. Τα αποσπώμενα θερμαντικά σώματα από κυματοειδές χάλυβα εισήχθησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1920. Στα 1930 υιοθετήθηκαν θερμαντικά σώματα με ανεμιστήρες ψύξης, καθιστώντας έτσι δυνατή την κατασκευή ενός φυσικού ψύχους, τριφασικού μετασχηματιστή με τιμή 45 MVA. Η αναγκαστική ψύξη με αντλία λαδιού και ανεμιστήρα στην πλευρά του αέρα εισήχθη στη δεκαετία του 1950.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Γύρω στη δεκαετία του 1970 εισήχθη ερμητικά κλειστός τύπος χωρίς μαξιλάρι αερίου. Σε αυτούς τους μετασχηματιστές η διαστολή / συστολή του λαδιού γίνεται από τις βαθύτερες (50 έως 400 χιλιοστά βαθιά) αυλακώσεις (πτερύγια) και όχι από ξεχωριστή δεξαμενή συντηρητών. Τα κυματοειδή πτερύγια (πάχους 1,2 έως 1,75 mm) στο παρόν σχέδιο έχουν αντικαταστήσει τις μάλλον βαριές δεξαμενές (πάχους 4 - 20 mm) που υπάρχουν με ψυκτικούς σωλήνες ή θερμαντικά σώματα. Αυτοί οι ερμητικά σφραγισμένοι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται μόνο για μετασχηματιστές διανομής και μικρούς μετασχηματιστές ισχύος, καθώς η ανεπαρκής ψύξη παρέχεται από τα πτερύγια για τους μεγαλύτερους μετασχηματιστές. Η συντήρηση του ερμητικά σφραγισμένου μετασχηματιστή δεν είναι σχεδόν καθόλου, καθώς η υγρασία ή ο αέρας δεν μπορούν να εισέλθουν στη δεξαμενή. Ωστόσο, πρέπει να γίνει έλεγχος για τη διάβρωση και τη διαρροή λαδιού. Φθάνοντας στο τέλος του κεφαλαίου αυτού θα αναφερθεί η βασική κατηγορία μετασχηματιστή υψηλής τάσης, εκ της οποίας προκύπτει και ο μετασχηματιστής λαδιού ή ελαιομετασχηματιστής, ονομασία που πηγάζει λόγω της χρήσης του λαδιού ως μονωτικό μέσο, όπου και είναι το θέμα που ερευνάται και αναλύεται στην πτυχιακή εργασία αυτή.

Μετασχηματιστής ισχύος (power former)

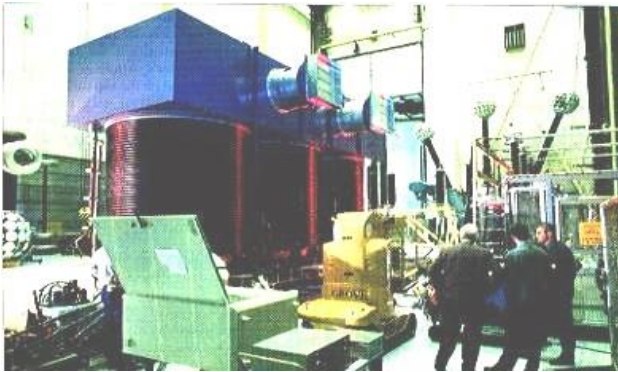


Ο μετασχηματιστής ισχύος (εμπορικό σήμα της ABB) αναπτύχθηκε πρόσφατα από την ABB για να συνδυάσει τις λειτουργίες μιας συμβατικής γεννήτριας και ενός μετασχηματιστή βαθμιαίας μεταβίβασης. Έτσι είναι μια γεννήτρια υψηλής τάσης η οποία μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς την ανάγκη ενός μετασχηματιστή βαθμιαίας αύξησης. Η καινοτομία του νέου σχεδιασμού γεννήτριας είναι η χρήση αποδεδειγμένου καλωδίου ισχύος ως περιέλιξης στάτορα. Παρόλο που αυτό δεν είναι μετασχηματιστής, αυτό έχει συμπεριληφθεί εδώ καθώς απομακρύνει την ανάγκη για μετασχηματιστή γεννήτριας.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Ο μετασχηματιστής ισχύος λοιπόν, είναι η βασική συσκευή κάθε υποσταθμού μέσης τάσης, διότι υποβιβάζει την μέση τάση των 20 kV (15kV, 6.6 kV) σε τάση διανομής 400 V. Οι Μ/Σ ισχύος είναι συνήθως ελαιόψυκτοι, εκτός αν έχουμε ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος, π.χ. εύφλεκτα υλικά και κίνδυνο πυρκαγιάς. Στις περιπτώσεις αυτές επιλέγονται Μ/Σ ξηρού τύπου με μόνωση από χυτορητίνη. Σε υποσταθμούς με ζητούμενη ισχύ > 600 kVA έχουμε κατά κανόνα δύο Μ/Σ για λόγους ασφαλείας. Σε περίπτωση σφάλματος του πρώτου Μ/Σ, αναλαμβάνει ο δεύτερος Μ/Σ να καλύψει το συνολικό φορτίο για όσο χρόνο διαρκέσει η επισκευή του πρώτου Μ/Σ. Οι μετασχηματιστές αυτοί είναι τριφασικοί και είναι συνήθως τύπου πυρήνα. Αυτοί όπως είναι λογικό εμφανίζουν σημαντικές θερμικές απώλειες λόγω και των τυλιγμάτων (ωμικές απώλειες) και λόγω πυρήνα (από υστέρηση και δινορρέυματα). Η απαγωγή της θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο και η ηλεκτρική μόνωση μεταξύ των μερών του Μ/Σ επιτυγχάνεται γενικά με αέρα ή με λάδι. Με βάση το μέσο ηλεκτρικής και θερμικής μόνωσης τους χωρίζονται σε μετασχηματιστές λαδιού (oil transformers) και μετασχηματιστές ξηρού τύπου.

Μετασχηματιστής ξηρού τύπου (dry former)



Ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου είναι ένας πρωτοποριακός σχεδιασμός μετασχηματιστών υψηλής τάσης που εξαλείφει την ανάγκη για λάδι που βασίζεται στη χρήση καλωδίου τροφοδοσίας πολυαιθυλενίου υψηλής τάσης (XLPE) αντί για πετρέλαιο / χαρτί στην κατασκευή των περιελίξεων του μετασχηματιστή. Η νέα ιδέα είναι το αποτέλεσμα της μαζικής τεχνολογίας καλωδίων υψηλής τάσης και τεχνολογίας μετασχηματιστών.

Αναπτύχθηκε από την ABB, ο πρώτος αυτός μετασχηματιστής παραδόθηκε στις αρχές Δεκεμβρίου 1999 σε ένα σουηδικό βοηθητικό πρόγραμμα και βαθμολογείται σε 20 MVA, 140kV / 6.6kV. Ο ξηρού τύπου έχει σημαντικά οφέλη τόσο για τους πελάτες όσο και για το περιβάλλον.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Η απουσία πετρελαίου εξαλείφει τον κίνδυνο μόλυνσης του εδάφους ή των υπογείων υδάτων και ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο πυρκαγιάς και έκρηξης. Το καθαρό αποτέλεσμα είναι ότι, κατ' αρχήν, ο νέος σχεδιασμός μπορεί να εγκατασταθεί οπουδήποτε - κοντά σε λίμνες και ποτάμια, μέσα. Με τη χρήση τεχνολογίας αιχμής, το καλώδιο XLPE μπορεί να έχει ένταση πεδίου έως 15 kV / mm.

Ωστόσο, το ηλεκτρικό πεδίο είναι πλήρως τοποθετημένο μέσα στο καλώδιο XLPE και η επιφάνεια του καλωδίου βρίσκεται στο δυναμικό γείωσης. Από τη σκοπιά της κατασκευής, ο Μ/Σ ξηρού τύπου έχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι το σύστημα μόνωσης έχει κατασκευαστεί στο εργοστάσιο καλωδίων (σε αντίθεση με τη μόνωση πετρελαίου / χαρτιού, όπου απαιτείται διεξοδική διαδικασία ξήρανσης με συνδυασμό υψηλής θερμοκρασίας και κενού και γρήγορης συναρμολόγησης).

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ

Η εντατική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας όλο και μεγαλύτερης τάσης. Ταυτόχρονα πρέπει να εξασφαλίζεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αντοχή στις διάφορες ηλεκτρικές καταπονήσεις με τη χρήση κατάλληλων μονωτικών υλικών. Τα υγρά που χρησιμοποιούνται ως μονωτικά υλικά είναι μέρος μιας ομάδας διηλεκτρικών υγρών, γνωστά ως υγρά, ουσιώδη για την παραγωγή, μεταφορά, διανομή και βιομηχανική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ρόλος που παίζουν τα μονωτικά υγρά είναι σημαντικός αν και η αξία επί του συνόλου του σχετικού ηλεκτρικού εξοπλισμού είναι μόλις το 2%. Η μόνωση του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων υψηλής τάσης επιβάλλεται για την διατήρηση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στα υπό υψηλή τάση αγωγίμα μέρη. Τα μονωτικά λάδια είναι πλέον εύχρηστα, καθώς διατίθενται σε αφθονία και σε σχετικό χαμηλό κόστος.

Γενικά μία ηλεκτρική διάταξη αποτελείται από αγωγούς, μονωτές, μαγνητικά και άλλα μηχανικά δομικά στοιχεία. Μετατρέπει ενέργεια από μία μορφή σε άλλη, και γι' αυτό, δεν μπορεί να λειτουργεί χωρίς την απώλεια ενέργειας. Όλη σχεδόν η απώλεια αυτή εμφανίζεται σαν θερμότητα, που προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων. Όταν η θερμότητα αποβάλλεται τόσο γρήγορα, όσο παράγεται, μπορεί να ειπωθεί ότι φθάνει σε μία κατάσταση ισορροπίας. Τα πιο πολλά στερεά μονωτικά υλικά των ηλεκτρικών διατάξεων είναι κυρίως οργανικές συνθέσεις και χειροτερεύουν γρήγορα όταν η θερμοκρασία τους διατηρείται σε ψηλά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει επειδή η βάση των οργανικών αυτών συνθέσεων είναι η κυτταρίνη, που έχει μέγιστη οικονομική λειτουργία σε θερμοκρασία μικρότερη από 100°C. Γι' αυτό η αποτελεσματική ψύξη των μηχανών, συσκευών ή διατάξεων, όπως π.χ. των μετασχηματιστών κ.τ.λ. είναι βασικό πρόβλημα τόσο για την κατασκευή τους, όσο και για την εκμετάλλευσή τους. Η εντατική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια (ετήσια παγκόσμια κατανάλωση $6,25 \times 10^9$ KWH με ρυθμό ετήσιας αύξησης 7%), απαιτεί συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας όλο και μεγαλύτερης τάσης. Ταυτόχρονα πρέπει να εξασφαλίζεται και μεγαλύτερη αντοχή στις διάφορες ηλεκτρικές καταπονήσεις με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων μονωτικών υλικών.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3.2 ΕΙΔΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Τα ορυκτέλαια είναι από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα υγρά μονωτικά. Από αυτά το έλαιο μετασχηματιστή έχει τις πλέον εκτεταμένες εφαρμογές. Η χημική του ιδιοσυστασία εξαρτάται από την προέλευση του πετρελαίου από το οποίο προέρχεται και διακρίνεται σε:

1. Μεθανολικής βάσεως, όπου κυριαρχούν κορεσμένοι υδρογονάνθρακες τύπου παραφίνης,
2. Βάσεως νάφθας, όπου κυριαρχούν ακόρεστοι υδρογονάνθρακες τύπου νάφθας,
3. Μικτής σύστασης, όπου δεν κυριαρχεί κανείς από τους δύο προαναφερθέντες τύπους υδρογονανθράκων.

Κυρίως χρησιμοποιούνται κορεσμένοι υδρογονάνθρακες με δομή νάφθας διότι, από χημικής άποψης, είναι σταθερότεροι από τους ακόρεστους αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Το έλαιο μετασχηματιστή μπορεί να είναι σχεδόν άχρωμο έως κίτρινο. Αυτό εξαρτάται από την γεωγραφική προέλευση του.

Το έλαιο μετασχηματιστή ως υγρό μονωτικό στους μετασχηματιστές και ως ψυκτικό μέσο για τα τυλίγματα τους. Υπόκειται για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε υψηλές θερμοκρασίες (γύρω στους 90° C), τοπικά δε μερικές και έως τους 130° C. Ως εκ τούτου υφίσταται γήρανση. Με την πάροδο του χρόνου, το έλαιο αποκτά σκοτεινή χροιά με ταυτόχρονο σχηματισμό οξέων και ρητινών ή λασπωδών παραπροϊόντων. Η αλλοίωση αυτή μειώνει την ικανότητα του τόσο για την διάχυση της θερμότητας, όσο και τις ψυκτικές του ιδιότητες. Το επιτρεπόμενο ποσοστό οξέων και λασπωδών ιζημάτων καθορίζεται από διεθνείς προδιαγραφές (IEC 296, 1969 και 474, 1974). Είναι προφανές ότι πρακτικά, η γήρανση του ελαίου μετασχηματιστή καθίσταται δραματικότερη, εάν ληφθεί υπόψη η συνδυαστική επίδραση του εφαρμοζόμενου πεδίου της θερμοκρασίας, της υγρασίας και άλλων παραγόντων. Εδώ αξίζει να αναφέρουμε ότι οι ηλεκτρικές εκκενώσεις προκαλούν την δημιουργία φυσαλίδων και άλλων παραπροϊόντων, που μοιραία υποβαθμίζουν την συμπεριφορά ενός ελαίου. Η οξειδωση δεν είναι τίποτα άλλο από την έκθεση σε οξυγόνο, η οποία με την σειρά της παράγει παραπροϊόντα, όπως οργανικά οξέα, νερό και λασπώδη προϊόντα. Ο ρυθμός γήρανσης του ελαίου πρέπει να ελέγχεται περιοδικά, έτσι ώστε να υπάρχει καταγραφή των όποιων μεταβολών του. Η καταγραφή και ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν προσφέρει πολύ περισσότερες πληροφορίες από οποιοσδήποτε μεμονωμένες μετρήσεις. Έτσι η διηλεκτρική αντοχή του, η περιεκτικότητά του σε λασπώδη παραπροϊόντα, η αγωγιμότητά του, το χρώμα, η επιφανειακή τάση, ο βαθμός οξειδωσης του, η περιεκτικότητά του σε αέρια (μέθοδος Pirelli), η περιεκτικότητά του σε νερό (μέθοδος Karl Fischer) είναι μερικές από τις παραμέτρους οι οποίες πρέπει να ελέγχονται περιοδικά. Τέτοιες περιοδικές μετρήσεις δίνουν μια λεπτομερή εικόνα της κατάστασης του ελαίου του μετασχηματιστή.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Συνθετικά έλαια

Εκτός από τα φυσικά έλαια, έχουμε και τα συνθετικά έλαια, όπως π.χ τα έλαια σιλικόνης και τα πολυβουτανικά έλαια. Τα τελευταία χρησιμοποιήθηκαν σε καλώδια και πυκνωτές. Η διηλεκτρική αντοχή τους αποδείχθηκε ανώτερη από αυτή των φυσικών ορυκτελαίων. Έλαια σιλικόνης και τετραφθοριούχος άνθρακας σε υγρή μορφή χρησιμοποιούνται επίσης σε μεγάλο αριθμό βιομηχανικών εφαρμογών. Τα έλαια σιλικόνης δεν είναι εύφλεκτα, η θερμική σταθερότητα τους είναι καλή, η απαγωγή θερμότητας όμως δεν είναι ικανοποιητική και παρουσιάζουν σχετική ευαισθησία στις ηλεκτρικές εκκενώσεις. Είναι έλαια σημαντικού κόστους, και εν συγκρίσει με τα ορυκτέλαια και τα χλωριωμένα έλαια, δύνανται να απορροφήσουν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας. Οι μετασχηματιστές με έλαια σιλικόνης είναι ακριβότεροι από αυτούς με τα συνήθη ορυκτέλαια για τα ίδια kVA. Εάν όμως εκτιμηθεί το συνολικό κόστος ενός μετασχηματιστή καθ' όλη την διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του, δηλαδή το κόστος των απωλειών, της συντήρησης, της λειτουργίας, της πυρασφάλειας και των διαστάσεων του χώρου (αν πρόκειται για Μ/Σ εσωτερικού χώρου), τότε ο μετασχηματιστής με έλαιο σιλικόνης είναι οικονομικά συγκρίσιμος με τους μετασχηματιστές συνήθων ορυκτελαίων. Ο τετραφθοριούχος άνθρακας σε υγρή μορφή, παρότι έχει εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες και δεν είναι καθόλου εύφλεκτος, είναι πολύ ακριβός σε σχέση με τα ορυκτέλαια.

Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των φυσικών και συνθετικών εστέρων θα αναλυθούν εκτενώς στο 5^ο κεφάλαιο, όπου και εκεί έγκειται η βασική μελέτη της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΓΡΑ ΑΝΑ ΟΜΑΔΕΣ

ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΑ	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΛΑΔΙΑ	ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΛΑΔΙΑ
<ul style="list-style-type: none">• Μεθανολικής βάσης• Ναφθαλενικής βάσης• Μικτής σύστασης	<ul style="list-style-type: none">• Φυσικοί Εστέρες	<ul style="list-style-type: none">• Λάδια σιλικόνης• Φθοριομένοι υδρογονάνθρακες• Χλωριομένοι υδρογονάνθρακες• Συνθετικοί Εστέρες

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3.2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Αργό πετρέλαιο

Ηλεκτροτεχνικά υγρά του τύπου ορυκτά λάδια, προέρχονται από ακατέργαστο πετρέλαιο, που σχηματίζεται από ενταφιασμό και σήψη φυτικής ύλης ή από τη επίδραση νερού πάνω στο ορυκτό ανθρακασβέστιο.

Το αργό πετρέλαιο αποτελείται βασικά από υδρογονάνθρακες, που μπορούν να κατάγουν σε τρεις ομάδες:

- Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
- Παραφινικοί υδρογονάνθρακες
- Ναφθαλενικοί υδρογονάνθρακες

Στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες τα άτομα του άνθρακα ενώνονται με απλό δεσμό, σχηματίζοντας έναν τουλάχιστον δακτύλιο και καλούνται «κορεσμένοι».

Στους παραφινικούς και ναφθαλενικούς υδρογονάνθρακες δύο ή περισσότερα άτομα άνθρακα ενώνονται με διπλό ή πολλαπλό δεσμό σχηματίζοντας ανοικτή αλυσίδα και καλούνται «ακόρεστοι». Είναι περισσότερο σταθεροί υδρογονάνθρακες σε σύγκριση με τους αρωματικούς. Υδρογονάνθρακες, που έχουν απλά και μικρά μόρια, βρίσκονται, υπό κανονική θερμοκρασία και πίεση, σε αέρια κατάσταση. Οι υδρογονάνθρακες με σύνθετα και μεγάλα παραβρίσκονται σε ρευστή κατάσταση, ενώ οι υδρογονάνθρακες με μεγαλύτερα και πολυσύνθετα μόρια βρίσκονται σε στερεά κατάσταση (π.χ. άσφαλτος). Με βάση την παραπάνω κατάταξη των υδρογονανθράκων η πλέον σύγχρονη και ευρέως χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση του αργού πετρελαίου είναι αυτή του U.S.Bureau of Mines, όπου ένα ακατέργαστο τοποθετείται σε μία από τις 9 κατηγορίες που περιγράφονται με συνδυασμό της συμφωνίας παραφινικών, ενδιαμέσων και ναφθενικών βάσεων.

Κατάταξη ακατέργαστου πετρελαίου

ΤΑΞΗ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ
1	Παραφινικό
2	Παραφινικό-ενδιάμεσο
3	Ενδιάμεσο-παραφινικό
4	Ενδιάμεσο
5	Ενδιάμεσο-ναφθαλενικό
6	Ναφθαλενικό-ενδιάμεσο
7	Ναφθαλενικό
8	Παραφινικό-ναφθαλενικό
9	Ναφθαλενικό-παραφινικό

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Το αργό πετρέλαιο της πρώτης κατηγορίας περιέχει σε μεγάλη αναλογία (πάνω από 66%) παραφινικούς υδρογονάνθρακες και σε μικρή αναλογία αρωματικούς και ναφθαλενικούς. Σ' αυτό το πετρέλαιο υπάρχει σε μεγάλη αναλογία κερί και μικρότερη άσφαλτος. Το αργό πετρέλαιο της έβδομης κατηγορίας περιέχει σε μεγάλη αναλογία (πάνω από 66%) ναφθενικούς υδρογονάνθρακες και σε μικρή αναλογία παραφινικούς. Σ' αυτό το πετρέλαιο υπάρχει σε μεγάλη αναλογία άσφαλτος, ενώ το κερί σε πολύ μικρή. Το αργό πετρέλαιο της τέταρτης κατηγορίας περιέχει υδρογονάνθρακες όλων των ομάδων σε μεγάλες αναλογίες, χωρίς όμως κάποια να περιέχεται σε αναλογία πάνω από 66%. Το πετρέλαιο αυτό περιέχει άσφαλτο και κερί. Τα μόρια είναι σε δακτυλιοειδή μορφή. Το 90% των αργών πετρελαίων ανήκουν στην κατηγορία αυτή.

3.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Τα μονωτικά λάδια παράγονται με την επεξεργασία του αργού πετρελαίου.

Δύο είναι οι βασικοί μέθοδοι παραγωγής:

- 1) Ο διαχωρισμός κλασμάτων με απόσταξη
- 2) Η διύλιση
- 3)

Κλασματική απόσταξη

Το εκλεγμένο πετρέλαιο θερμαίνεται, εξατμίζεται και οι ατμοί του συμπυκνώνονται σε διάφορες θερμοκρασίες και σχηματίζουν υγρά αποστάγματα. Η απόσταξη εφαρμόζεται σε συνθήκες κενού, διότι σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης απαιτείται μεγάλη θερμοκρασία που μπορεί να οδηγήσει σε αποσύνθεση του λαδιού.

Διύλιση

Διύλιση Μετά τη απόσταξη έχουμε τη διαδικασία καθαρισμού και την επεξεργασία με οξέα. Οι εργασίες αυτές αποτελούν το στάδιο της διύλισης. Παλαιότερα η διύλιση περιοριζόταν στην εντατική επεξεργασία των μονωτικών λαδιών με οξέα (συνήθως θειικό οξύ) μόνα ή σε συνδυασμό με διαλυτές. Όταν η διύλιση είναι μικρή το παραγόμενο μονωτικό λάδι αποσυντίθεται γρήγορα και μέσα σ' αυτό δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες λάσπης (Sludge). Όταν πάλι η διύλιση είναι μεγάλη, το λάδι που παράγεται αποσυντίθεται επίσης γρήγορα, η οξύτητα αυξάνεται με ταχύ ρυθμό, ενώ η λάσπη που σχηματίζεται αρχικά είναι περιορισμένη. Υπάρχει πάντα ένα «βέλτιστο» σημείο διύλισης.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Με τη διύλιση πρέπει να εξαλειφθεί ένα ποσοστό αρωματικών ενώσεων για να μη δημιουργηθούν πολύ γρήγορα οξέα και αυξηθεί η οξύτητα πολύ, ώστε να διαβρώσει όλα τα μεταλλικά μέρη της συσκευής (π.χ. Μετασχηματιστή). Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες που απομένουν στο λάδι και το προστατεύουν από οξειδωση ονομάζονται φυσικά αντιοξειδωτικά.

Οι σύγχρονοι τρόποι διύλισης σε συνδυασμό με τη βελτίωση των διαλυτών δίνουν λάδια πολύ καλής ποιότητας, που μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των συσκευών ψηλής τάσης. Ένας απ' αυτούς είναι η διύλιση με H_2 . Το λάδι έρχεται σε επαφή με το H_2 κάτω από μεγάλη θερμοκρασία και πίεση με την παρουσία ειδικών καταλυτών.

3.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Τα διηλεκτρικά (μονωτές) αποτελούν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μία από τις τρεις μεγαλύτερες κατηγορίες υλικών ως προς τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες (οι άλλες δύο είναι οι αγωγοί και οι ημιαγωγοί). Έχουν δε τις ακόλουθες χαρακτηριστικές ιδιότητες:

- ❖ Τα ηλεκτρόνια των ατόμων τους είναι ισχυρά δεσμευμένα σε αυτά. Κατά συνέπεια τα διηλεκτρικά δεν έχουν στη φυσική τους κατάσταση ελεύθερα κινούμενα ηλεκτρόνια στον όγκο τους όπως οι αγωγοί.
- ❖ Κατά τις διαδικασίες φόρτισης τους το καθαρό (πλεονάζον) φορτίο που προσλαμβάνουν είναι δυνατόν να κατανέμεται (ανάλογα με τον τρόπο φόρτισης) τόσο στην επιφάνεια όσο και στο σύνολο του όγκου τους, σε αντίθεση με τους αγωγούς όπου το πλεονάζον φορτίο κατανέμεται μόνο στην επιφάνεια τους.
- ❖ Το πλεονάζον φορτίο ενός διηλεκτρικού δεν μπορεί να κινηθεί ελεύθερα στον όγκο του.

Γενικά τα διηλεκτρικά δεν επιτρέπουν, υπό μη καταστροφικές συνθήκες, τη διέλευση φορτίου μέσα στον όγκο τους. Στη φυσική τους κατάσταση τα μόρια των διηλεκτρικών είναι δυνατόν να εμφανίζουν ή όχι μόνιμες διπολικές ροπές (πολικά και μη πολικά μόρια αντίστοιχα).

Στην σύνθεση τους οι μονωτές είναι σώματα ιοντικής, ομοιοπολικής ή μοριακής κατασκευής. Καθώς, μάλιστα τα ιόντα των σωμάτων αυτών είναι δυσκίνητα, ή η ισχύς των ομοιοπολικών δεσμών είναι μεγάλη, ή τα μόρια τους είναι σταθερά, δηλαδή δεν διασπώνται εύκολα σε φορτισμένες ρίζες, δεν υπάρχουν στα παραπάνω σώματα ευκίνητοι φορείς σε αξιόλογη ποσότητα και έτσι δεν έχουν την δυνατότητα εκδήλωσης μιας ουσιαστικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Πάντως, σε κάθε σώμα, είναι πρακτικά αναπόφευκτη η ύπαρξη ενός κάποιου πλήθους προσμίξεων, ακαθαρσιών, διεγέρσεων και διασπάσεων που δημιουργούν ένα μικρό αριθμό φορέων του ηλεκτρικού ρεύματος

Αποτέλεσμα της έλλειψης αξιόλογης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα μονωτικά σώματα είναι κατάλληλα για να εμποδίζουν την δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων διά μέσω της μάζας τους και να διατηρούν τις διαφορές δυναμικού στα διάφορα τμήματα των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων και εγκαταστάσεων. Έτσι, βρίσκουν πολύ σημαντικές χρήσεις, κυρίως ως ηλεκτρικές μονώσεις σε όλες τις ηλεκτρικές εφαρμογές και ως διηλεκτρικά υλικά στην κατασκευή των πυκνωτών.

Οι ιδιότητες των μονωτικών λαδιών μπορούν να διαιρεθούν σε φυσικές, χημικές και ηλεκτρικές. Οι χαρακτηριστικές ροής καθώς και οι αντίστοιχες θερμικές ενός λαδιού έχουν μεγάλη σημασία, ιδίως στη φάση σχεδίασης της συσκευής, οι δε διηλεκτρικές ιδιότητες στον έλεγχο της κατάστασης των λαδιών πριν από τη λειτουργία της. Στο στάδιο της κατασκευής μιας συσκευής, ο τρόπος σχεδίασης και παράστασης και οι ιδιότητες του λαδιού πρέπει να βρίσκονται σε αρμονία. Πάνω στο όλο θέμα, έχουν εκδοθεί πολλές ευπρόσδεκτοι μέθοδοι από διάφορους διεθνείς οργανισμούς, όπως είναι ο διεθνής οργανισμός προτύπων (ISO) και IEC, καθώς και από εθνικούς οργανισμούς όπως είναι ο BSI (Αγγλία), VDE (Γερμανία), ASTM, το ινστιτούτο πετρελαίου (IP) και από όμοιους οργανισμούς άλλων χωρών.

3.3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι φυσικές ιδιότητες των μονωτικών λαδιών μπορούν να χωριστούν σε 3 ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει εκείνες τις ιδιότητες που είναι αξιόλογες στη φάση σχεδίασης της συσκευής. Αυτές καθορίζουν τις χαρακτηριστικές διανομής της θερμότητας στη συσκευή κα θέτουν όρους για τη λειτουργία της συσκευής σε θερμοκρασία κάτω από το όριο θερμοκρασίας λειτουργίας.

Αυτές είναι:

1. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Πρέπει να είναι $\frac{3}{4} \times 10^{-4} \text{ cal}/(\text{cm} \times \text{s} \times ^\circ\text{C})$. Πρακτικά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας Kt σε κάποια θερμοκρασία t υπολογίζεται με βάση την πυκνότητα d που δίνεται από την σχέση:

$$Kt = 0.28(1 - 0.00054t)10^{-3}/D$$

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

2. Συντελεστής θερμικής διαστολής

Πρέπει να είναι $0.7 \pm 0.8 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$. Η γνώση του είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό του δοχείου διαστολής ή του κενού χώρου του δοχείου που το περιέχει. Υπολογίζεται από την σχέση:

$$C = S1 - S2/S1(T2 - Tx)$$

Όπου C ο συντελεστής θερμικής διαστολής, S1 το ειδικό βάρος σε θερμοκρασία T1 και S2 το ειδικό βάρος σε θερμοκρασία T2.

3. Ειδική θερμότητα

Πρέπει να είναι $0.4 \pm 0.5 \text{ cal / (gr)}$. Προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την σχέση:

$$C_p = 0.42 + 0.0008lt/\sqrt{d}$$

4. Πυκνότητα

Η πυκνότητα του πρέπει να είναι $0.85 \pm 0.92 \text{ gr/ml}$ και η θερμοκρασία του ελαίου στους 20°C . Η μεταβολή της πυκνότητας με τη θερμοκρασία αναφοράς t_0 ακολουθεί με προσέγγιση τον τύπο:

$$D_t = d_0 / 1 + at$$

Όπου D_t η πυκνότητα σε θερμοκρασία $t+t_0$, d_0 η πυκνότητα σε θερμοκρασία αναφοράς, $a=75 \cdot 10^{-5}$ και t η διαφορά θερμοκρασίας από την t_0 . Αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται μείωση της πυκνότητας του ελαίου σύμφωνα με την σχέση $m=\rho/V$, όπου η μάζα παραμένει σταθερή. Αντίθετα μείωση της θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση της πυκνότητας και μείωση του όγκου του λαδιού. Το δοχείο διαστολής δέχεται αυτή την αυξομείωση του όγκου του λαδιού.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

5. Κινητική εσωτερική τριβή (ιξώδες)

Αναφέρεται στην εσωτερική αντίσταση ενός υγρού κατά την ροή του. Όσο μικρότερο είναι το ιξώδες του ελαίου, τόσο ευκολότερα αυτό ρέει στα στοιχεία του μετασχηματιστή. Η τιμή του ιξώδους ενός ελαίου αυξάνεται κατά την χρήση του ενώ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το ορυκτό έλαιο εξαιτίας του χαμηλού ιξώδους του είναι κατάλληλο για την ψύξη των μετασχηματιστών.

6.Σημείο ροής

Αναφέρεται στην πιο χαμηλή θερμοκρασία στην οποία το υγρό αρχίζει να ρέει μετά από την ψύξη που έγινε με προκαθορισμένες συνθήκες. Μας πληροφορεί δηλαδή για την θερμοκρασία κάτω από την οποία η κυκλοφορία του ελαίου μπορεί να είναι ακόμη και αδύνατη. Τα μονωτικά έλαια βάσει κανονισμών πρέπει να διατηρούν τη ρευστότητα τους μέχρι $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Για λάδια που προορίζονται για μηχανήματα που λειτουργούν στην ύπαιθρο δεν πρέπει να είναι πάνω από $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3.3.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

1. Οξείδωση

Πρέπει κατά το δυνατόν να αποφεύγεται η επαφή του λαδιού με τον ατμοσφαιρικό αέρα, καθώς αποτελεί την κυριότερη αιτία χειροτέρευσης των χαρακτηριστικών του. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η οξείδωση ήταν ο λόγος που απορρίφθηκαν, αρχικά, οι φυσικοί εστέρες.

2. Αλκαλικότητα (βαθμός σαπωνοποίησης)

Στα καινούργια έλαια η αλκαλικότητα πρέπει να είναι αμελητέα. Ύπαρξη αλκαλικότητας μαρτυρά μόλυνση του ελαίου με συνέπεια τη μείωση της διηλεκτρικής του ικανότητας. Βαθμός σαπωνοποίησης είναι το μέτρο της αλκαλικότητας και είναι το ποσό των mgf KOH που χρειάζονται για την πλήρη σαπωνοποίηση ενός gr ελαίου. Ο βαθμός αυτός πρέπει να είναι 0.3-0.6 mgf KOH/gr και όταν φτάσει το 1.5 mgf KOH/gr, επιβάλλεται η αντικατάσταση του ελαίου.

3. Υγρασία

Σημαντικό χαρακτηριστικό στη μονωτική ικανότητα του λαδιού, γιατί ίχνη υγρασίας μπορεί να συνυπάρχουν στις στερεές μονώσεις και στη συνέχεια να διαλυθούν στο λάδι ή το λάδι να απορροφήσει υγρασία από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Γι' αυτό τον λόγο τα δοχεία διαστολής πρέπει να παρουσιάζουν μικρή επιφάνεια λαδιού σε επαφή με τον αέρα. Οι αιτίες οι οποίες προκαλούν αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό μέσα σε έναν μετασχηματιστή είναι δύο:

- Απορρόφηση από την ατμόσφαιρα
- Γήρανση της μονωτικής κυτταρίνης που δημιουργεί νερό

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της περιεκτικότητας νερού στα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρομονωτικά έλαια είναι 35 ppm για την περίπτωση ηλεκτρικών διατάξεων με ονομαστική τάση μέχρι τα 69 KV, τα 25 ppm για την ονομαστική τάση μέχρι 150 KV και τα 20 ppm για διατάξεις με ονομαστική τάση τα 400 KV.

4. Χρώμα

Το χρώμα του λαδιού πρέπει να είναι κίτρινο ανοιχτό με μικρή διαφορά από το λάδι σε λάδι. Όταν σκουράνει το χρώμα πρέπει να υποστεί μια σειρά ελέγχων.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3.3.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ

Για κάθε ηλεκτρική διάταξη όπου το έλαιο χρησιμοποιείται, διαφορετικά χαρακτηριστικά αποκτούν ζωτικής σημασίας αξιολόγηση και επιλογή, ανάλογα από την χρήση και τον σκοπό που καλείται να επιτελέσει. Είναι κατανοητό λοιπόν πως κατά την εκλογή ενός μονωτικού ελαίου σε μια ηλεκτροτεχνική εφαρμογή θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του υγρού τα οποία παρατίθενται παρακάτω:

1. Σημείο αναφλέξεως

Είναι η θερμοκρασία στην οποία το μονωτικό έλαιο, θερμαινόμενο εντός ειδικής συσκευής (Pensky – Martens), αναδίδει ατμούς σε ποσότητα τέτοια ώστε αναμιγνυόμενοι με τον ατμοσφαιρικό αέρα να σχηματίζουν εύφλεκτο μίγμα και με την παρουσία σπινθήρα να αναφλέγονται αυτοστιγμεί. Για λόγους ασφαλείας και αξιοπιστίας του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού το σημείο αναφλέξεως θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο προς 130°C.

2. Σημείο καύσεως

Είναι η θερμοκρασία στην οποία το έλαιο, θερμαινόμενο υπο κανονικές συνθήκες δοκιμής, αναδίδει ατμούς επάρκειας τέτοιας, ώστε να αναφλεγεί και να συνεχίσει καιόμενο. Η θερμοκρασία αυτή είναι περίπου 25% υψηλότερα του σημείου αναφλέξεως, περίπου δηλαδή στους 162°C.

3. Σημείο πήξης

Είναι η θερμοκρασία στην οποία εκκινεί η διαδικασία πήξης του μονωτικού υγρού. Όπως είναι λογικό, το σημείο αυτό πρέπει να είναι αρκούντως χαμηλό ώστε να αποφεύγεται η αλλαγή στην φύση και στις ιδιότητες του υγρού. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως το αποδεκτό όριο είναι -18°C και ο προς εξέταση φυσικός εστέρας(5^ο κεφάλαιο) έχει σημείο πήξης -26°C έως -20°C.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

4. Οξύτητα (βαθμός εξουδετέρωσης)

Η ύπαρξη οξέων στα λάδια προκαλεί διάβρωση στα μεταλλικά μέρη και μειώνει την διηλεκτρική τους ικανότητα. Η οξύτητα μετριέται με το βαθμό εξουδετέρωσης που είναι το ποσό των mgf KOH (υδροξείδιο) που απαιτείται για την ολοσχερή εξουδετέρωση των οξέων που περιέχονται σε ένα gr λαδιού. Ο βαθμός εξουδετέρωσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0.03 mgf KOH/gr. Η οξύτητα του λαδιού αυξάνεται με την πάροδο του.

5. Καθαρότητα

Το έλαιο δεν πρέπει να περιλαμβάνει προσμίξεις όπως είναι το θείο και ενώσεις αυτού. Η παρουσία θείου προκαλεί διάβρωση των μεταλλικών τμημάτων και επιταχύνει την παραγωγή ιζήματος (λάσπης)

6. Σχηματισμός ιζήματος

Η ευκολία με την οποία σχηματίζεται ίζημα αποτελεί μεγάλης σημασίας χαρακτηριστικό, ιδιαίτερα στην περίπτωση των μετασχηματιστών. Πρόκειται για τον βραδύ σχηματισμό ημιστερεών υδρογονανθράκων, ενίοτε οξειδωμένης μορφής, οι οποίοι επικάθονται επί των τυλιγμάτων και των τοιχωμάτων του δοχείου του μετασχηματιστή. Ο σχηματισμός του ιζήματος συνδέεται άμεσα με την θερμοκρασία και την οξείδωση του ελαίου. Το ίζημα σχηματιζόμενο, καθιστά το σύνολο του μετασχηματιστή θερμότερο, όσο δε αυξάνει η θερμοκρασία μεταβάλλει προς το χειρότερο την κατάσταση από άποψης ιζήματος, έως ότου αποφραχθούν τελικώς οι σωληνώσεις ψύξεως και ο μετασχηματιστής καταστεί ακατάλληλος προς χρήση, λόγω υπερθέρμανσης. Η εμπειρία δείχνει ότι το ίζημα σχηματίζεται ταχύτερα εκεί που υπάρχουν στιλπνές επιφάνειες χαλκού.

7. Μονωτική ικανότητα

Σχεδόν όλα τα μονωτικά λάδια στο σύνολο τους είναι καλοί μονωτές. Εντούτοις, σε μεγάλο βαθμό ενδιαφέρει η μείωση της διηλεκτρικής αντοχής του ελαίου λόγω της παρουσίας υγρασίας η οποία θα πρέπει να αποφεύγεται αυστηρώς, καθώς και η παρουσία σκόνης και μικρών ινών τείνουν να δημιουργήσουν οδούς μεγάλης αγωγιμότητας.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

8. Δυνατότητα εμπλουτισμού του ελαίου

Η αλλοίωση του ελαίου κατά την διάρκεια της χρησιμοποίησης του είναι δυνατόν να επιβραδυνθεί με εμπλουτισμό του, κατά την κατεργασία του, με αντιοξειδωτικά μέσα (oxidation inhibitors). Τα αντιοξειδωτικά αυτά, τα οποία συνήθως είναι τύπου φαινόλης ή αμίνης, μετατρέπουν τα εις το έλαιο σχηματισμένα μοριακά συγκροτήματα σε αδρανή μόρια, καταναλισκόμενα βαθμιαία κατά την λειτουργία. Οι αντιοξειδωτικές ουσίες εμπλουτισμού αυξάνουν σημαντικά την διάρκεια χρησιμοποίησης του ελαίου, αφού ο σχηματισμός οξέων και ιζήματος είναι κατ' ουσία μηδενικός.

9. Περιεκτικότητα σε τέφρα

Δεν πρέπει να ξεπερνά το 0.001%.

10. Επιφανειακή τάση

Στο εσωτερικό της μάζας οποιουδήποτε υγρού, κάθε μόριο περιβάλλεται από άλλα μόρια και υπάρχουν δυνάμεις έλξης, γνωστές ως δυνάμεις συνοχής, ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις. Εξαιτίας αυτών, η εξωτερική επιφάνεια του ελαίου συμπεριφέρεται σαν ελαστική μεμβράνη που τεντώνεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Η τάση του επιφανειακού στρώματος καλείται επιφανειακή τάση, αποτελεί μοριακή ιδιότητα και μετριέται σε dyn/cm . Πρέπει να είναι $20 \div 15 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3.3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

1. Διηλεκτρική αντοχή

Σαν διηλεκτρική αντοχή μπορεί να οριστεί η μέγιστη πεδιακή ένταση (ηλεκτρικό πεδίο) που μπορεί να αντέξει το μονωτικό υλικό. Η διηλεκτρική αντοχή εκφράζεται σε KV για ορισμένο διάκενο. Όταν τα μονωτικά λάδια έχουν μεγάλη διηλεκτρική αντοχή εξασφαλίζεται καλύτερη μόνωση των υπό τάση στοιχείων που βρίσκονται μέσα σ' αυτά, η δε χρήση λαδιών μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής επηρεάζει κατά κάποιον τρόπο τις διαστάσεις των μηχανημάτων στα οποία χρησιμοποιούνται τέτοια λάδια. Βέβαια η διηλεκτρική αντοχή δεν αποτελεί απόλυτο κριτήριο, ικανό για την εκτίμηση της ποιότητας του λαδιού. Πολύ γερασμένα λάδια μπορεί να έχουν μεγάλη διηλεκτρική αντοχή. Μπορούμε να πούμε ότι στην πράξη δεν εξαρτάται από την σύνθεση του λαδιού αλλά μόνο από τα περιεχόμενα σ' αυτό όπως νερό, ίνες και αέρια δηλαδή μόνο από την καθαρότητα του. Ως τάση διάσπασης από την άλλη, ορίζεται η μέγιστη τιμή τάσης που μπορεί να εφαρμοστεί ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια που είναι βυθισμένα μέσα στο λάδι χωρίς να δημιουργηθεί τόξο σε ομοιογενές πεδίο. Έτσι σε ομοιογενές πεδίο η διηλεκτρική αντοχή (E_d) προσδιορίζεται από την σχέση:

$$E_d = U_{d_{\min}} / d$$

Όπου $U_{d_{\min}}$ η ελάχιστη ενεργός τιμή της τάσης για την διάσπαση και d η απόσταση των ηλεκτροδίων. Πρακτικά για τους υπολογισμούς των μονωτικών υλικών η διηλεκτρική αντοχή λαμβάνεται ίση με το 10% της τιμής που μετρείται στις δοκιμές.

Μονωτικό υλικό	d (mm)	E_d (KV/cm)
Αέρας	—	21
Λάδι Μ/Σ	—	60...200
Πορσελάνη	0.5...3	340...380
Ξύλο	<3	30...50
Στεατίτης	0.5...3	200...300
Γυαλί	<1	160...450
Χαρτόνι	0.5...1.5	300...450
Χαρτί στο λάδι	<2	200...400
Glimmer	0.01- 0.1	500...1000
Σκληρό ελαστικό	<3	300...500

Πίνακας 3: E_d για καταπόνηση μικρής χρονικής διάρκειας ορισμένων μονωτικών υλικών σε ομογενές πεδίο συχνότητας 50 Hz

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

2. Ειδική αντίσταση αγωγιμότητας

Η ειδική αντίσταση του λαδιού μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του. Έτσι η μέτρηση του μεγέθους αυτού πρέπει να είναι $5 \cdot 10^{11} \div 5 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$.

3. Διηλεκτρική σταθερά

Η διηλεκτρική σταθερά είναι ένα αδιάστατο μέγεθος το οποίο εκφράζει το πόσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα μιας διάταξης συγκριτικά με εκείνη στο κενό. Η διηλεκτρική σταθερά είναι $2.2 \div 2.4$ στους 20°C . Οι διηλεκτρικές σταθερές των διαφόρων μονωτικών υλικών που συνθέτουν μια μόνωση π.χ. περιελίξεις Μ/Σ, μονώσεις καλωδίων θα πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξομαλύνεται το πεδίο στις διαχωριστικές επιφάνειες τους, ώστε να αποφεύγεται η εκδήλωση μερικών εκκενώσεων. Αυτός είναι και ο λόγος που ο συνδυασμός του μονωτικού χαρτιού και του ελαίου βρίσκει πολλές πρακτικές εφαρμογές. Τα δύο μονωτικά υλικά έχουν την ίδια περίπου διηλεκτρική σταθερά με αποτέλεσμα να μην συμβαίνει διάθλαση των πεδιακών γραμμών στη διαχωριστική επιφάνεια τους.

Επιπλέον το έλαιο εμποτίζει το χαρτί, ώστε να αποκλείεται η ύπαρξη αέρα, ο οποίος θα δημιουργούσε προβλήματα λόγω της μικρής διηλεκτρικής αντοχής του.

ΥΛΙΚΟ	Διηλεκτρική σταθερά
Αέρας	1
Λάδι	2.1
Χαρτί	2
Πορσελάνη	7
Λάστιχο	3.6
Νερό	81

4. Συντελεστής απωλειών

Όταν τα μονωτικά υλικά βρίσκονται κάτω από την επίδραση ηλεκτρικών πεδίων, αναπτύσσονται διάφοροι μηχανισμοί οι οποίοι απορροφούν ενέργεια από τα πεδία, δηλαδή έχουμε απώλεια ενέργειας. Η ενέργεια που απορροφάται στα υλικά μετατρέπεται κυρίως σε θερμότητα, η οποία αν δεν αποβληθεί προς το περιβάλλον, προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών με αποτέλεσμα την κακή λειτουργία, τις βλάβες και την πρόωρη καταστροφή των διατάξεων.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Κάτω από συνεχή τάση η απορρόφηση της ενέργειας οφείλεται στη δημιουργία του ρεύματος διαρροής στο μονωτικό σώμα, εξαιτίας της αγωγιμότητας όγκου ή και της επιφανειακής αγωγιμότητας. Δηλαδή η θέρμανση του υλικού οφείλεται στο φαινόμενο Joule. Στα εναλλασσόμενα πεδία εμφανίζεται μία επιπλέον απορρόφηση ενέργειας και θέρμανση του σώματος που προκαλείται από τις περιοδικές πολώσεις και αποπολώσεις του, σύμφωνα με τους διάφορους μηχανισμούς πόλωσης.

Η απώλεια ενέργειας ανά περίοδο και ανά μονάδα όγκου του σώματος δίνεται από την σχέση:

$$W=\pi \cdot E^2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot t \cdot g \cdot \delta$$

Όπου $t \cdot g \cdot \delta$ ο συντελεστής απωλειών και E η μέγιστη τιμή της πεδιακής έντασης.

Έτσι, σε έναν μονωτή έχουμε εκτός από το χωρητικό ρεύμα I_c , ένα ρεύμα διαρροής I_R .
Ο συντελεστής απωλειών:

$$t \cdot g \cdot \delta = I_R / I_c = G / \omega C$$

είναι κριτήριο αξιολόγησης του διηλεκτρικού, ή μας μονωτικής διάταξης γενικότερα, γιατί παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αγωγιμότητα του.

3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

1. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων

Όσο μεγαλύτερο είναι το κενό μεταξύ των ηλεκτροδίων τόσο μικρότερη είναι η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού λαδιού.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

2. Το εμβαδόν επιφάνειας ηλεκτροδίων

Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια ηλεκτροδίων τόσο μικρότερη είναι η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού ελαίου.

3. Το υλικό των ηλεκτροδίων

Το υλικό αυτό έχει επίδραση πάνω στην διηλεκτρική αντοχή. Τα μέταλλα που έχουν υψηλό έργο εξόδου έχουν μεγάλη διηλεκτρική αντοχή.

4. Η γεωμετρία των ηλεκτροδίων

Η γεωμετρία των ηλεκτροδίων καθορίζει την ομοιογένεια του ηλεκτρικού πεδίου. Όσο πιο ανομοιογενές είναι το ηλεκτρικό πεδίο τόσο μειώνεται η τάση διάσπασης. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση του μήκους του διακένου βοηθά στην βελτίωση της διηλεκτρικής αντοχής του ελαίου.

Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των ηλεκτροδίων, τόσο μικρότερη γίνεται η διηλεκτρική αντοχή του, υπό εξέταση μονωτικού λαδιού. Αυτό συμβαίνει διότι μεγαλύτερη επιφάνεια ηλεκτροδίων αναμένεται να έχει περισσότερες προεξοχές και ανωμαλίες.

5. Το είδος της εφαρμοζόμενης τάσης

Η διηλεκτρική αντοχή υπό κρουστική τάση είναι μεγαλύτερη από ότι υπό εναλλασσόμενη τάση της τάξεως των 50 Hz επί ένα λεπτό. Υπό συνεχή τάση η διηλεκτρική αντοχή είναι μεγαλύτερη από ότι εκείνη της εναλλασσόμενης τάσης.

6. Θερμοκρασία

Έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας διευκολύνει την διαφυγή των φυσαλίδων αέρα καθώς μειώνει το ιξώδες του λαδιού. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού. Επιπλέον, αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως συνέπεια μικρότερη απόλυτη περιεκτικότητα σε νερό, άλλα αυξάνει την διαλυτότητα σε νερό του υγρού.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει σημαντικά την σχετική περιεκτικότητα σε νερό στο έλαιο. Άρα, η διηλεκτρική αντοχή αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η επίδραση της θερμοκρασίας επί της διηλεκτρικής αντοχής γίνεται δραματικά μεγαλύτερη καθώς προσεγγίζεται το σημείο βρασμού του υγρού μονωτικού. Σε αυτό το σημείο η διηλεκτρική αντοχή λαμβάνει τη μικρότερη τιμή της. Αντίθετα, για θερμοκρασίες χαμηλότερες από αυτής του δωματίου, παρατηρείται αύξηση της διηλεκτρικής αντοχής. Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι ένα σύνθετο φαινόμενο εξ αιτίας των πιθανών μεταβολών στην εκπομπή ηλεκτρονίων από την κάθοδο, στην περιεκτικότητα του υγρού σε αέρια και στο ιξώδες του υγρού.

7. Πίεση

Όσο αυξάνεται η πίεση τόσο μειώνεται η διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού. Περισσότερη εξάρτηση από την πίεση δείχνει η διηλεκτρική αντοχή του λαδιού σε εναλλασσόμενη τάση και ακολουθεί η συνεχής τάση, ενώ για κρουστική η εξάρτηση εξαφανίζεται.

8. Γήρανση του ελαίου

Ο χρόνος αποθήκευσης του ελαίου, χωρίς αυτό να καταπονείται, δρα αρνητικά πάνω στην διηλεκτρική αντοχή καθώς αυξάνεται το ποσοστό της υγρασίας στο έλαιο. Μόνο μετά από συνεχείς και επαναλαμβανόμενες διασπάσεις αρχίζει να αυξάνεται σταδιακά η τιμή της διάσπασης του ελαίου, καθώς αρχίζει να υποχωρεί η υγρασία.

9. Ποιότητα και τύπος ελαίου

Η διηλεκτρική αντοχή του ελαίου είναι πολύ ευαίσθητη στην ποιότητα του ελαίου και μπορεί να επηρεαστεί από την παρουσία ακαθαρσιών, την υγρασία, τα μόρια και τα αέρια. Ακόμα κι αν η τάση διάσπασης περισσότερο συνδέεται με την ποιότητα ελαίου και την χημεία του, για τη σύγκριση των διαφορετικών ελαίων ελέγχεται καλά η περιεκτικότητα σε ακαθαρσίες. Ο τύπος του ελαίου είναι καθοριστικός παράγοντας για την διηλεκτρική αντοχή. Μεγαλύτερος αριθμός ατόμων άνθρακα σε ένα υγρό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διηλεκτρικής αντοχής του. Επιπλέον έχει παρατηρηθεί ότι υδρογονάνθρακες με μοριακές αλυσίδες που περιέχουν διακλαδώσεις παρουσιάζουν μειωμένη διηλεκτρική αντοχή. Επίσης η αύξηση της αρωματικής συνιστώσας (δηλαδή αύξηση στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες) μειώνει την διηλεκτρική αντοχή.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Με βάση λοιπόν, τις ήδη προαναφερθείσες φυσικές, χημικές ιδιότητες, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τις τεχνικές προδιαγραφές, κάθε έλαιο θα πρέπει να περιγράφεται με κάποια λειτουργικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με ένα διεθνές πρότυπο. Συγκεκριμένα, με βάση το ASTM (**American Society Testing and Material**) θα παρατεθεί παραδειγματικά η παρακάτω λίστα.

- Συντελεστής απωλειών ή δέλτα μαύρου πετρελαίου ($\tan\delta$)
- Συντελεστής ισχύος ή Power Factor ($\cos\theta$)
- Διηλεκτρική αντοχή σε AC τάση (δοκιμή με δισκοειδή ηλεκτρόδια)
- Διηλεκτρική αντοχή σε AC (δοκιμή με σφαιρικά ηλεκτρόδια)
- Διηλεκτρική αντοχή σε κρουστική τάση
- Τάση αεριοποίησης
- Συγκέντρωση νερού
- Οξύτητα
- Διαβρωτικό θείο (S)
- Συγκέντρωση ι-Βούτυλο-P-Κρεσόλης (DBPC)
- Σταθερότητα σε οξείδωση
- Χρώμα
- Οπτική εξέταση (επαρκής καθαρότητα)
- Σημείο πήξης
- Σημείο ανάφλεξης
- Συγκέντρωση παραφινών
- Ιξώδες
- Ειδική μάζα
- Θερμική διαστολή
- Θερμοαγωγιμότητα
- Ειδική θερμότητα
- Είδος και συγκέντρωση διαλυμένων αερίων
- Τάση δημιουργίας στατικών φορτίων
- Συγκέντρωση πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (PCB)
- Διηλεκτρική αντοχή ενώ βρίσκεται σε κίνηση
- Ειδική αντίσταση

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ

Η χρήση των μονωτικών υγρών σε πρακτικές εφαρμογές οφείλεται σε μία σειρά γενικών χαρακτηριστικών που πλεονεκτούν έναντι άλλων μονωτικών μέσων. Πιο συγκεκριμένα τα υγρα μονωτικά παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη διηλεκτρική αντοχή. Η διηλεκτρική αντοχή του αέρα είναι 21 KV/cm, ενώ η διηλεκτρική αντοχή του λαδιού που χρησιμοποιείται στους μετασχηματιστές είναι 60-200 KV/cm, άρα εμφανώς φαίνεται η υπεροχή των υγρών, έναντι του αέρα με βάση τις τιμές.
- Μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Είναι ίσως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των υγρών μονωτικών στην εφαρμογή τους ως ψυκτικό μέσο. Η πιο συνήθης χρήση τους είναι στα τυλίγματα των μετασχηματιστών, όπου λόγω του μεγάλου συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας διευκολύνεται η απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας οφειλόμενη στις απώλειες (νόμοι των Joule και Foucault), καθώς το λάδι κυκλοφορεί σε όλο τον όγκο του μετασχηματιστή.
- Προστατεύουν τα στερεά μονωτικά με τα οποία χρησιμοποιούνται συνδυαστικά. Όταν η πλήρωση του χώρου που καταλαμβάνει το υγρό μονωτικό γίνεται υπό συνθήκες κενού σε ορισμένη θερμοκρασία, αποφεύγεται η ύπαρξη αέρα που οξειδώνει το υγρό μονωτικό από τις επιβλαβείς συνέπειες της επαφής τους με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ως μειονέκτημα τους πρέπει να αναφέρουμε τη δυσκολία να διατηρηθούν σε καλή κατάσταση (δηλαδή να συνεχίσουν να έχουν υψηλή διηλεκτρική αντοχή) ιδίως όταν ο όγκος τους είναι μεγάλος. Με άλλα λόγια, είναι δύσκολο να μην εισέλθουν σε ένα υγρό μονωτικό ξένα σωματίδια.

Επίσης μερικά από αυτά είναι τοξικά, όπως το πολυχλωριούχο διφαινύλιο (PCB) ή εύφλεκτα, όπως το ορυκτέλαιο.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3.6 ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΛΑΔΙΩΝ

Έπειτα από όλη την ανάλυση που έγινε στις παραπάνω ενότητες των μονωτικών λαδιών, ως αναφερθούν σε αυτό το σημείο και οι συσκευές στις οποίες διαπιστώνεται η εφαρμογή τους.

1.Μετασχηματιστές (Μ/ΣΤΕΣ)

Χρησιμοποιούμε μονωτικό λάδι στους μ/στές γιατί είναι πρώτα απ' όλα κατάλληλο ψυκτικό μέσο. Απορροφά τη θερμότητα που παράγεται στα τυλίγματα και τον πυρήνα (Νόμοι των JOULE και FOUCAYLT) και την μεταφέρει στις ψυκτικές επιφάνειες των ψυγείων και στα τοιχώματα του δοχείου και από κει απάγεται στο περιβάλλον, από τα μεν ψυγεία με τη βοήθεια ανεμιστήρων, από τα δε τοιχώματα με ακτινοβολία. Η κυκλοφορία του λαδιού είναι φυσική ή εξαναγκασμένη ανάλογα με το μέγεθος του μ/στή.

Στους μικρούς όππου έχουμε μεγάλη επιφάνεια του δοχείου σε σύγκριση με τη ποσότητα του λαδιού, δηλ. το κλάσμα «επιφάνεια τοιχωμάτων/ όγκος περιεχόμενου λαδιού» έχει μεγάλη τιμή, έχουμε φυσική κυκλοφορία.

Στους μεγάλους μ/στες είναι προσαρμοσμένοι σωλήνες ψύξεως όππου κυκλοφορεί το λάδι, ενώ στους ακόμα πιο μεγάλους μεταχειριζόμαστε ποικίλες μεθόδους τεχνητής ψύξης, που περιλαμβάνουν συνδυασμούς από ψύξη με αέρα κυκλοφορούμενο από ανεμιστήρες, κυκλοφορία με αντλίες, σώματα που εκπέμπουν θερμότητα στον εξωτερικό αέρα ή νερό, και τέλος απ' ευθείας ψύξη με νερό που περνάει μέσα από έλικες τοποθετημένες μέσα στο λάδι πάνω από τα τυλίγματα. Η υπερθέρμανση του λαδιού είναι αυτή που συντείνει στην αλλοίωσή του.

Η περιεκτικότητα των μ/στων ανύψωσης τάσης σε λάδι είναι μεγαλύτερη και ανέρχεται ακόμα και πάνω από 130.000 LT. Λειτουργούν στις ψηλότερες τάσεις και είναι εφοδιασμένοι με συντηρητές και με μονάδες ξήρασης για να περιορίζουν την είσοδο νερού και αέρα, εξασφαλίζοντας έτσι μεγαλύτερο χρόνο ζωής στο λάδι και κατ' επέκταση και στη συσκευή.

Οι μ/στές διανομής περιέχουν από 20-10.000 LT λαδιού και λειτουργούν κάτω από τα 70 KV περίπου. Σ' αυτού του τύπου τους μ/στες η οξειδωση είναι ο κυριότερος παράγοντας, που επηρεάζει τη διάρκεια ζωής του λαδιού, λόγω του ότι είναι πολύ μεγάλος ο λόγος του εισερχομένου αέρα προς τον όγκο λαδιού και επίσης οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι γενικά ψηλότερες.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

2. Πυκνωτές

Η χρήση του μονωτικού υγρού γίνεται για να ενισχυθεί η μόνωση των πυκνωτών την οποία και διαποτίζει. Ο διαποτισμός γίνεται με μεγάλο κενό και μεγάλη θερμοκρασία μετά από τέλεια ξήρανση. Τα φύλλα αλουμινίου με την ενδιάμεση διαποτισμένη μόνωση κλείνονται μέσα σε στεγανό σφραγιστό μεταλλικό δοχείο, γι' αυτό δεν μπορούμε να αντικαταστήσουμε ή να συμπληρώσουμε το υγρό. Αυτό έχει σαν συνέπεια, η διάρκεια ζωής του υγρού να είναι και η διάρκεια ωφέλιμης ζωής του πυκνωτή.

Φυσικά το υγρό δεν μπορεί να οξειδωθεί αφού δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και η θερμοκρασία λειτουργίας δεν είναι μεγάλη. Το υγρό πρέπει να αντέχει σε πεδιακές εντάσεις γύρω στα 100 KV/CM, ενώ στους μ/στες οι εντάσεις αυτές είναι γύρω στα 45 KV/CM. Αρχικά τα λάδια των πυκνωτών ήταν όμοια με αυτά των μ/στων, ενώ τελευταία χρησιμοποιούνται ειδικά λάδια, αφού οι συνθήκες λειτουργίας των πυκνωτών διαφέρουν από αυτές των μ/στων. Αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν αυτά που προέρχονται από ορυκτά πετρέλαια και στη δεύτερη τα χλωριομένα συνθετικά υγρά που όλα έχουν για βάση τους το PCB (ROLYCHLORINATED BIPHENYL). Τα τελευταία κυκλοφορούν στην αγορά με τις ονομασίες INERTEEN, CLOPHEN, PYRANOL κ.λπ. Αυτά έχουν το πλεονέκτημα των χαμηλών διηλεκτρικών απωλειών και το ότι δεν αναφλέγονται και χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά σχεδόν τα τελευταία χρόνια. Επειδή όμως το PCB αποδείχτηκε ότι μολύνει το περιβάλλον, αντικαταστάθηκε με άλλα υγρά τα τελευταία χρόνια. Ένα απ' αυτά έχει την εμπορική ονομασία XFS - 4169L. Αυτό έχει τοξικότητα 20 φορές μικρότερη από υγρά που βασίζονται στο PCB. Επίσης έχει σημεία ανάφλεξης και καύσης μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του ορυκτού μονωτικού λαδιού.

3. Καλώδια

Το μονωτικό λάδι χρησιμοποιείται στα υπόγεια και υποβρύχια καλώδια για:

- Να ενισχύσουμε την μόνωση τους που είναι από χαρτί
- Να παρεμποδίσουμε την εισχώρηση υγρασίας
- Να ψύχουμε τον αγωγό του καλωδίου, όπως συμβαίνει με τα καλώδια τύπου PIRELLI

Στην αρχή τα καλώδια χαμηλής τάσης είχαν για μόνωση θεϊκομένη άσφαλτο που όμως αλλοιωνόταν πολύ γρήγορα, με αποτέλεσμα στις υψηλές θερμοκρασίες το σχηματισμό κενών που μπορούσαν να ιονιστούν. Για να αντιμετωπισθεί το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία σαν πηκτικό το κολοφώνιο που ενίσχυε τη προσκόλληση του διαποτιστικού υλικού. Αργότερα με την αύξηση των τάσεων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρήθηκαν συχνές διασπάσεις της μόνωσής του καλωδίου που οφειλόταν στα κενά που δημιουργούσε η συστολή του υλικού στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Μετά χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα παραφινικά λάδια που αναμιγνύονται με πυκνωτικά (κολοφώνια κ.λπ.). Το ποσοστό του πυκνωτικού εξαρτιέται από τη τοποθέτηση του καλωδίου. Στα οριζόντια καλώδια αναμιγνύεται λιγότερο πυκνωτικό παρά σε κατακόρυφα. Επειδή το παραπάνω υλικό που χρησιμοποιείται για τη πλήρωση του καλωδίου έχει μικρή διηλεκτρική αντοχή δεν χρησιμοποιείται σε καλώδια υψηλών τάσεων.

Έτσι για καλώδια μέχρι 66 KV έχουμε παχύρρευστα λάδια, πολλές φορές αναμιγμένα με εξευγενισμένο κολοφώνιο. Το εξευγενισμένο κολοφώνιο έχει βέβαια μικρότερες απώλειες, δεν έχει όμως ικανοποιητική διαλυτότητα στα λάδια παραφινικής βάσης και στις χαμηλές θερμοκρασίες παίρνει κρυσταλλική μορφή όταν οξειδωθεί. Εξ αιτίας αυτού προτιμώνται τα λάδια παραφινικής βάσης που έχουν τα πλεονεκτήματα:

1. Να διατηρούν το κολοφώνιο εύκολα, ακόμα και όταν οξειδωθεί
2. Είναι πιο λεπτόρρευστα στις διαδικασίες διαποτισμού
3. Έχουν μικρότερες απώλειες

Στα καλώδια που προορίζονται για τάσεις πάνω από 66KV έχουμε λάδι με πίεση. Σχετικά με τα καλώδια αυτά, τελευταίες έρευνες πάνω στην αντοχή των λαδιών τους έδειξαν ότι αυτά παθαίνουν φυσικοχημικές αλλοιώσεις, ακόμα και σε κανονική λειτουργία του καλωδίου, επειδή μολύνονται από τα προϊόντα των αντιδράσεων που προκαλούνται από την ανύψωση της θερμοκρασίας. Η μόλυνση και οι αλλοιώσεις επιδρούν πάνω στις διηλεκτρικές απώλειες του λαδιού και του καλωδίου. Κανονικά οι απώλειες αυξάνουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και πρακτικά είναι ανεξάρτητες από τη τάση.

Δηλαδή η συνδυασμένη επίδραση της θερμότητας και της τάσης με τη παρουσία χαλκού και σιδήρου προκαλεί γήρανση του λαδιού χωρίς όμως να σχηματισθούν κατάλοιπα οξειδωσης όπως συμβαίνει με την οξειδωση στον αέρα. Αυτά βέβαια είναι αντίθετα με την άποψη, που ήταν δεκτή μέχρι πριν λίγο και έλεγε ότι το λάδι του καλωδίου δεν οξειδώνεται μιας και δεν υπάρχει αέρας μέσα στο καλώδιο. Επειδή οι αλλοιώσεις του λαδιού δεν προσβάλλουν το μονωτικό χαρτί, μπορούμε να αφαιρέσουμε το γερασμένο λάδι να ξεπλύνουμε τα καλώδια με λάδι και να τα γεμίσουμε με καινούργιο για να τα χρησιμοποιήσουμε εκ νέου. Τα λάδια που χρησιμοποιούνται σε καλώδια υψηλής τάσης έχουν γενικά ναφθαλενική βάση. Αυτά πρέπει να αντέχουν σε μεγάλες θερμοκρασίες και στη γήρανση. Επίσης πρέπει να εκλύουν όσο το δυνατό λιγότερα αέρια και να είναι παχύρρευστα αν δεν προορίζονται για κυκλοφορία μέσα στα καλώδια. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ρευστότητα στους 20°C είναι γύρω στα 150 CENTIPOISE. Τόσο το λάδι όσο και το μονωτικό εκλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε με οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας το λάδι να διαποτίζει τη μόνωση από χαρτί. Η διηλεκτρική σταθερά μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ενώ η $\epsilon_{\phi\delta}$ έχει μεταβολή της μορφής U.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Ο βασικός λόγος της χρήσης του κολοφωνίου είναι η αύξηση του ιξώδους του λαδιού, αλλά ταυτόχρονα του δίνει και πλεονεκτήματα που έχουν σχέση με τις διηλεκτρικές απώλειες. Υγρά εμποτισμού με μεγάλη εσωτερική τριβή παίζουν επίσης βασικό ρόλο στα καλώδια με πίεση αερίου που προορίζονται για πολύ ψηλές τάσεις.

Έτσι, χρησιμοποιούνται μεν συνηθισμένες μονωτικές ουσίες, γνωστές σαν COMPOUNDS που περιέχουν ρητίνες αλλά χρησιμοποιούνται και ειδικά COMPOUNDS που περιέχουν πολυμερή του ισοβουτυλενίου σε ποσοστό 30 % κατά βάρος.

Ένας κατασκευαστής καλωδίων υψηλής τάσης χρησιμοποιεί τελευταία καθαρό πολυίσοβουτυλένιο. Στις μεγάλες θερμοκρασίες σ' αυτά τα COMPOUNDS οι τιμές της Εφδ είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες των COMPOUNDS που περιέχουν ρητίνες.

4. Μονωτήρες διέλευσης

Οι μονωτήρες διέλευσης των μ/στων περιέχουν μονωτικό λάδι που μπορεί να είναι το ίδιο με του μ/στη. Αν το λάδι του μονωτήρα επικοινωνεί με το λάδι του μ/στη τότε τούτο βρίσκεται στη πίεση που οφείλεται στη στάθμη του λαδιού του δοχείου διαστολής. Αν το λάδι του μονωτήρα διέλευσης δεν επικοινωνεί με το λάδι του μ/στη τότε είναι ένα παχύρρευστο ειδικό λάδι (π.χ. με ιξώδες 71 ° ENGLER στους 50 °C) που έχει διηλεκτρική αντοχή που δεν μεταβάλλεται ακόμα και με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι μονωτήρες διέλευσης των μ/στων αλλά και των διακοπών είναι στεγανοί και έχουν χώρο διαστολής του υγρού που δεν επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα και άρα δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες. Η γωνία διηλεκτρικών απωλειών του μονωτικού λαδιού που προορίζεται για μονωτήρες διέλευσης επιδρά πάνω στη χρήση του αλλά όχι τόσο πολύ όσο στη χρήση του λαδιού που προορίζεται για πυκνωτές. Γι' αυτό το λάδι των μ/στων είναι γενικά κατάλληλο για μονωτήρες διέλευσης. Ειδικά στους μονωτήρες διέλευσης υπερύψηλης τάσης (420KV) χρησιμοποιείται λάδι που περιέχει πρόσθετο βελτιωτικό. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένας κατασκευαστής μ/στων 420 KV (TRO- DDR) χρησιμοποιεί στους μονωτήρες διέλευσης λάδι SHELL DIALA D με βελτιωτικό.

5. Μετασχηματιστές οργάνων

Στους μετασχηματιστές οργάνων (τάσης και έντασης) χρησιμοποιούνται μονωτικά λάδια, ίδια μ' αυτά των μ/στων ισχύος για τον εμποτισμό του στερεού υλικού που γενικά είναι ειδικό χαρτί.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Έτσι έχουμε συνοπτικά τους πίνακες με τα εξής στοιχεία:

Συσκευή	Χαρακτηριστικά που έχουν σημασία
Μετασχηματιστές:	Χημική σταθερότητα, θερμικά χαρακτηριστικά και σε ειδικές περιπτώσεις μη αναφλεξιμότητα
Ελαιοδιακόπτες:	Σχηματισμός άνθρακα, σβήσιμο του τόξου
Πυκνωτές:	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, διηλεκτρική σταθερή, θερμική σταθερότητα και έκκλιση αερίων
Καλώδια:	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, διηλ. σταθερή, θερμική σταθερότητα και έκλυση – απορρόφηση αερίων
Μονωτήρες διέλευσης:	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Κανονισμοί	Συσκευές
BS 162	IEC 54 Διακόπτες ισχύος και συνδεόμενα εξαρτήματα
BS 171	IEC 76 Μετασχηματιστές ισχύος
BS 223	IEC 137 Μονωτήρες διέλευσης υψηλής τάσης
BS1650	IEC 70 Πυκνωτές για σύνδεση σε συστήματα ισχύος
BS2131	IEC 80 Πυκνωτές σφραγιστοί για χρήση σε συνεχές ρεύμα με διηλεκτρικό εμποτισμένο χαρτί ή φιλμ χαρτιού/πλαστικού
BS2631	- Ελαιοδιακόπτες για συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος
BS3938	IEC 185 Μετασχηματιστές έντασης
BS3941	IEC 186 Μετασχηματιστές τάσης
BS6480	IEC 55 Μονωμένα καλώδια με διαποτισμένο χαρτί για παροχή ηλεκτρισμού
BS4017	- Πυκνωτές για χρήση σε σωληνοειδείς λάμπες φθορισμού και κυκλώματα για λάμπες με υψηλή πίεση υδραργύρου και χαμηλή πίεση νατρίου
BS5311	IEC 267 Διακόπτες A.C κυκλωμάτων διαβαθμισμένης τάσης πάνω από 1KV

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ

Παρόλη την εξέλιξη της τεχνολογίας, όσο και της τεχνογνωσίας γύρω από τις μεθόδους παραγωγής, σύνθεσης και χρήσης των μονωτικών υγρών, ο τομέας που αφορά την διάσπαση τους υστερεί, συγκριτικά τόσο με τα αέρια, όσο και με τα στερεά. Στο πέρας των τελευταίων δεκαετιών, πολλές ήταν οι απόψεις γύρω από την διάσπαση και τους μηχανισμούς της, αλλά τα ευρήματα και τα συμπεράσματα πολλών ερευνητών δεν συναντούσαν κάτι κοινό, έχοντας ως αποτέλεσμα την μη ύπαρξη μιας κοινής γενικής θεωρίας εφαρμόσιμη στα υγρά, καθώς τα ανεξάρτητα δεδομένα είναι σε διάσταση και μερικές φορές αντιφατικά. Η κύρια αιτία για αυτή την κατάσταση είναι η έλλειψη αναλυτικής θεωρίας όσον αφορά στη φυσική βάση της υγρής κατάστασης, η οποία θεωρία θα σχημάτιζε την βασική σκελετική δομή με την οποία οι παρατηρήσεις θα μπορούσαν να συγκριθούν και να συσχετισθούν.

Φθάνοντας στο παρών όλη αυτή η χρόνια έρευνα καταλήγει γενικά σε δύο σχολές απόψεων. Η μία εξ' αυτών προσπαθεί να ερμηνεύσει την διάσπαση των υγρών με ένα πρότυπο το οποίο είναι επέκταση της αέριας διάσπασης, στηριζόμενο στον ιονισμό στοιβάδας των ατόμων που προκαλείται από κρούσεις ηλεκτρονίων μέσα στο εφαρμοζόμενο πεδίο. Τα ηλεκτρόνια θεωρούνται να εγχέονται από την κάθοδο στο υγρό, είτε μέσω εκπομπής πεδίου (περίπτωση κατά την οποία, αυτά θεωρούνται να εξορύσσονται διαμέσου της επιφάνειας υποβοηθούμενα από το πεδίο), είτε μέσω θερμιονικού φαινομένου (Shottky) [1] ενισχυμένου από το πεδίο. Αυτός ο τύπος μηχανισμού διάσπασης έχει θεωρηθεί ότι εφαρμόζεται σε ομογενή υγρά υπερβολικής καθαρότητας και δεν εφαρμόζεται σε εμπορικά εκμεταλλεύσιμη υγρή μόνωση. Μελέτες αγωγής σε πολύ καθαρά υγρά έδειξαν ότι, σε πολύ χαμηλά πεδία η αγωγή είναι κατά κύριο λόγο ιονική εξαιτίας αποσύνθεσης ρύπων και αυξάνει γραμμικά με την πεδιακή ένταση. Αυτή η αγωγή κορρενύεται σε ενδιάμεσα πεδία. Σε υψηλά πεδία, καθώς προσεγγίζεται η διάσπαση, η αγωγή αυξάνει ταχύτερα και τείνει να είναι ασταθής. Υπάρχει η γνώμη ότι αυτό το αυξημένο ρεύμα προκαλείται από εκπομπή ηλεκτρονίων στην κάθοδο από έναν εκ των παραπάνω, ή αμφοτέρους, τους μηχανισμούς, από αποσύνδεση μορίων στο υγρό υποβοηθούμενη από το πεδίο.

Έχει επι μακρόν αναγνωρισθεί ότι η παρουσία ξένων σωματιδίων σε υγρή μόνωση έχει ισχυρή επίδραση στην ένταση διάσπασης των υγρών. Σε μία προσέγγιση έχει διατυπωθεί αξιωματικά ότι τα αιωρούμενα σωματίδια πολώνονται και είναι υψηλότερης διαπερατότητας από το υγρό. Ως αποτέλεσμα, αυτά υποβάλλονται σε μία ηλεκτρική δύναμη κατευθυνόμενη προς την θέση μέγιστης έντασης. Με ηλεκτρόδια ομοιόμορφου πεδίου, η κίνηση των σωματιδίων εκλαμβάνεται να εκκινεί από επιφανειακές ανωμαλίες των ηλεκτροδίων, οι οποίες εγείρουν τοπικές πεδιακές βαθμώσεις. Η συσσώρευση σωματιδίων συνεχίζεται και τείνει να σχηματίσει μια ζεύξη κατά μήκος του διακένου, η οποία οδηγεί σε έναρξη διάσπασης.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Οι ρύποι μπορεί επίσης να είναι αέριες φυσαλίδες χαμηλότερης έντασης διάσπασης από το υγρό, περίπτωση κατά την οποία η διάσπαση της φυσαλίδας δύναται να πυροδοτήσει την πλήρη διάσπαση του υγρού. Η διάσπαση λοιπόν, επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους όπως: η ηλεκτρονική διάσπαση, ο μηχανισμός αιωρούμενων στερεών σωματιδίων, η διάσπαση κοιλότητας και τέλος η ηλεκτρομεταφορά και το ηλεκτροϋδροδυναμικό πρότυπο διηλεκτρικής διάσπασης.

4..2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ

Αμφότεροι οι μηχανισμοί εκπομπής πεδίου και θερμοϊονικής εκπομπής ενισχυμένης από το πεδίο, που συζητήθηκαν νωρίτερα, έχουν θεωρηθεί υπεύθυνοι για το ρεύμα στην κάθοδο. Μελέτες αγωγής σε μονωτικά υγρά για υψηλά πεδία δείχνουν ότι τα περισσότερα πειραματικά δεδομένα για ρεύμα προσαρμόζονται καλά στην τύπου Schottky εξίσωση:

$$J_s = AT^2 \exp [-e/ kT (W_a - \sqrt{eE/4\pi\epsilon_0})] \quad (4.1)$$

Στην οποία το ρεύμα είναι εξαρτώμενο από την θερμοκρασία. Μετρήσεις διάσπασης διεξαγμένες επί μίας ευρείας περιοχής θερμοκρασιών, ωστόσο, δείχνουν μικρή θερμοκρασιακή εξάρτηση. Αυτό υποδεικνύει ότι η καθοδική διαδικασία είναι μάλλον εκπομπή πεδίου παρά θερμοϊονική εκπομπή. Είναι πιθανόν ότι, η επιστροφή θετικών ιόντων και, ιδιαίτερω, θετικά φορτισμένων ξένων σωματιδίων στην κάθοδο προκαλεί αύξηση τοπικού πεδίου και εγείρει ηλεκτρονική εκπομπή. Μόλις το ηλεκτρόνιο εγχυθεί μέσα στο υγρό κερδίζει ενέργεια από το εφαρμοζόμενο πεδίο. Στην ηλεκτρονική θεωρία διάσπασης εικάζεται ότι μερικά ηλεκτρόνια κερδίζουν περισσότερη ενέργεια από το πεδίο απ' ό,τι αυτά απολύουν σε κρούσεις με μόρια. Αυτά τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται μέχρι να κερδίσουν επαρκή ενέργεια για να ιονίσουν μόρια επί κρούσεων και να εκκινήσουν στοιβάδα.

Η συνθήκη για το ξέσπασμα στοιβάδας ηλεκτρονίων λαμβάνεται εξισώνοντας το κέρδος ενέργειας ενός ηλεκτρονίου κατά μήκος του μέσου ελεύθερου βήματος του με την ενέργεια που απαιτείται για ιονισμό του μορίου, ήτοι:

$$eE\lambda = chu \quad (4.2)$$

όπου E είναι το εφαρμοζόμενο πεδίο, λ είναι το μέσο ελεύθερο βήμα ηλεκτρονίου, hu είναι το διακριτό ποσό ενέργειας που απολύεται κατά τον ιονισμό του μορίου και c μια αυθαίρετη σταθερά.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Ηλεκτρική αντοχή κεκαθαρμένων υγρών

Υγρό	Ένταση (MV/cm)
Εξάνιο	1.1-1.3
Βενζόλιο	1.1
Καλό έλαιο	~1.0-4.0
Σιλικόνη	1.0-1.2
Άζωτο	1.6-1.88
Οξυγόνο	2.4

Η ηλεκτρονική θεωρία προβλέπει ικανοποιητικά το σχετικό μέγεθος της έντασης διάσπασης υγρών, αλλά οι παρατηρούμενες χρονικές υστερήσεις σχηματισμού είναι πολύ μακρύτερες από ότι προβλέπονται από αυτή.

4.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Στέρεοι ρύποι μπορούν να είναι παρόντες στο υγρό, είτε ως ίνες είτε ως διεσπαρμένα στερεά σωματίδια. Ας θεωρήσουμε ένα σφαιρικό σωματίδιο ακτίνας r και διαπερατότητας ϵ να αιωρείται σε διηλεκτρικό υγρό διαπερατότητας ϵ_{liq} . Τότε, εντός ενός πεδίου το σωματίδιο θα πολωθεί και θα υποστεί μία δύναμη που δίνεται από την σχέση:

$$F_e = \epsilon_{liq} \cdot r^3 (\epsilon - \epsilon_{liq} / \epsilon + 2\epsilon_{liq}) \cdot E \cdot \text{grad}E \quad (4.3)$$

Αυτή η δύναμη κατευθύνεται προς τη θέση μέγιστης έντασης αν $\epsilon > \epsilon_{liq}$, αλλά για φυσαλίδες $\epsilon < \epsilon_{liq}$ κι αυτή έχει αντίθετη κατεύθυνση. Η δοθείσα από την παραπάνω εξίσωση δύναμη, αυξάνει καθώς η διαπερατότητα (ϵ) του αιωρούμενου σωματιδίου αυξάνει και για ένα αγωγίμο σωματίδιο, για το οποίο $\epsilon \rightarrow \infty$, η δύναμη γίνεται:

$$F_e = F_\infty = \epsilon_{liq} \cdot r^3 \cdot E \cdot \text{grad}E \quad (4.4)$$

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

Έτσι η δύναμη παροτρύνει το σωματίδιο να κινηθεί στην περιοχή ισχυρότερου πεδίου. Σε ένα διάκενο ομοιόμορφου πεδίου, ή διάκενο σφαιρών μικρού μήκους, το ισχυρότερο πεδίο είναι στην ομοιόμορφη περιοχή. Σε αυτή την περιοχή η ποσότητα \mathbf{gradE} ισούται με το μηδέν, έτσι ώστε το σωματίδιο παραμένει εκεί σε ισορροπία. Κατά συνέπεια, τα σωματίδια σύρονται στην περιοχή ομοιόμορφου πεδίου. Αν η διαπερατότητα του σωματιδίου είναι υψηλότερη από αυτή του μέσου, τότε η παρουσία του στην περιοχή ομοιόμορφου πεδίου επιφέρει συγκέντρωση ηλεκτρικής ροής στην επιφάνεια του. Επιπρόσθετα σωματίδια θα ελκυσθούν στην περιοχή υψηλότερης συγκέντρωσης ροής και με τον χρόνο θα ευθυγραμμισθούν από την κεφαλή προς τα πίσω σχηματίζοντας μία ζεύξη κατά μήκος του διακένου. Το πεδίο στο υγρό μεταξύ των σωματιδίων θα ενισχυθεί και, αν αυτό φθάσει μια κρίσιμη τιμή, θα ακολουθήσει διάσπαση.

Η κίνηση των σωματιδίων λόγω ηλεκτρικής δύναμης ανταγωνίζεται από την οπισθέλκουσα ιξώδους και, εφόσον τα σωματίδια κινούνται στην περιοχή υψηλής έντασης, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η διάχυση. Για ένα σωματίδιο ακτίνας r βραδέως κινούμενο με μία ταχύτητα u σε ένα μέσο ιξώδους η , η οπισθέλκουσα δύναμη δίνεται από την σχέση του Stokes:

$$F_{\text{drag}} = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot u(x) \quad (4.5)$$

Εξισώνοντας την ηλεκτρική δύναμη με την οπισθέλκουσα δύναμη ($F_e = F_{\text{drag}}$) λαμβάνουμε:

$$u_E = (r^2 \cdot E / 6 \cdot \pi \cdot \eta) \cdot (dE/dx) \quad (4.6)$$

Όπου u_E είναι η ταχύτητα του σωματιδίου προς την περιοχή μέγιστης έντασης. Αν συμπεριληφθεί η διαδικασία διάχυσης, η ταχύτητα ολίσθησης λόγω διάχυσης θα δίνεται από την εξίσωση:

$$u_d = -\frac{DdN}{Nd_x} = -\left(\frac{kT}{6\pi r \eta}\right) \frac{dN}{Nd_x} \quad (4.7)$$

Η σχέση στο δεξί μέλος της εξίσωσης απορρέει από την σχέση Stokes-Einstein $D = kT/6\pi r \eta$, όπου k είναι η σταθερά Boltzmann και T είναι η απόλυτη θερμοκρασία. Η εξίσωση της u_E με την u_d δίνει:

$$\frac{r^2}{6\pi r \eta} \mathbf{E} \frac{dE}{dx} = -\left(\frac{kT}{6\pi r \eta r N}\right) \frac{dN}{dx} \quad (4.8)$$

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

Αυτή η σχέση εισάγει εξάρτηση της έντασης διάσπασης στον χρόνο από τη συγκέντρωση **N** των σωματιδίων, την ακτίνα τους και το ιξώδες του υγρού. Η κρίσιμη τιμή εγκάρσιου πεδίου $E(x)$, ήτοι η τιμή ισορροπίας πέραν της οποίας αργά η γρήγορα θα συμβεί διάσπαση, μπορεί να ληφθεί από ολοκλήρωση της (4.8) εξίσωσης, δηλαδή:

$$\left[\frac{r^2 E^2}{2} \right]_{E=E_\infty}^{E=E_x} = \left[-\frac{kT}{r} \ln N \right]_{N=N_\infty}^{N=N(x)}$$

$$\frac{N(x)}{N_\infty} = \exp \left\{ \frac{[E^2(x) - E^2(\infty)]}{2kT} \right\} \quad (4.9)$$

Αν η αύξηση στην ηλεκτροστατική ενέργεια όταν τα σωματίδια ολισθαίνουν προς το μέρος μέγιστης έντασης είναι πολύ μικρότερη από την κινητική τους ενέργεια, δηλαδή $r^3[E(x)^2 - E(\infty)^2] \ll 2kT$, η ζωή της μόνωσης είναι άπειρη. Το κριτήριο για τη διάσπαση, που προκύπτει από κίνηση σωματιδίων προς την περιοχή υψηλής έντασης, αντιστοιχεί στην συνθήκη:

$$r^3[E(x)^2 - E(\infty)^2] = 2kT \quad (4.10)$$

Αν θεωρήσουμε την περίπτωση κατά την οποία η αρχική μη-ομοιομορφία του πεδίου προκαλείται από ένα ημισφαιρικό κύρτωμα του ηλεκτροδίου, και υποθέσουμε ότι ένα εφαρμοζόμενο πεδίο E_0 θα οδηγήσει σε διάσπαση κατόπιν μιας μακροχρόνιας εφαρμογής, τότε η μέγιστη ένταση στην κορυφή της σφαίρας είναι $3 \cdot E_0$ ή, γενικά, η μέγιστη ένταση είναι gE_0 όπου g είναι ένας γεωμετρικός συντελεστής. Τότε η εξίσωση (4.10) μπορεί να γραφεί ως:

$$r^3(g^2 - 1)E_0^2 = 2kT \quad (4.11)$$

Για $g=3$ λαμβάνουμε:

$$r^3 E_0^2 = \frac{1}{4} kT \quad (4.12)$$

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Μία πιο πλήρης θεωρία δίνει μια σχέση η οποία λαμβάνει υπόψη τις διαπερατότητες και είναι της μορφής:

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_{liq}}{\varepsilon + 2\varepsilon_{liq}} r^2 E_0^2 = \frac{1}{4} kT$$

Η εξίσωση (4.12) δίνει μια ένταση διάσπασης E_0 μετά από μακρύ χρόνο ως μία συνάρτηση του μεγέθους των αιωρούμενων ρύπων. Αυτή η σχέση έχει ελεγχθεί πειραματικά και έχει ληφθεί λογική συμφωνία με υπολογισμούς.

4.4 ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ

Μονωτικά υγρά δύνανται να περιέχουν αέρια έγκλειστα υπό τη μορφή φυσαλίδων. Οι διαδικασίες μέσω των οποίων σχηματίζονται φυσαλίδες περιλαμβάνουν:

- i. Θυλάκια αέρα στην επιφάνεια ηλεκτροδίων
- ii. Αλλαγές στην θερμοκρασία και την πίεση
- iii. Αποσύνδεση προϊόντων μέσω ηλεκτρονικών κρούσεων, δίνοντας αφορμή για τον σχηματισμό αέριων προϊόντων
- iv. Εξάτμιση υγρού από εκκενώσεις τύπου “κορώνας” σε ακίδες κι ανωμαλίες επί των ηλεκτροδίων

Το ηλεκτρικό πεδίο μέσα σε μία φυσαλίδα αερίου η οποία είναι βυθισμένη σε ένα υγρό διαπερατότητας ε_{liq} , δίνεται από την σχέση:

$$E_b = \frac{3E_0}{\varepsilon_{liq} + 2} \quad (4.13)$$

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Όπου E_0 είναι το πεδίο εντός του υγρού απουσία της φυσαλίδας. Όταν το πεδίο E_b γίνεται ίσο με το πεδίο ιονισμού αέριας φάσης, λαμβάνεται χώρα εκκένωση, η οποία οδηγεί σε αποσύνθεση του υγρού και δύναται να ακολουθήσει διάσπαση. Ο Kao έχει αναπτύξει μια πιο ακριβή έκφραση για την πεδιακή ένταση διάσπασης “φυσαλίδας”, η οποία είναι της μορφής:

$$E_0 = \frac{1}{(\epsilon_1 - \epsilon_2)} \left\{ \frac{2\pi\sigma(2\epsilon_1 + \epsilon_2)}{r} \left[\frac{\pi}{4} \sqrt{\left(\frac{V_b}{2rE_0} \right) - 1} \right] \right\}^{1/2} \quad (4.14)$$

Όπου σ είναι η επιφανειακή τάση του υγρού, ϵ_1 και ϵ_2 είναι οι διαπερατότητες του υγρού και της φυσαλίδας, αντίστοιχα, r είναι η αρχική ακτίνα της φυσαλίδας (αρχικά σφαιρική, η οποία θεωρείται να επιμηκύνεται υπό την επίδραση του πεδίου) και V_b είναι η πτώση τάσης μέσα στην φυσαλίδα. Αυτή η έκφραση μαρτυρά ότι η κρίσιμη ένταση ηλεκτρικού πεδίου που απαιτείται για διάσπαση υγρού εξαρτάται από το αρχικό μέγεθος της φυσαλίδας, το οποίο επηρεάζεται από την εξωτερική πίεση και την θερμοκρασία. Έχει παρατηρηθεί πειραματικά μια ισχυρή εξάρτηση της έντασης διάσπασης υγρού από την εφαρμοζόμενη υδροστατική πίεση.

Εμπορικά μονωτικά υγρά δεν μπορούν να υποβληθούν εύκολα σε πολύ εξεζητημένη επεξεργασία κάθαρσης και η ένταση διάσπασης εξαρτάται συνήθως από την φύση των παρόντων ρύπων.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

**4.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΪΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ
ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ**

Η σπουδαιότητα της ηλεκτρομεταφοράς σε μονωτικά υγρά υποβαλλόμενα σε υψηλές τάσεις δεν επιδοκιμαζόταν μέχρι πρόσφατα. Η περισσότερη εργασία προέρχεται από τον Felici και τους συνεργάτες του. Σε άκρως κεκαθαρμένα διηλεκτρικά υγρά υποβαλλόμενα σε υψηλή τάση, η ηλεκτρική αγωγή απορρέει κυρίως από φορείς φορτίου εγχεόμενους μέσα στο υγρό από την επιφάνεια ηλεκτροδίων. Το προκύπτον φορτίο χώρου εγείρει δύναμη Coulomb, η οποία, υπό ορισμένες συνθήκες, προκαλεί υδροδυναμική αστάθεια που παράγει μεταφορά υγρού. Έπειτα ότι, οσάκις η αγωγή σε ένα ρευστό συνοδεύεται από σχηματισμό σημαντικού φορτίου χώρου, είναι πολύ πιθανό να συμβεί κίνηση μεταφοράς. Ο Lacroix και άλλοι έχουν μελετήσει τις συνθήκες υπό τις οποίες εγκαθίσταται τυρβώδης κίνηση. Χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια παράλληλων πλακών κι ελεγχόμενο ρεύμα έγχυσης, αυτοί έδειξαν ότι η έναρξη αστάθειας σχετίζεται με μία κρίσιμη τάση. Παρατήρησαν ότι καθώς η εφαρμοζόμενη τάση αυξάνεται πλησίον της κρίσιμης τάσης, η κίνηση αρχικά παρουσιάζει μια δομή εξαγωνικών κυψελών. Με μία επιπλέον αύξηση στην τάση, η κίνηση γίνεται τυρβώδης. Έτσι, η αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικού πεδίου και φορτίου χώρου γίνεται αφορμή για δυνάμεις που προσδίδουν μία στροβιλώδη κίνηση στο υγρό. Έχει αποδειχθεί ότι σε τάσεις πλησίον στη διάσπαση, η ταχύτητα αυτής της κίνησης πλησιάζει μια τιμή δοθείσα από την σχέση $\sqrt{\epsilon/\rho/E}$, όπου ϵ η διαπερατότητα του υγρού, ρ η ειδική μάζα και E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

Σε υγρά, ο λόγος αυτής της ταχύτητας προς την ιονική ταχύτητα ολίσθησης KE (K ούσα κινητικότητα) δηλαδή ο λόγος $M = \sqrt{\epsilon/\rho}/K$, είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας και μερικές φορές πάρα πολύ μεγαλύτερος από αυτή (Πίνακας 4.2) Ο λόγος M θεωρείται ότι παίζει έναν κυρίαρχο ρόλο στην θεωρία ηλεκτρομεταφοράς. Έτσι, η μεταφορά φορτίου γίνεται κυρίως από κίνηση υγρού και όχι από ιονική ολίσθηση. Η συνθήκη κλειδί για την έναρξη αστάθειας είναι να υπερβεί η ταχύτητα τοπικής ροής $v(= \sqrt{\epsilon/\rho}/E)$ την ιονική ταχύτητα ολίσθησης ($v > KE$)

Πίνακας 4.2

Υγρό	Ιόν	Σχετική διαπερατότητα	Αριθμός M
Μεθανόλη	H ⁺	33.5	4.1
Εθανόλη	Cl ⁻	25	26.5
Νιτροβενζόλιο	Cl ⁻	35.5	22
Πολυανθρακικά	Cl ⁻	69	51
Έλαιο M/Σ	H ⁺	2.3	~200
Αέρας Κ.Θ.Π	O ₂	1.0	2.3x10 ⁻²

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Οι πειραματικές τιμές του **M** για διάφορα ρευστά μέσα και συνήθη ιόντα, ειλημμένες από τον Lacroix κ.α, περιλαμβάνονται στον Πίνακα 4.2. Ο πίνακας περιέχει επίσης την τιμή για αέρα σε Κ.Θ.Π. (Κανονική Θερμοκρασία και Πίεση). Φαίνεται ότι σε αυτή την περίπτωση $M \ll 1$ και ο ρυθμός ηλεκτρομεταφοράς είναι αμελητέος. Πειράματα δείχνουν ότι η ηλεκτρομεταφορά είναι επικρατούσα σε όλες τις πειραματικές διατάξεις, όπου διηλεκτρικά υγρά υποβάλλονται σε ηλεκτρικά πεδία, άσχετα από τις γεωμετρικές διακένου, υπό την προϋπόθεση ότι η εφαρμοζόμενη τάση είναι αρκετά υψηλή. Αυτό είναι αληθές ακόμα και σε απολύτως απιονισμένα υγρά, λόγω επαρκούς τροφοδοσίας ιόντων από τις διαδικασίες υψηλού πεδίου στα ηλεκτρόδια.

Ο Cross κ.α άλλοι μελέτησαν την επαγόμενη κίνηση από ηλεκτρική ένταση σε έλαιο μετασχηματιστή, υπό καταπονήσεις σ.τ και 60 Hz. Χρησιμοποιώντας υψηλής ταχύτητας φωτογράφιση με την μέθοδο Schlieren, αυτοί βρήκαν ότι η τυρβώδης κίνηση οφειλόταν σε έγχυση θετικών φορτίων από ένα ηλεκτρόδιο. Αυτό πιστοποιήθηκε για αμφότερες τις καταπονήσεις σ.τ και 60 Hz. Αυτοί παρατήρησαν, επίσης, ότι η χρονική καθυστέρηση στην έναρξη αστάθειας σχετίζεται με τη συνθήκη έγχυσης ή δημιουργίας φορτίων στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Η χρονική καθυστέρηση βρέθηκε να μειώνεται ραγδαία αυξάνοντας την πεδιακή ένταση, κλιμακούμενη από μερικά δευτερόλεπτα στα 10^6 V/m έως μερικά χιλιοστοδευτερόλεπτα στα 6×10^6 V/m. Επίσης, καθώς η θερμοκρασία του υγρού αυξανόταν, η χρονική καθυστέρηση για ένα δεδομένο πεδίο μειωνόταν. Υπό τάση 60 Hz, η χρονική καθυστέρηση βρέθηκε να πλησιάζει μία ελάχιστη τιμή, προσεγγιστικά 4 ms, το οποίο είναι αναφερόμενο. Ένα κύμα 60 Hz απαιτεί 4.17 ms για να λάβει την τιμή της κορυφής. Από αυτές τις παρατηρήσεις και υπολογισμούς, ο Cross κ.α συνήγαγαν ότι, υπό αυτές τις συνθήκες συμβαίνει η αστάθεια όταν η ένταση έγχυσης η οποία είναι ο λόγος του πεδίου φορτίου χώρου προς το εφαρμοζόμενο πεδίο, φθάνει μία αρκετά μεγάλη τιμή για να αναπτυχθεί μια κρίσιμη τάση κατά μήκος του στρώματος φορτίου χώρου εντός ενός ημικυκλίου της περιόδου. Η κατώτατη τιμή της κρίσιμης εμφανίζεται στην περίπτωση που οι οριακές συνθήκες για το φορτίο χώρου επικρατούν στο ηλεκτρόδιο έγχυσης.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1 ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ ΕΛΑΙΑ (ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ)

Τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνιση τους στην αγορά των διηλεκτρικών, συνθετικά και φυσικά έλαια, μη πετρελαϊκής προέλευσης, τα οποία μάλιστα ενδέχεται να προσφέρουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτέλαια. Το γεγονός αυτό συνάδει με την σύγχρονη τάση για εφαρμογές που συνδυάζουν υψηλή απόδοση και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Άλλωστε, έχει αναφερθεί ότι τα αποθέματα πετρελαίου, τείνουν να εξαντληθούν, γεγονός που θα οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα έλλειψης ορυκτών μέσα στις επόμενες δεκαετίες. Εξάλλου, μολονότι τα συμβατικά ορυκτέλαια, επιτελούν σε μεγάλο βαθμό το έργο τους ως διηλεκτρικά αρκετά ικανοποιητικά, δεν προσφέρουν κανενός είδους ασφάλεια έναντι πυρός. Δεδομένου ότι τα ορυκτέλαια έχουν σχετικά χαμηλό σημείο ανάφλεξης, ο κίνδυνος να εκδηλωθεί πυρκαγιά στον μετασχηματιστή σε περίπτωση σφάλματος είναι σημαντικός. Έτσι, η ανάγκη να μειωθεί ο κίνδυνος ανάφλεξης του ορυκτέλαιού, που ενδέχεται να συνεπάγεται έκρηξη του ίδιου του μετασχηματιστή και καταστροφή των γειτονικών εγκαταστάσεων, αποτέλεσε το πρώτο κίνητρο για την αναζήτηση άλλων διηλεκτρικών ελαίων, με διαφορετική συμπεριφορά καύσης.

Η πρώτη γενιά άφλεκτων εναλλακτικών ελαίων ήταν αυτά με βάση τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια, γνωστά με τα αρχικά PCB (κλοφέν) όπως έχει ήδη αναφερθεί και στα πρώτα κεφάλαια. Τα PCB's είχαν άριστες διηλεκτρικές ιδιότητες και μη μετρήσιμο σημείο ανάφλεξης. Θα είχαν ασφαλώς κυριαρχήσει στην αγορά των μετασχηματιστών, αν δεν είχαν ανακαλυφθεί και δημοσιευτεί οι αρνητικές επιπτώσεις της παραμονής τους στο φυσικό περιβάλλον (βιοσυσσώρευση). Τα άφλεκτα διηλεκτρικά αποσύρθηκαν γρήγορα από την αγορά, για να αντικατασταθούν από διηλεκτρικά υψηλού σημείου ανάφλεξης, με πρώτα τα λάδια με βάση την σιλικόνη. Ο συνδυασμός όμως μέτριων διηλεκτρικών και μονωτικών ιδιοτήτων με τις αμφισβητούμενες οικολογικές συνέπειες της σχεδόν μηδαμινής βιοαποικοδομησιμότητας της σιλικόνης, έχουν περιορίσει την χρήση της σε ειδικές εφαρμογές.

Μία επόμενη κατηγορία συνθετικών ελαίων που κατέχει εδώ και δεκαετίες ένα μικρό αλλά σταθερό μερίδιο της αγοράς, είναι οι συνθετικοί εστέρες. Πρόκειται για έλαια υψηλού σημείου ανάφλεξης, με διηλεκτρικές και μονωτικές ιδιότητες πολύ κοντά σε αυτές των ορυκτελαίων και με υψηλή βιοαποικοδομησιμότητα. Το επίσης όμως υψηλό κόστος παρασκευής τους, τα περιορίζει σε ειδικές εφαρμογές, όπου η ασφάλεια έναντι της πιθανότητας φωτιάς ή και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί δικαιολογούν την όχι ευκαταφρόνητη διαφορά στην τιμή του τελικού προϊόντος. Δεδομένου ότι η χρήση των συνθετικών εστέρων σημείωσε επιτυχία περιορισμένη λόγω του κόστους και όχι λόγω των ιδιοτήτων τους, η λογική συνέχεια στην αναζήτηση πρακτικών και οικονομικότερων λύσεων, ήταν να εξεταστούν οι φυσικοί εστέρες ως διηλεκτρικά.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Οι φυσικοί εστέρες ή φυτικά έλαια, έχουν ιδιότητες παραπλήσιες των συνθετικών και σαφώς χαμηλότερο κόστος επεξεργασίας. Η χρήση τους είχε αποκλειστεί στο παρελθόν από την βιομηχανία, λόγω της θεωρητικά μειωμένης σταθερότητας τους ενάντια στην οξειδωση. Τα τελευταία όμως χρόνια, νέες έρευνες κατέστησαν την χρήση φυτικών ελαίων εφικτή και η πράξη αποδεικνύει ότι αποτελούν μια εφαρμόσιμη και συμφέρουσα εναλλακτική πρόταση, που συνδυάζει πλήθος πλεονεκτημάτων. Τα φυτικά έλαια προέρχονται από σπόρους, άνθη σιτηρά, φλοιούς και άλλα φυτικά προϊόντα ύστερα από κατάλληλες προσθήκες και επεξεργασία

5.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΣΤΕΡΩΝ

Οι ιδιότητες των φυτικών ελαίων ως διηλεκτρικών για μετασχηματιστές, αναφέρονται στην προδιαγραφή **ASTM 6871** και είναι συγκρίσιμες με αυτές των ορυκτελαίων. Η διηλεκτρική τους αντοχή είναι ελαφρώς υψηλότερη και το ιξώδες τους, μολονότι διαφέρει, δεν επιβάλλει κατασκευαστικές τροποποιήσεις. Πρακτικά, και όπως η εμπειρία έχει αποδείξει, είναι δυνατό να αντικατασταθεί το ορυκτέλαιο ενός μετασχηματιστή με φυτικό έλαιο σύμφωνο με την προαναφερόμενη προδιαγραφή, χωρίς η αντικατάσταση αυτή να επιφέρει διαφορές στη λειτουργία και χρήση του μετασχηματιστή. Αρκεί μόνο ο μετασχηματιστής αυτός να είναι κλειστού τύπου, ή σε περίπτωση που υπάρχει δοχείο διαστολής, να προσαρμοστεί σε αυτό μία μεμβράνη, ούτως ώστε να εμποδίζεται η επικοινωνία του ελαίου με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Παράλληλα, η χρήση των φυτικών ελαίων προσφέρει και ορισμένα πλεονεκτήματα, σε σχέση με τα κοινά ορυκτέλαια:

1. Υψηλό σημείο ανάφλεξης

Σύμφωνα με την προδιαγραφή **ASTM 6871**, τα φυτικά έλαια παρουσιάζουν υψηλό σημείο ανάφλεξης μεγαλύτερο από 300 °C. Σύμφωνα δε, με το πρότυπο **IEC 61100**, τα φυτικά έλαια εμπίπτουν στην κατηγορία **K2** – όπως και οι συγγενικοί τους συνθετικοί εστέρες. Επομένως, ενδεικνύεται η χρήση τους σε εφαρμογές όπου ο κίνδυνος ανάφλεξης επιβάλλει περιορισμούς.

Πρόσφατες μελέτες από μεγάλες ασφαλιστικές εταιρείες, αναγνωρίζουν ότι ένα ποσοστό μετασχηματιστών, θα αστοχήσουν επεισοδιακά. Η χρήση των φυτικών ελαίων εξασφαλίζει ότι οι συνέπειες αυτού του επεισοδίου δεν θα είναι καταστροφικές τόσο για τον μετασχηματιστή όσο και για τις γειτονικές εγκαταστάσεις, καθώς έχει αποδειχθεί με πλήθος πειραμάτων ότι η στιγμιαία ανάφλεξη των φυτικών ελαίων δεν οδηγεί σε παρατεταμένη φωτιά. Τα φυτικά έλαια έχουν την ιδιότητα της αυτοκατάσβεσης, προφυλάσσοντας έτσι τον εξοπλισμό μιας εγκατάστασης από πιθανή βλάβη – ανάφλεξη του μετασχηματιστή, ο οποίος σύμφωνα με τις ίδιες πηγές, αποτελεί την συντριπτική πλειοψηφία των ατυχημάτων του “θύτη” και όχι το “θύμα”.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Επομένως, η χρήση των λιγότερο εύφλεκτων φυτικών ελαίων, οδηγεί σε μείωση του συνολικού κόστους εγκατάστασης, αφού ουσιαστικά καταργεί την ανάγκη παρουσίας συστημάτων κατάσβεσης, τα οποία εκτός του ότι έχουν ένα αρκετά σημαντικό αρχικό κόστος αγοράς, απαιτούν και συνεχή συντήρηση.

2. Υψηλή βιοαποικοδομησιμότητα

Αν μάθαμε κάτι από την χρήση των **PCB's**, είναι ότι η βιοαποικοδομησιμότητα είναι αναγκαία. Τα ορυκτέλαια παρουσιάζουν αυτή την ιδιότητα, όμως ο ρυθμός βιοαποικοδόμησης τους είναι αργός. Αντίθετα τα φυτικά έλαια, σε συνθήκες φυσικού περιβάλλοντος, όπου το νερό, το οξυγόνο και οι μικροοργανισμοί αφθονούν, διασπώνται ταχύτατα, ενώ τα προϊόντα της αποσύνθεσης τους είναι το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα. Τα φυτικά έλαια δεν μπορούν από την φύση τους να δημιουργήσουν τοξικά κατάλοιπα, όπως διοξίνες. Τουλάχιστον ένα φυτικό έλαιο που βρίσκεται σε κυκλοφορία από το 1999, είναι απολύτως ασφαλές, για την χλωρίδα, την πανίδα και τον άνθρωπο, όπως επιβεβαιώνουν πλήθος περιβαλλοντικών ελέγχων.

Η χρήση των φυτικών ελαίων, συνάδει με τη σύγχρονη τάση αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι μετά το τέλος της ωφέλιμης ζωής τους, τα φυτικά έλαια αποτελούν μια εξαιρετική πρώτη ύλη για παραγωγή βιοκαυσίμων. Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα των φυτικών ελαίων αφορά στη βελτίωση της λειτουργίας του μετασχηματιστή, είτε αυτή μεταφράζεται σε παρατεταμένη διάρκεια ζωής, είτε σε δυνατότητα υπερφορτίσεως. Τα φυτικά έλαια, έχουν λόγω της φύσης τους, την ικανότητα να διατηρούν το μονωτικό χαρτί του μετασχηματιστή σε καλύτερη κατάσταση, ακόμα και σε συνθήκες υψηλότερης θερμοκρασίας.

5.2.1 RETROFILLING (ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΕΛΑΙΩΝ)

Μια εφαρμογή που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα φυτικά έλαια, είναι αυτή της αντικατάστασης του ορυκτέλαιου σε έναν μετασχηματιστή, με στόχο αφ' ενός τη βελτίωση της ασφάλειας έναντι της πιθανότητας φωτιάς, λόγω του υψηλού σημείου ανάφλεξης του φυτικού ελαίου, αλλά και ενδεχομένως την επέκταση της απομένουσας θερμικής ζωής του, μέσω της βελτίωσης της κατάστασης του μονωτικού χαρτιού. Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι τα φυτικά έλαια είναι απολύτως συμβατά με τα ορυκτέλαια και κανένα λειτουργικό πρόβλημα δεν παρουσιάζεται με την ανάμειξη τους. Περαιτέρω δε, ένα φυτικό έλαιο διατηρεί το υψηλό σημείο ανάφλεξης τους ακόμα και με την παρουσία έως και 7.5% ορυκτελαίου. Αυτό το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές **retrofill**, όπου είναι δεδομένο ότι ένα ποσοστό ορυκτελαίου θα παραμείνει στο μετασχηματιστή, ακόμα και μετά από πολύ προσεκτικό πλύσιμο.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Η ευεργετική επίδραση το φυτικού ελαίου είναι σαφής, εφόσον έπειτα από πειράματα που έγιναν το χαρτί διατήρησε μέχρι τέλους την ελαστικότητα του και παρέμεινε κατάλληλο προς χρήση, όπως ακριβώς και το χαρτί που είχε εξ' αρχής εμβαπτιστεί σε φυτικό έλαιο.

Εν ολίγοις η αντικατάσταση του ορυκτελαίου με φυτικό έλαιο μπορεί να οδηγήσει σε παράταση της υπολειπόμενης θερμικής ζωής του, δεδομένου ότι κατ' αυτόν τον τρόπο προστατεύεται το πλέον ευαίσθητο στοιχείο του μετασχηματιστή, το μονωτικό χαρτί.

5.3 ΦΥΣΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ ΕΝ ΔΡΑΣΗ

Εφόσον διατυπωθήκαν κάποια γενικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα για τους φυσικούς εστέρες, σειρά τώρα έχει να τους τακτοποιήσουμε και πιο συγκεκριμένα να αναφερθούν οι δύο πιο βασικοί και υπό δοκιμή εστέρες που χρησιμοποιούνται αυτή την στιγμή στην βιομηχανία.

5.3.1 ENVIROTEMP™ FR3™

Το υγρό Envirotemp® FR3™ είναι ένας φυσικός για πυρκαγιά διηλεκτρικός ψυκτικός εστέρας ειδικά σχεδιασμένος για χρήση σε μετασχηματιστές διανομής και ισχύος όπου οι μοναδικές περιβαλλοντικές, πυρασφαλιστικές, χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες του, είναι συμφέρουσες. Το υγρό Envirotemp FR3 αποτελείται από βρώσιμα φυτικά έλαια και προσθήκη βελτιωμένης απόδοσης τροφίμων. Δεν περιέχει πετρέλαιο, αλογόνα, σιλικόνες ή οποιοδήποτε άλλο αμφισβητήσιμο υλικό. Είναι γρήγορα και καλά βιοδιασπώμενα τόσο στο έδαφος όσο και στο υδάτινο περιβάλλον περιβάλλοντος. Το υγρό που δοκιμάστηκε είναι μη τοξικό σε υδρόβιες δοκιμές τοξικότητας. Είναι έγχρωμο πράσινο για να αντικατοπτρίζει το ευνοϊκό του περιβαλλοντικού προφίλ και να το διακρίνει από το ορυκτό λάδι. Το υγρό Envirotemp FR3 έχει εξαιρετικά υψηλή πυρκαγιά σημείο 360 ° C και σημείο ανάφλεξης 330 ° C. Έχει την υψηλότερη αντίσταση ανάφλεξης λιγότερο εύφλεκτη σε σχέση με αυτές των υγρών που είναι αυτή τη στιγμή διαθέσιμα. Αναφέρεται ως High Fire Point ή "λιγότερο εύφλεκτο" ρευστό και είναι καταχωρημένο ως " Εύφλεκτο διηλεκτρικό υγρό από FM Global (FM) και Underwriters Laboratories® (UL) για χρήση κατά τη συμμόρφωση με τον Εθνικό Ηλεκτρικό Κώδικα® (NEC) και της ασφαλιστικές απαιτήσεις. Το υγρό Envirotemp FR3 είναι συμβατό με τα κύρια μονωτικά υλικά μετασχηματιστών, τα εξαρτήματα, τον εξοπλισμό τους και με τις διαδικασίες επεξεργασίας ρευστών. Το υγρό αυτό παρουσιάζει βελτιωμένα θερμικά χαρακτηριστικά με το ιξώδες πιο κοντά στο συμβατικό λάδι μετασχηματιστή, ανώτερη διηλεκτρική αντοχή σε νέες και συνεχείς εξυπηρετήσεις εφαρμογών και την εξαιρετική χημική σταθερότητα με την πάροδο του χρόνου. Άριστη απόδοση έχει επιβεβαιωθεί σε περισσότερες από 15.000 εγκαταστάσεις πεδίου από το 1998.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

Λόγω της εξαιρετικής περιβαλλοντικής, πυρασφάλειας, και χαρακτηριστικά απόδοσης, εφαρμογές για το υγρό Envirotemp FR3 έχουν επεκταθεί σε μια ποικιλία από άλλους εξοπλισμούς, συμπεριλαμβανομένων μετασχηματιστών ισχύος, τάσης ρυθμιστές, διακόπτες διατομής, ανορθωτές μετασχηματιστών, ηλεκτρομαγνήτες και κυκλώματα τροφοδοσίας τάσης για φωτιστικά. Το υγρό χρησιμοποιείται επίσης σε εφαρμογές ανασυγκρότησης για μετασχηματιστές και άλλες διανομές υγρού και εξοπλισμού ισχύος. Επειδή το υγρό Envirotemp FR3 είναι αναμίξιμο και συμβατό με συμβατικό ορυκτέλαιο μετασχηματιστή, είναι σημαντικό το υγρό να διατηρείται σε καθαρή κατάσταση όπως όταν είναι καινούργιο, για να αποφευχθεί η μείωση των επιδόσεων και των περιβαλλοντικών οφελών. Η χημεία των φυσικών εστέρων είναι σημαντικά διαφορετική από τα πετρελαϊκά έλαια. Ως εκ τούτου, ορισμένες πρακτικές που χρησιμοποιούνται για τα ορυκτέλαια μπορεί να μην είναι αναγκαστικά κατάλληλες για την αποθήκευση και το χειρισμό του υγρού Envirotemp FR3.

ENVIROTEMP™ FR3™ - ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΥΓΡΟΥ

Property	Specification Limits		Test Method
	IEEE C57147	ASTM D6871	
Electrical			
Dielectric Breakdown, 2mm [kV]	-	-	ASTM D1816
Sampled from Bulk	≥35	≥35	ASTM D1816
Sampled from Totes/Drums	≥60	≥60	ASTM D1816
Dissipation Factor [%]			ASTM D924
25° C	≤ 0.20	≤ 0.20	
100° C	≤4	≤ 4	
Gassing Tendency [μl/min]	-	≤ 0	ASTM D2300
Physical			
Color [ASTM units]	≤1.0	≤ 1.0	ASTM D1500
Appearance	-	bright & clear	ASTM D1524
Kinematic Viscosity [mm ² /s]			ASTM D445
40° C	≤50	≤ 50	
100° C	≤15	≤ 15	
Pour Point [°C]	≤-10	≤ -10	ASTM D97
Fire Point [°C]	≥300	≥ 300	ASTM D92
Flash Point (open cup) [°C]	≥275	≥ 275	ASTM D92
Relative Density [15° C/15° C]	≤0.96	≤ 0.96	ASTM D1298
Chemical			
Water Content [mg/kg]			
Sampled from Bulk	≤200	≤200	ASTM D1533
Sampled from Totes/Drums	≤100	≤200	ASTM D1533
Acid Number [mg KOH/g]	≤ 0.06	≤ 0.06	ASTM D974
Corrosive Sulfur	not corrosive	not corrosive	ASTM D1275B
PCB Content [ppm]	not detectable	not detectable	ASTM D4059

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Επιδόσεις ENVIROTEMP™ FR3™

Η μοναδική χημική δομή του Envirotemp FR3 υγρό παρέχει ανώτερα χαρακτηριστικά απόδοσης. ο υγρό διατηρεί την διηλεκτρική του ισχύ πολύ καλύτερη από αυτή άλλα διηλεκτρικά υγρά όταν χρησιμοποιούνται ως διακόπτες φορτίου μέσου όρου και έχει τις χαμηλότερες τάσεις αερίων κάτω από ηλεκτρικό άγχος. Η απόδοση ψύξης του είναι ανώτερη από άλλα λιγότερο εύφλεκτα υγρά. Έχει μικρότερο ιξώδες στο θερμοκρασίες λειτουργίας σε σχέση με άλλα λιγότερο εύφλεκτα υγρά. Το υγρό δεν έδειξε μετρήσιμη μεταβολή στο ιξώδες σε εξαντλητικούς κύκλους δοκιμών. Έχει ανώτερη αντίσταση σε οπτάνθρακα και σχηματισμό ιλύος σε σύγκριση με συμβατικό λάδι μετασχηματιστή. Κάτω από την ίδια επιταχυνόμενη δοκιμή οπτανθρακοποίησης, παράγεται υγρό Envirotemp FR3 λιγότερο από 1/20 ανθρακούχου οπτάνθρακα από εκείνο που παράγεται σε ορυκτέλαιο. Το τεστ της Doble Laboratories δοκίμου ζωής χωρίς λάσπη, έδωσε αποτέλεσμα χωρίς μετρήσιμη λάσπη. Το υγρό Envirotemp FR3 έχει εξαιρετική ικανότητα στο να απορροφά την παραμένουσα υγρασία και το νερό που εκτοξεύεται με τη γήρανση του χαρτιού. Βοηθά επίσης χημικά να αποτρέψει το τα μόρια χαρτιού από την αποκοπή όταν εκτίθενται σε θερμότητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στο υγρό να ελαχιστοποιείται σημαντικά το ποσοστό γήρανσης του μονωτικού χαρτιού μετασχηματιστών.

5.3.2 MIDEL eN 1215

Το MIDEL eN 1204 είναι ένα υγρό φυσικού εστέρα, σχεδιασμένο για μακρά λειτουργία σε σφραγισμένο συστήματα μετασχηματιστή. Όπως και με το πετρελαιοειδές, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το MIDEL eN 1204 δίνει συνεχή καλή εξυπηρέτηση είναι δυνατή η παρακολούθηση ενός αριθμού υγρών παραμέτρων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή. Η δοκιμή του υγρού έχει επίσης το πρόσθετο όφελος από την ανάληψη οποιουδήποτε προβλημάτων με τον μετασχηματιστή πριν την πρόκληση μιας αποτυχίας. Γενικά, για τους μετασχηματιστές διανομής, συνιστάται η δειγματοληψία του υγρού πριν την ενεργοποίηση, μετά το πρώτο έτος υπηρεσίας και σε πενταετή διαστήματα από και στη συνέχεια. Για τους μετασχηματιστές μεγαλύτερης ισχύος, πολύ φορτωμένες ή κρίσιμες μονάδες, η συχνότητα των δοκιμών μπορεί να αυξηθεί. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε μερικές βασικές διαφορές μεταξύ του MIDEL eN 1204 και των ορυκτελαίων, κατά την πραγματοποίηση ελέγχου των ρευστών για συντήρηση. Πολλά εργαστήρια έχουν πλέον εμπειρία στην δοκιμή ρευστών με βάση εστέρα, αλλά μερικές φορές μια αποτυχία μπορεί να καταγραφεί έναντι ενός δείγματος όταν τα όρια ορυκτελαίου είναι λανθασμένος εφαρμοσμένα.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Είναι επίσης ιδανικό για εσωτερικές εγκαταστάσεις όπου η πυρασφάλεια είναι προτεραιότητα. Για την παροχή εξαιρετικών διηλεκτρικών ιδιοτήτων το MODEL eN 1204 ξηραίνεται και απαερώνεται πριν από την πλήρωση των δοχείων μεταφοράς. Προκειμένου να διατηρηθεί σε βέλτιστο επίπεδο προϋπόθεση είναι αναγκαίο να ληφθούν ορισμένες προφυλάξεις κατά το χειρισμό ή την αποθήκευση του

Κοινές παράμετροι δοκιμών και όρια καθοδήγησης

FLUID	CAS NUMBER	UBA Classification
MIDEL eN 1204	68956-68-3	Nwg
MIDEL 7131	68424-31-7	Nwg
Mineral Oils	Various	1

. Οι πυρκαγιές του μετασχηματιστή είναι ιδιαίτερα “ασυγχώρητες”, εξαπλώνονται πολύ γρήγορα και προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές, συχνά με την τραγική απώλεια της ανθρώπινης ζωής. Εν συντομία, οι πυρκαγιές μετασχηματιστών είναι καθημερινές σε παγκόσμια κλίμακα. Το MIDEL eN 1215 προσφέρει την τέλεια λύση όσον αφορά τον μετριασμό του κινδύνου πυρκαγιάς. Με υψηλό σημείο πυρκαγιάς και πιστοποιημένο ως ένα λιγότερο εύφλεκτο υγρό, το MIDEL eN 1215 ενώνει ένα σύνολο διηλεκτρικών υγρών που έχουν ένα άψογο ρεκόρ πυρασφάλειας 100% από την εισαγωγή τους στη δεκαετία του '70. Το εργαστήριο FM Global® και Underwriters, δύο διεθνώς αναγνωρισμένες ασφαλιστικές εταιρείες, έχουν καταχωρίσει το MIDEL eN 1215 ως το λιγότερο εύφλεκτο υγρό για διηλεκτρικούς σκοπούς. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται χαμηλότερα μέτρα πυρασφάλειας από το πετρελαιοειδές. Επιπλέον, οι ιδιότητες πυρασφάλειας του MIDEL eN 1215 επιτρέπουν τη χρήση του σε μετασχηματιστές μέσα στα κτίρια και σε άλλες κρίσιμες περιοχές όπου ένα ορυκτέλαιο δεν θα ήταν αποδεκτό. Το MIDEL eN 1215 ήταν συγκεκριμένα που έχει σχεδιαστεί για να δώσει ένα υψηλό σημείο φωτιάς, πολύ υψηλότερο από εκείνο που απαιτείται για λιγότερο εύφλεκτο και πολύ ανώτερο από ότι σε ένα ορυκτέλαιο.

Το υψηλό σημείο πυρκαγιάς του MIDEL eN 1215 εξασφαλίζει ότι θα είναι πολύ δύσκολη μία ανάφλεξη και ότι ο κίνδυνος πυρκαγιών πισίνας κάθε άλλο παρά εξαλείφθηκε. Επιπλέον, είναι εισηγμένο ως ένα λιγότερο εύφλεκτο υγρό, το MIDEL eN 1215 επωφελείται από τη μειωμένη απαιτήσεις της απόστασης του εξοπλισμού, όπως ορίζεται στην εθνική νομοθεσία Ηλεκτρικός κωδικός (NFPA 70), ενότητα 450- 23. Συμπληρωματικές συστάσεις για λιγότερα εύφλεκτα υγρά μπορούν να βρεθούν στο FM Παγκόσμιο φύλλο δεδομένων πρόληψης απώλειας 5-4 "Μετασχηματιστές".

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

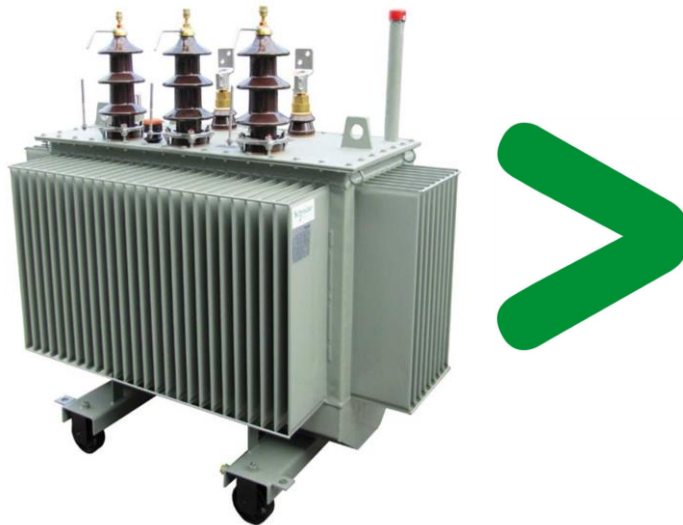
Με την εφαρμογή των συμβουλών του FM Global σημαντικές εξοικονομήσεις χώρου μπορούν να γίνουν, ειδικά για μικρούς ως μεσαίους μετασχηματιστές ισχύος γεμισμένοι με MIDELEn 1215.

Σημεία Flash και Πυρόσβεσης - IEC 61039 Κλάση K2

Parameter	Test Method	<u>M</u> IDELEn 1204	Mineral Oil
Flash Point	ISO 2592 / ASTM D92	327°C	160°C
Fire Point	ISO 2592	360°C	170°C
Net Calorific Value	ASTM D240-02	37.5MJ/kg	46.0MJ/kg

VEGETA

Natural Ester Oil filled Distribution Transformer (ODT)



Schneider
Electric

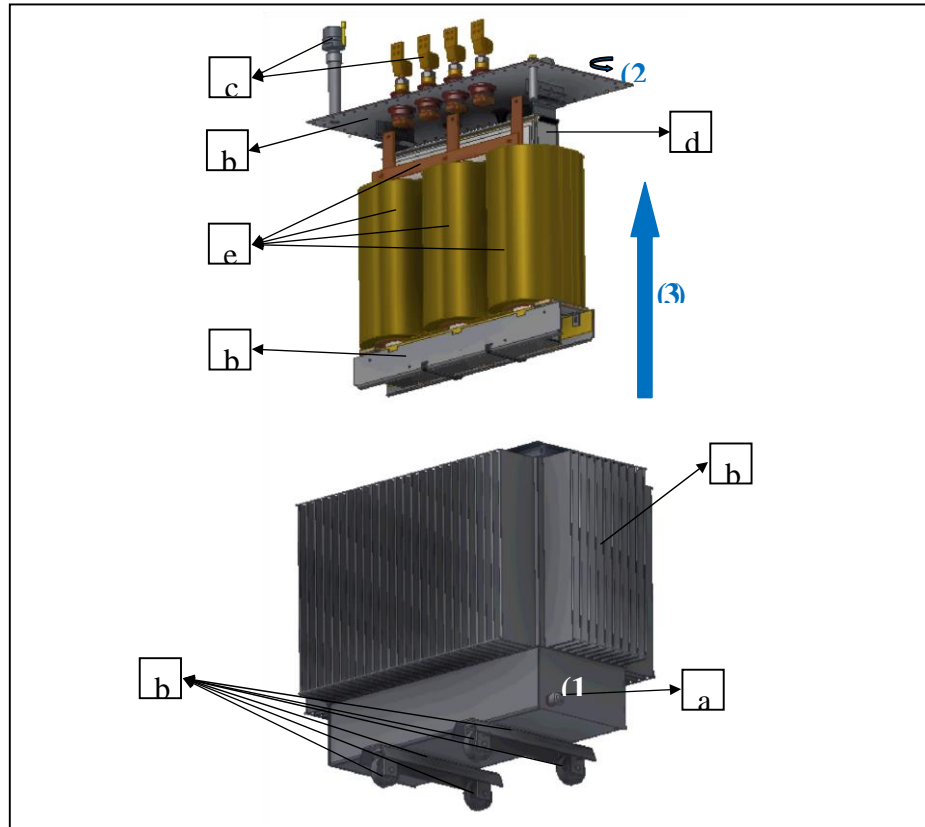
Product overview

Product Range: Vegeta – Up to and including 3150kVA power rating and 36 kV maximum operating voltage

Size: H x L x D in mm (min.) = 800 x 600 x 1000

H x L x D in mm (max.) = 3500 x 3000 x 3500

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**



Recommendation	Number on drawing	Components	Weight (in kg)	Comment
Dismantling	(1)	-	-	Open oil draining valve
	(2)	-	-	Unscrew the cover
	(3)	-	-	Lift the active part
	a	Dielectric fluid	150~2000	Vegetable oil
	b	Steel parts	150~2000	Tank, cover, clampings, rollers
	c	Accessories	0.5~10	Bushings, protection & measuring devices
	d	Core	200~2500	Magnetic steel
e	Conductors	50~1000	Aluminium	

- Οι μετασχηματιστές Vegeta δεν περιέχουν κανένα επικίνδυνο τμήμα που μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον κατά τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης. Παρόλα αυτά, πρέπει να δοθεί η απαραίτητη προσοχή
- Το φυτικό έλαιο (α) που αποστραγγίζεται από τη δεξαμενή θα πρέπει να εξαιρεθεί ως απόβλητο σύμφωνα με το τεχνικό δελτίο δεδομένων και το δελτίο δεδομένων ασφαλείας υλικού. Ο παγκόσμιος αντίκτυπος του φυτικού ελαίου είναι περίπου ¼ ορυκτού πετρελαίου.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι φυσικοί εστέρες ή φυτικά έλαια, αποτελούν μία βιώσιμη εφαρμογή που μάλιστα προσφέρει στον τελικό χρήστη πλήθος πλεονεκτημάτων. Η υψηλή τους βιοαποικοδομησιμότητα και συμβατότητα με το φυσικό περιβάλλον, τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε εφαρμογές όπου οικολογικοί λόγοι επιβάλλουν περιορισμούς. Το υψηλό σημείο ανάφλεξης των φυτικών ελαίων προσφέρει προστασία έναντι του κινδύνου εκδήλωσης φωτιάς και ουσιαστικά καταργεί την ανάγκη παρουσίας συστημάτων περιορισμού και κατάσβεσης. Εξάλλου, όπως τα εργαστηριακά αποτελέσματα καταδεικνύουν, τα φυτικά έλαια δρουν ευεργετικά στην διατήρηση της καλής κατάστασης του μονωτικού χαρτιού και προσφέρονται για εφαρμογές retrofilling συμβάλλοντας στην επέκταση της απομένουσας θερμικής ζωής του μετασχηματιστή.

Μεγάλες εταιρείες κατασκευής ηλεκτρικών συσκευών και μετασχηματιστών σε παγκόσμια κλίμακα, συμπεριλαμβάνουν τα φυτικά έλαια στην γκάμα των διηλεκτρικών ελαίων που χρησιμοποιούν και η χρήση τους αναγνωρίζεται ως η πλέον ελπιδοφόρα απάντηση για την αντιμετώπιση της πετρελαϊκής κρίσης, αποδεσμεύοντας σε μεγάλο βαθμό την αγορά των μετασχηματιστών από τις διακυμάνσεις της τιμής του πετρελαίου.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6.1 NANOΕΛΑΙΑ (NANOFLUIDS)

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ, η ψύξη είναι μία από τις πιεστικότερες ανάγκες πολλών βιομηχανικών τεχνολογιών, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων ποσοστών παραγωγής θερμότητας τόσο σε μικρά επίπεδα (όπως τσιπ υπολογιστών) όσο και σε μακροοικονομικά επίπεδα (όπως μηχανές αυτοκινήτων). Ωστόσο, τα συμβατικά ρευστά μεταφοράς θερμότητας όπως ο αέρας, το νερό, η αιθυλενογλυκόλη και η το έλαιο παρουσιάζει πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα σε σύγκριση με τα στερεά. Οι μελέτες που έγιναν για την ενίσχυση της κακής θερμικής αγωγιμότητας των υγρών με την προσθήκη στερεών σωματιδίων σε αυτές άρχισαν πριν από περισσότερο από έναν αιώνα, όταν ο σπουδαίος επιστήμονας James Clerk Maxwell ανέπτυξε ένα θεωρητικό μοντέλο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των ετερογενών στερεών σωματιδίων. Έκτοτε, εφαρμόστηκε το κλασικό μοντέλο Maxwell, ενώ ερευνήθηκε η θερμική αγωγιμότητα των μιγμάτων στερεών σωματιδίων και υγρών. Ωστόσο, όλες αυτές οι μελέτες έχουν διεξαχθεί με σωματίδια μεγέθους χιλιοστού ή μικρόμετρου. Το κύριο πρόβλημα με τη χρήση των μικροσωματιδίων είναι ότι εγκαθίστανται πολύ γρήγορα σε υγρά. Προκαλούν επίσης τριβή, απόφραξη και πρόσθετες πτώσεις πίεσης. Επιπλέον, απαιτούνται υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων για να επιτευχθούν αξιοσημείωτες βελτιώσεις στις θερμικές αγωγιμότητες αυτών των εναιωρημάτων. Αυτά τα προβλήματα περιορίζουν σημαντικά τη χρήση συμβατικών στερεών-υγρών εναιωρημάτων ως πρακτικά ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Παρά τις τεράστιες προσπάθειες, τα προαναφερθέντα τεχνικά εμπόδια εξακολουθούν να υπάρχουν μετά από περισσότερα από 100 χρόνια. Η σύγχρονη νανοτεχνολογία επέτρεψε την παραγωγή νανοσωματιδίων με μέσο μέγεθος σωματιδίων μικρότερο από 100 nm.

Τα νανοσωματίδια γενικά έχουν ανώτερες μηχανικές, οπτικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές και θερμικές ιδιότητες. Τα νάνο ρευστά είναι μια νέα κατηγορία υγρών μεταφοράς θερμότητας με βάση τη νανοτεχνολογία, που λαμβάνονται με διασπορά και σταθερή εναιώρηση νανοσωματιδίων με τυπικές διαστάσεις της τάξης των 10 nm. Τα nanofluids (εναιωρήματα ρευστών νανοσωματιδίων) είναι ο όρος που επινοήθηκε από τον Choi (1995) για να περιγράψει αυτή τη νέα τάξη ρευστών μεταφοράς θερμότητας με βάση την νανοτεχνολογία με αυξημένες θερμικές ιδιότητες, ανώτερες από τις ιδιότητες των δικών τους υγρών φιλοξενίας και των συμβατικών εναιωρημάτων σωματιδιακού υγρού. Ο στόχος των νανοελαίων είναι η επίτευξη των υψηλότερων δυνατών θερμικών ιδιοτήτων στις μικρότερες δυνατές συγκεντρώσεις (κατά προτίμηση <1% κατ' όγκο) με ομοιόμορφη διασπορά και σταθερό εναιώρημα νανοσωματιδίων (κατά προτίμηση <10 nm) στα υγρά του ξενιστή. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος είναι ζωτικής σημασίας να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο ενισχύονται τα νανοσωματίδια μεταφορά ενέργειας σε υγρά.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Δεδομένου ότι η Choi συνέλαβε την νέα έννοια των νάνο ρευστών την άνοιξη του 1993, πολλοί ταλαντούχοι επιστήμονες στην ταχέως αναπτυσσόμενη κοινότητα των νανοελαίων έχουν κάνει σημαντικές επιστημονικές ανακαλύψεις όχι μόνο για την ανακάλυψη απρόσμενων θερμικών ιδιοτήτων των νανοελαίων αλλά και για την πρόταση νέων μηχανισμών πίσω από τις ενισχυμένες θερμικές ιδιότητες τους, ανάπτυξη νέων μαθηματικών μοντέλων για τα νάνο ρευστά, εντοπισμός ασυνήθιστων ευκαιριών για ανάπτυξη ψυκτικών μέσων νέας γενιάς, όπως έξυπνα ψυκτικά μέσα για υπολογιστές και ασφαλή ψυκτικά μέσα για πυρηνικούς αντιδραστήρες. Ως αποτέλεσμα, η έρευνα σχετικά με τα νανοέλαια λαμβάνει σήμερα όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον παγκοσμίως, όπως δείχνει ο εκθετικά αυξανόμενος αριθμός δημοσιεύσεων, τα οποία από το 1993 έως το 2012 υπερέβησαν τον αριθμό των 2400. Συνδυασμοί νανοσωματιδίων και υγρών βάσης μπορούν να παράγουν πολλά ετερογενή νανοέλαια. Τα υλικά των νανοσωματιδίων μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Οξειδιο κεραμικό - Al_2O_3
- CuO Μεταλλικά καρβίδια
- Μεταλλικά καρβίδια – SiC
- AlN , SiN Μέταλλα
- Al , Cu μέταλλα
- Γραφίτης, νανοσωλήνες άνθρακα
- Στρώσεις - $Al + Al_2O_3$, $Cu + C$
- PCM - S / S
- Άλλα λειτουργικά νανοσωματίδια

ενώ τα βασικά υγρά μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Νερό
- Αιθυλένιο- ή τρι-αιθυλενο-γλυκόλες και άλλα ψυκτικά μέσα
- Λάδι και άλλα λιπαντικά
- Βιο-υγρά
- Πολυμερή διαλύματα
- Άλλα κοινά υγρά

Με την εναιώρηση σωματιδίων νανοφάσης σε θέρμανση ή ψύξη, η απόδοση μεταφοράς θερμότητας του υγρού μπορεί να είναι σημαντικά βελτιωμένη. Οι κύριοι λόγοι μπορεί να αναφέρονται ως ακολούθι:

1. Τα αιωρούμενα νανοσωματίδια αυξάνουν την επιφάνεια και τη θερμική ικανότητα του υγρού
2. Τα αιωρούμενα νανοσωματίδια αυξάνουν την αποτελεσματική (ή εμφανή) θερμική αγωγιμότητα του υγρού.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

3. Η αλληλεπίδραση και η σύγκρουση μεταξύ των σωματιδίων, του υγρού και του επιφάνεια διέλευσης ροής εντείνονται.
4. Η διακύμανση της ανάμιξης και η αναταραχή του υγρού εντείνονται.
5. Η διασπορά των νανοσωματιδίων ισοπεδώνει την εγκάρσια θερμοκρασία κλίση του υγρού.

6.2 ΚΛΙΜΑΚΑ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ

Ένα πλήθος οντοτήτων παρουσιάζει μια νανομετρική διάσταση (10^{-9} m)., Με πολλαπλά φαινόμενα που συμβαίνουν ή βρίσκονται περιορίζεται σε νανοκλίμακα. Ο Πίνακας 1 παραθέτει μερικά διαφορετικά παραδείγματα. Η φύση και οι αλληλεπιδράσεις της έχουν εγγενώς τις διαστάσεις ενδιαφέροντος. Εδώ, δεν είναι θέμα εκφράζοντας μια διάσταση όσον αφορά τη μονάδα νανομέτρου, αλλά μάλλον να διακρίνουμε αντικείμενα και φαινομενολογίες αποτελούν ένα σύνολο που βασίζεται σε κλίμακα αναφοράς. Το άτομο, το οποίο είναι η μικρότερη μονάδα ενός στοιχείου που μπορεί να διατηρήσει τις ιδιότητες του στοιχείου αυτού, έχει διαστάσεις ενός κλάσματος νανομέτρου. Τα άτομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή ως κτίρια μπλοκ. Μπορούν να υπάρχουν ομάδες, συσσωματώματα ή στρώματα ατόμων που σχηματίζουν μόνο μερικά νανόμετρα σε πάχος από 1 έως 50 nm, στην περίπτωση ενός λεπτού διηλεκτρικού στερεού σε ένα ηλεκτρόνιο το πείραμα ακτίνων ή στην περίπτωση υπερευρείας 4 nm προφίλ αζώτου μηχανικής διηλεκτρικής ταινίας πύλης. Μεταλλικά άτομα μπορεί να δεσμεύονται. Το Cu-Cu (χαλκός-χαλκός), στην πραγματικότητα, έχει έναν δεσμό μήκος 0.25 nm. Τα άτομα μπορεί να σχηματίζουν μόρια: το μοριακό μήκος της μυοσίνης, το μόριο που παρέχει η θέση της πρωτεϊνικής σύνθεσης, ανέρχεται σε 160 nm. Ένα γραμμομόριο του στοιχείου μπορεί να περιέχει 6.022×10^{23} άτομα, αλλά αντικείμενα με νανομετρικές διαστάσεις χρησιμοποιούν μόνο λίγα άτομα, αντισταθμίζοντας έτσι τους νόμους των στατιστικών. Μια τεχνητή στερεά κατάσταση ατόμου, δηλαδή μια κβαντική κουκκίδα ημιαγωγού με διαστάσεις από 1 έως 100 nm, θα περιέχει κάπου μεταξύ 103 και 106 πυρήνες ατόμων σε κρυσταλλικό πλέγμα. Οι κόκκοι μεγέθους νανομέτρου περιέχουν χιλιάδες έως δεκάδες χιλιάδες των ατόμων σε σύγκριση με εκατομμύρια ή τρισεκατομμύρια άτομα στους κόκκους των συμβατικών υλικών.

Αλληλεπιδράσεις ή φυσικές διεργασίες μπορεί να παρουσιάζουν ένα χαρακτηριστικό μήκος ή διάσταση που αντιστοιχεί σε μια δραστική (εσωτερική). αλλαγή στην εκδήλωση. Τα φορτισμένα σωματίδια αλληλεπιδρούν σε αποστάσεις μικρότερες από ότι αλληλεπιδρά το μήκος Debye σε ατομική βάση. Αλλά όταν το πλάσμα ιονίζεται έντονα, αθροιστικές και συσχετιστικές επιδράσεις λόγω αλληλεπιδράσεων Coulomb πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Η συλλογικότητα παρεμβαίνει καθώς και στην περίπτωση της υπεραγωγιμότητας. Σε μερικά χαμηλές θερμοκρασίες, τα ηλεκτρόνια ζευγαρώνουν. Το μέγεθος ενός Cooper ζεύγος δίνεται από το μήκος συνοχής, συνήθως μικρότερο από 100 nm

Πίνακας 1. Παραδείγματα δομών και συμβάντων μικρής κλίμακας

OBJECT	DIMENSION [nm]	OBJECT	DIMENSION [nm]
1 Red blood cell	60008000	16 Silicon wafer roughness	0.73
2 Electric tree length (Polymer)	20005000	17 Zeolite pore size	0.6
3 Ultraviolet spectrum Upper wavelength	400	18 Grain boundary	0.51
4 Mean free path in gas (Electron)	200	19 Dipole-dipole interaction (0.02 eV)	0.5
5 Molecule length (Myosin)	150160	20 London dispersion (0.002 eV)	0.5
6 Peak-to-valley height Polysilicon surface	1000.01	21 Lattice constants (BaTiO ₃)	0.399, 0.403 0.252
7 X-rays		22 Ionic radius (Al)	
8 Ribosome	25	23 Bond length C-C (Single)	0.154
9 Aerogel particle size	10	24 de Broglie wavelength Electron	0.1
10 Debye length Plasma Laser	7	25 Spacing between adjacent atomic planes Solid	0.1
11 Coherence length Nb-Ti	4	26 Atomic radius	0.1
12 Cell membrane thickness	3	27 Nucleus radius	10y5
13 Lattice constants Cellulose	1.634, 1.572, 1.038	28 Electron radius	10y7
14 Carbon nanotube diameter	1	29 de Broglie wavelength (Baseball)	6.610 ^{y26}
15 Monomer dimension (Polyethylene)	0.740; 0.493; 0.2534		

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

6.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΝΑΝΟΎΛΙΚΩΝ

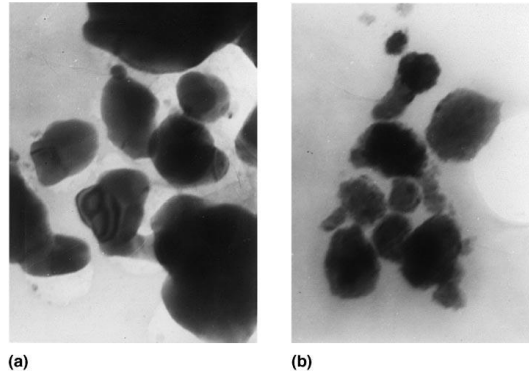
Η προετοιμασία των νανοϋλικών είναι το πρώτο βασικό βήμα στην εφαρμογή σωματιδίων νανοφάσης στην αλλαγή της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας των συμβατικών υγρών. Το νάνο ρευστό δεν αναφέρεται απλώς σε ένα υγρό -στερεό μείγμα. Ορισμένες ειδικές απαιτήσεις είναι απαραίτητες, όπως ακόμα και ανάρτηση, σταθερή ανάρτηση, ανθεκτική ανάρτηση, χαμηλή συσσώρευση σωματιδίων, καμία χημική μεταβολή του υγρού. Γενικά, αυτές είναι αποτελεσματικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία των εναιωρημάτων: (1) να αλλάξει η τιμή pH των εναιωρημάτων, (2) χρήση ενεργοποιητών επιφάνειας και / ή διασκορπιστικών. (3) για χρήση υπερηχητική δόνηση.

Όλες αυτές οι τεχνικές στοχεύουν στην αλλαγή του επιφανειακής ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων και καταστολή σχηματισμού συστάδων σωματιδίων προκειμένου να ληφθούν σταθερά εναιωρήματα. Εξαρτάται από την περίπτωση εφαρμογής πώς αυτά χρησιμοποιούνται τεχνικές. Οι συνήθεις ενεργοποιητές και παράγοντες διασποράς είναι θειόλες, ελαϊκό οξύ, λαουρικά άλατα. Επιλογή των κατάλληλων ενεργοποιητών και διασπαστικών εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες των διαλυμάτων και τα σωματίδια. Για παράδειγμα, ο υδατο-ευνοϊκός διασκορπιστής μπορεί να είναι κατάλληλος για εναιώρημα σωματιδίων νερού. Το νανοδομημένου υλικού σωματίδια Cu (χαλκού) με διάμετρο περίπου 100 nm χρησιμοποιείται για να σχηματίσει εναιωρήματα σωματιδίων ύδατος και ορυκτελαίου. Τα νανοσωματίδια και ένα υγρό αναμειγνύονται άμεσα. Κατά την προετοιμασία των αναρτήσεων, διαφορετικά είδη και ποσοστά ενεργοποιητών ή διασκορπιστικών έχουν δοκιμαστεί και ελεγχθεί.

Παράδειγμα 1: Λάδι Μ/Σ και εναιωρήματα νανοσωματιδίων Cu

Τα νανοσωματίδια Cu αναμειγνύονται με το μετασχηματισμένο πετρέλαιο από 2 και 5% κατ' όγκο, αντίστοιχα. Για να σταθεροποιηθεί το εναιώρημα, ελαϊκό οξύ ως το μέσο διασποράς για να καλύψει τα νανοσωματίδια. Η ποσότητα του μικτού ελαϊκού οξέος υπολογίζεται με το βάρος ποσοστό σωματιδίων Cu. Πολλά ποσοστά ελαϊκού οξέος έχουν δοκιμαστεί. Η ανάρτηση δονείται για 10 ώρες σε υπερήχους δονητής. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι στο περίπτωση κατά την οποία το ποσοστό ελαϊκού οξέος ανέρχεται σε 22% wt (κ.β.) σωματιδίων, η σταθεροποίηση του εναιωρήματος μπορεί να διαρκέσει περίπου 1 λεπτό εβδομάδα στην ακίνητη κατάσταση και δεν βρέθηκαν ιζήματα. Η κατανομή και η συστάδα των εξαιρετικά λεπτών σωματιδίων χαλκού εξετάστηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο HITACHI H-8. Η Εικόνα 1 δίνει φωτογραφίες της ανάρτησης του μετασχηματισμένου ελαίου και του Cu νανοσωματίδια. Οι ηλεκτρονικές μικρογραφίες δείχνουν ότι τα σωματίδια διασκορπίζονται στο ρευστό και συμβαίνει κάποια συσσώματωση.

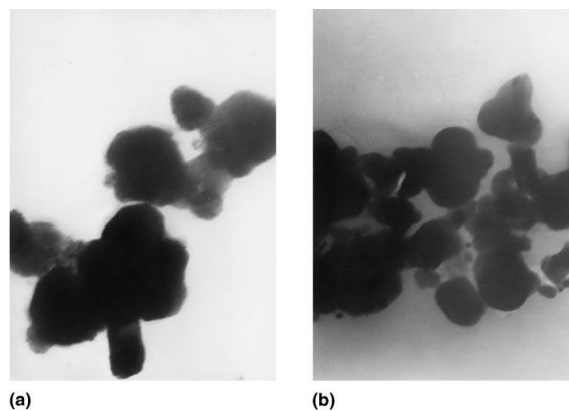
Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.



Εικόνα 1: μικρογραφίες του μετασχηματισμένου ελαίου των σωματιδίων nanoCu σε pH 6.3. (α) 2% κατ' όγκο εναιώρημα (χρόνοι κλίμακας: 100.000). β) 5% κατ' όγκο εναιώρημα (κλίμακα φορές: 100.000).

Παράδειγμα 2: Νερό και εναιωρήματα νανοςωματιδίων Cu

Το εναιώρημα περιέχει 5 vol% Cu νανοςωματίδια. Το λαουρικό άλας χρησιμοποιείται για να ενισχύσει τη σταθερότητα του εναιωρήματος. Διάφορα ποσοστά του λαουρικού άλατος (2, 4, 6, 8, 9% wt (κ.β). μέσω του σωματιδίου) έχουν δοκιμαστεί. Η καλύτερη περίπτωση αντιστοιχεί στο ποσοστό από 9% κατά βάρος, πράγμα που σημαίνει ότι το 9% κατά βάρος μπορεί να είναι η ελάχιστη τιμή για το σχηματισμό ενός σταθερού εναιωρήματος σωματιδίων Cu στην περίπτωση αυτή. Αφού η ανάρτηση έχει δонηθεί σε έναν δонητή υπερήχων, η σταθερή αναστολή μπορεί να διαρκέσει περισσότερο από 30 ώρες στο σταθερό κατάσταση. Το σχήμα 2 δίνει φωτογραφίες TEM της ανάρτησης του νερό Cu νανοςωματίδια. Και οι δύο μικρογραφίες δείχνουν ότι το τα σωματίδια διασκορπίζονται σε απιονισμένο νερό και κάποια συσώρευση λαμβάνει χώρα.



Εικόνα 2: μικρογραφίες σωματιδίων νανο-απιονισμένου νερού σε pH 6,8. (α) 5% κατ' όγκο εναιώρημα (χρόνοι κλίμακας: 50.000). (β) εναιώρημα 7,5% κατ' όγκο (χρόνοι κλίμακας: 30.000).

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Σύγκριση μεταξύ των Σχ. 1 και 2 και παρατήρηση του οι αναστολές αποκαλύπτουν ότι σε σχέση με τη συμπεριφορά διασποράς και σταθερότητα, το αιώρημα των σωματιδίων Cu στο μετασχηματιστικό έλαιο έχει ανώτερα χαρακτηριστικά του εναιωρήματος σωματιδίων Cu στο νερό. Αυτό εξηγεί ότι το ιξώδες των υγρών μπορεί να είναι ένα σημαντικός παράγοντας για την εξάπλωση των εξαιρετικά λεπτών σωματιδίων και τη σταθερότητα των εναιωρημάτων. Οι ιδιότητες των ενεργοποιητών και τα μέσα διασποράς παίζουν επίσης ένα ρόλο στην παρασκευή των εναιωρημάτων.

6.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟ ΡΕΥΣΤΩΝ

Νανοέλαια με βάση το μετασχηματιστή και με νανοσωματίδια που φέρουν ενσωματωμένο οξειδίο σιδήρου (Fe_3O_4), έχει σημαντικά μεγαλύτερο διηλεκτρικό από το βασικό πετρέλαιο. Ωστόσο, η συσσώρευση νανοσωματιδίων οξειδίου σιδήρου παρουσία εξωτερικής μαγνητικής στο πεδίο προκαλεί προβλήματα. Συνεπώς, οι ερευνητές έχουν διερευνήσει ημιαγωγιμότητα και μονωτικά νανοσωματίδια σε μια προσπάθεια για να αποφεύγεται η ομαδοποίηση. Το ac, dc, οι ωθητικές δυνάμεις διάσπασης και η μερικής αποφόρτισης συμπεριφορά αυτών των νανοελαίων έχουν μελετηθεί. Τα χαρακτηριστικά θερμικής γήρανσης ορισμένων νάνο ρευστών έχουν επίσης διερευνηθεί.

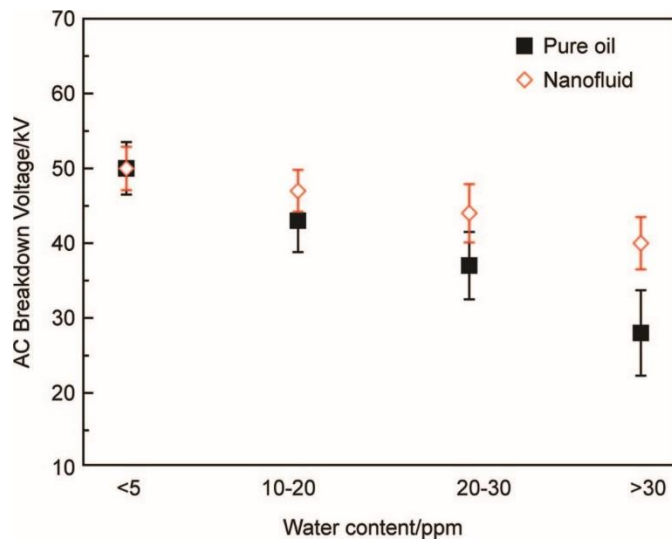
6.4.1 ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (AC)

Ο Segal et al.[4] διαπίστωσε ότι η αύξηση της κατανομής AC αντοχής, σε νανοέλαια με βάση το ορυκτό έλαιο που ενσωματώνουν αγωγούς, τα νανοσωματίδια Fe_3O_4 , αυξάνονται με αυξανόμενη περιεκτικότητα σε νερό του πετρελαίου. Το εύρημα αυτό δεν ήταν πλήρης εξήγηση, αλλά οι συγγραφείς πρότειναν ότι μερικά από τα διαλυμένα στο νερό μπορούν να συνδεθούν με τις επιφάνειες των νανοσωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, μερικές πολυμοριακές συστάδες νερού μπορεί να σπάσουν σε μόρια μονού νερού, τα οποία στη συνέχεια θα μπορούσαν να συνδεθούν σε μερικές από τις επιφάνειες των νανοσωματιδίων. Επειδή τα πολυμερή συσσωματώματα νερού μειώνουν την αντοχή σε αποσύνθεση του πετρελαίου περισσότερο από μεμονωμένα μόρια νερού, η αντοχή διάσπασης του ελαίου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά λόγω της προσθήκης του με νανοσωματίδια. Ο Du et al. μετρούσε τις τάσεις διάσπασης του ορυκτού λαδιού και αντίστοιχα νανοελαίων που ενσωματώνουν νανοσωματίδια TiO_2 (0,075% κατ 'όγκο) σε σχετικές υγρασίες στην περιοχή 10% έως 80%.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

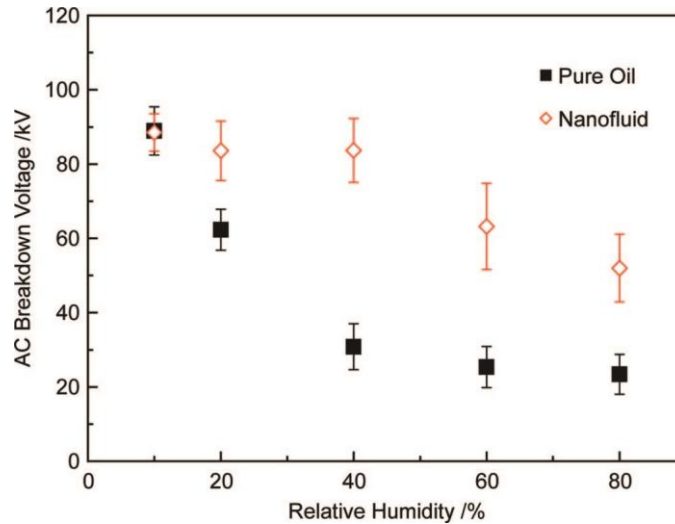
Για άλλη μια φορά η ενσωμάτωση του με τα νανοσωματίδια προκάλεσαν αύξηση της ισχύος διάσπασης του ηλεκτρικού ρεύματος σε υψηλές σχετικές υγρασίες, αν και η αύξηση δεν είναι απλή λειτουργία της υγρασίας. Βρέθηκε ότι τα νανοσωματίδια TiO_2 μπορούν να μειώσουν την παραμόρφωση του ηλεκτρικού πεδίου που προκαλείται από το νερό, που προκύπτει σε βελτιωμένες νανοελαϊκές αντοχές διάσπασης. Ο Lv et al. [3] σύγκρινε τα αποτελέσματα του ημιαγωγού TiO_2 με νανοσωματίδια με τα αποτελέσματα της μόνωσης SiO_2 και Al_2O_3 με νανοσωματίδια παρόμοιου σχήματος και μεγέθους, στην κατανομή του ηλεκτρικού ρεύματος αντοχής ορυκτελαίου. Διαπίστωσαν ότι η τάση διασπάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος του νανορευστού TiO_2 ήταν έως και 13% υψηλότερο από εκείνο του ορυκτελαίου. Ωστόσο, με τη προσθήκη μονωτικών SiO_2 ή Al_2O_3 τα νανοσωματίδια μείωσαν τη δύναμη διάσπασης του πετρελαίου, όπως μπορεί να αναμένεται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες του ορυκτελαίου-πετρελαίου. Τα νανοέλαια SiO_2 και Al_2O_3 μετρήθηκαν σε μη καταστρεπτικές δοκιμές διάσπασης.

Τα επιφανειακά τροποποιημένα νανοσωματίδια TiO_2 μπορούν να αυξηθούν σημαντικά ή να μειώσουν την αντοχή διάσπασης εναλλασσόμενου του ορυκτού πετρελαίου βάση νανοελαίων, ανάλογα με την επιλογή της τροποποίησης μέσω της επιφάνειας. Τα νανοσωματίδια Fe_3O_4 και TiO_2 μπορούν επίσης να αυξήσουν την αντοχή διάσπασης του ac ρεύματος του φυτικού ελαίου, ανθεκτικό στη φωτιά και περιβαλλοντικά φιλικό υποκατάστατο ορυκτελαίου.

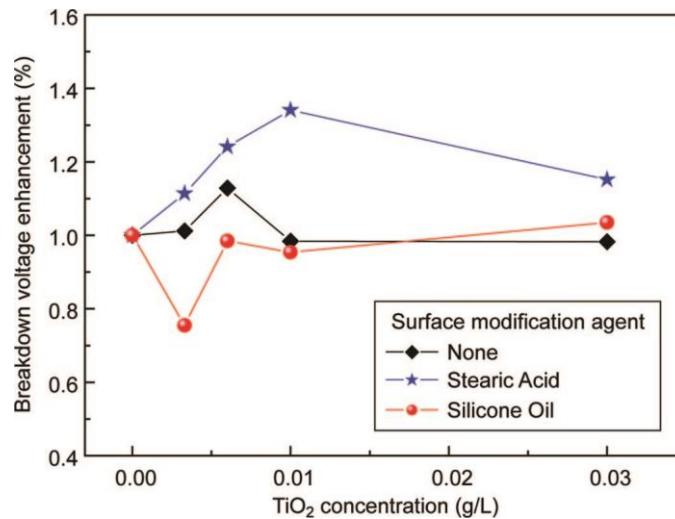


Σχήμα 1. Τάσεις διάσπασης AC για ορυκτά έλαια και αντίστοιχα νανοέλαια που περιλαμβάνουν νανοσωματίδια Fe_3O_4 , ως συνάρτηση της περιεκτικότητας του πετρελαίου σε νερό

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.



Σχήμα 2. Τάσεις διάσπασης AC για ορυκτά έλαια και αντίστοιχα νανοέλαια που ενσωματώνουν ημιαγώγιμα νανοσωματίδια TiO_2 , ως λειτουργίες σχετικής υγρασίας. Η περιεκτικότητα σε νανοσωματίδια ήταν 0,075%

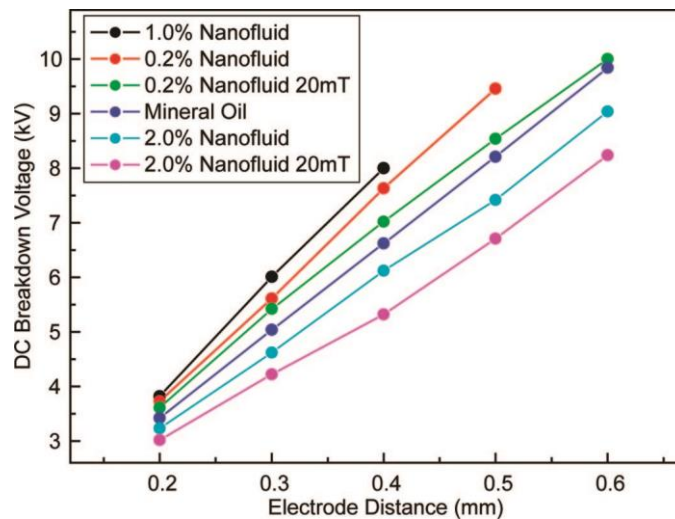


Σχήμα 3. Επίδραση δύο παραγόντων τροποποίησης της επιφάνειας νανοσωματιδίων TiO_2 στην τάση διάσπασης του ηλεκτρικού ρεύματος των νανοελαίων TiO_2 με βάση το ορυκτό έλαιο, ως συναρτήσεις της συγκέντρωσης TiO_2 . Η τυπική απόκλιση των τάσεων διάσπασης ήταν 10%

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

6.4.2 ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC)

Η διηλεκτρική αντοχή του πετρελαιοειδούς μπορεί να αυξηθεί προσθέτοντας νανოსωματίδια. Το αποτέλεσμα της προσθήκης των νανοςωματιδίων Fe_3O_4 σε 0,2 έως 2,0% κατ 'όγκο στην κατανομή η τάση ορυκτελαίου εμφανίζεται στο σχήμα 4 ως συνάρτηση του ηλεκτροδίου απόσταση. Πρέπει να σημειωθεί ότι επηρεάστηκε η τάση διάσπασης συνεχούς ρεύματος από την παρουσία ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου 20-mT στα δύο των μετρούμενων συγκεντρώσεων νανοςωματιδίων. Οι συντάκτες πρότειναν ότι αυτό οφείλεται στο σχηματισμό συσσωματωμένου μεγέθους μικρομέτρου σωματιδίων Fe_3O_4 , ως αποτέλεσμα του μαγνητικού αλληλεπίδρασης δίπολου μεταξύ μεμονωμένων νανοςωματιδίων στο εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Ο Du et al. διαπίστωσε ότι η αρνητική ισχύς διάσπασης dc ρεύματος του ορυκτελαίου που περιέχει νανοςωματίδια TiO_2 σε συγκέντρωση από 0,075% κατ 'όγκο ήταν 1,27 φορές εκείνη του βασικού ελαίου. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε αύξηση της τάσης διάσπασης θετικού συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα 4. Τάση διάσπασης DC σε σχέση με την απόσταση ηλεκτροδίων για νανοέλαια με βάση το πετρέλαιο και το πετρέλαιο που περιέχουν νανοςωματίδια Fe_3O_4 σε διάφορες συγκεντρώσεις. Η πειραματική αβεβαιότητα στην τάση διάσπασης ήταν $\pm 10\%$. Ορισμένα από τα δείγματα υποβλήθηκαν σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο 20 mT.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

6.4.3 ΩΘΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ

Σημαντικές αυξήσεις στην ισχύ διάσπασης του θετικού παλμού έχουν αναφερθεί σε βάση ορυκτελαίων και φυτικών ελαίων νανοελαίων. Ο Segal [4] et al. μετρησε θετικές και αρνητικές ωθητικές τάσης διασπασης και χρονική διάσπαση σε ορυκτέλαιο με το αντίστοιχο Fe_3O_4 νανοέλαιο, χρησιμοποιώντας γεωμετρία βελόνας / σφαίρας σε αποστάσεις κενού 25,4 και 55 mm. Η ενσωμάτωση των νανοσωματιδίων αυξήσε τη θετική δύναμη διάσπασης του ορυκτελαίου. Οι συγγραφείς πρότειναν ότι η υψηλή δύναμη διάσπασης των νανορευστών Fe_3O_4 οφείλεται περισσότερο στην εγγενή διηλεκτρική τους σταθερότητα παρά σε τοπικά αποτελέσματα στο ηλεκτρόδιο της βελόνας. Αυτή η πρόταση είναι συνεπής με τη μείωση του πολλαπλασιασμού των ταινιών ταχύτητα σε νανοφλουρίδια Fe_3O_4 . Ο Du et al. [4] διαπίστωσε ότι η θετική ανάλυση παλμών στην αντοχή του ορυκτελαίου αυξήθηκε σημαντικά με την εισαγωγή ημιαγωγικών νανοσωματιδίων TiO_2 (0,075% κατ 'όγκο) και ο μέσος όρος ταχύτητας διάδοσης της ταινίας μειώθηκε κατά 34,8%.

6.5 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Σημαντικότερη συνεισφορά στην ανάλυση και μελέτη των νανοελαίων το μοντέλο που πρότεινε ο J. Hwang et al. [8] Σε αυτό εξηγεί τις αλλαγές και τον μηχανισμό με τον οποίο τα νανοσωματίδια μέσα σε μια μήτρα ελαίου μπορούν να αλλάξουν (βελτιώσουν) τις ηλεκτρικές ιδιότητές του. Στο πέρας του χρόνου, υπό την επίδραση του εξωτερικά εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου, τα νανοσωματίδια φορτίζονται κυρίως από ηλεκτρόνια (λόγω μεγαλύτερης κινητικότητας σε σχέση με τα βαριά ιόντα). Τα ηλεκτρόνια εναποτίθενται στο νανοσωματίδιο και το αρνητικά φορτισμένο νανοσωματίδιο δημιουργεί ένα τοπικό ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο αντιτίθεται στο εξωτερικό (το φορτίο που θα αποκτήσει το νανοσωματίδιο εξαρτάται από το μέγεθός του). Έτσι σύμφωνα με αυτόν το μηχανισμό προτάθηκε το μοντέλο «παγίδας ηλεκτρονίων» (electron traps), μέσα στο νανοέλαιο, εξηγώντας με αυτό τον τρόπο την βελτιωμένη διηλεκτρική συμπεριφορά του.

Στην έρευνα που διεξήγαγε ο J. Hwang et al, όπου μοντελοποίησε την αλληλεπίδραση των νανοσωματιδίων μέσα σε μήτρα ελαίου μετασχηματιστή, διαπίστωσε ότι τα νανοσωματίδια δεσμεύουν περίπου 6-12 ηλεκτρόνια (ανάλογα με το μέγεθός τους) σε ελάχιστο χρόνο (10^{-14} s για νανοσωματίδια Fe_3O_4) πολύ μικρότερο από τον χρόνο δημιουργίας ενός streamer στο έλαιο (ns – μ s). Ο χρόνος χαλάρωσης ενός νανοσωματιδίου είναι τεράστιας σημασίας και υπολογίζεται από την εξίσωση και συνδέεται άμεσα με την δυνατότητα επίδρασης ενός νανοσωματιδίου στην μήτρα που θα εισέλθει, υπολογισμένο για έλαια μετασχηματιστή:

$$\tau_r = \frac{2\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2\sigma_1 + \sigma_2}$$

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Όπου,

ϵ_1 : η διηλεκτρική σταθερά του νανοσωματιδίου

ϵ_2 : η διηλεκτρική σταθερά του ελαίου (μήτρα), ($2.2\epsilon_0$ για το Fe_3O_4 NP),

σ_1 : η αγωγιμότητα του νανοσωματιδίου, (1×10^{-12} S/m για το Fe_3O_4 NP),

σ_2 : η αγωγιμότητα του ελαίου (μήτρα).

Η διατήρηση του μικρού χρόνου χαλάρωσης (relaxation time) επιτρέπει την άμεση απορρόφηση ηλεκτρονίων από τα νανοσωματίδια, συνεπώς αποτελεί κριτήριο επιλογής των κατάλληλων νανοσωματιδίων για χρήση τους σε νανοέλαια για βελτιωμένη διηλεκτρική αντοχή. Ενδεικτικά τα νανοσωματίδια Al_2O_3 έχουν χρόνο χαλάρωσης 42.2 s, που τα καθιστά ακατάλληλα για νανοέλαια. Ο μηχανισμός παγίδευσης ηλεκτρονίων σε τόσο γρήγορο χρόνο αλλάζει όλα τα ηλεκτροδυναμικά μοντέλα που εφαρμόζονται έως τώρα σε συμβατικά έλαια, μιας και τα νανοσωματίδια δεσμεύουν ηλεκτρόνια πολύ πριν επηρεαστούν από την ζώνη ιονισμού. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκαν νανοσωματίδια Fe_3O_4 .

6.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΕΛΑΙΩΝ

Τα σωματίδια σε διασπορά μπορούν να συγκολληθούν μαζί και να σχηματίσουν συσσωματώματα αυξανόμενου μεγέθους τα οποία μπορούν να αποκατασταθούν λόγω της βαρύτητας. Σταθερότητα σημαίνει ότι τα σωματίδια δεν συσσωματώνονται με σημαντικό ρυθμό. Ο ρυθμός συσσωμάτωσης καθορίζεται γενικά από τη συχνότητα των συγκρούσεων και την πιθανότητα συνοχής κατά τη σύγκρουση. Οι Derjaguin, Verwey, Landau και Overbeek (DLVO) ανέπτυξαν μια θεωρία που αφορούσε τη κολλοειδή σταθερότητα. Η θεωρία DLVO υποδηλώνει ότι η σταθερότητα ενός σωματιδίου σε διάλυμα καθορίζεται από το άθροισμα των ελκυστικών και ηλεκτρικών απωθητικών δυνάμεων διπλού στρώματος που υπάρχουν μεταξύ των σωματιδίων καθώς προσεγγίζουν ο ένας τον άλλον λόγω της κίνησης Brownian που υφίστανται. Αν η ελκυστική δύναμη είναι μεγαλύτερη από την απωστική δύναμη, τα δύο σωματίδια θα συγκρούονται και η ανάρτηση δεν είναι σταθερή. Εάν τα σωματίδια έχουν επαρκή υψηλή απόσπαση, τα εναιωρήματα θα υπάρχουν σε σταθερή κατάσταση. Για σταθερά νανοέλαια ή κολλοειδή, οι αποκρουστικές δυνάμεις μεταξύ σωματιδίων πρέπει να κυριαρχούν. Σύμφωνα με τους τύπους απωλειών, οι βασικοί μηχανισμοί που επηρεάζουν την κολλοειδή σταθερότητα χωρίζονται σε δύο είδη, ο ένας είναι στερική απόρριψη και ο άλλος είναι ηλεκτροστατικός (φορτιστικός) αποπροσανατολισμός.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Για παράδειγμα, τα νανοσωματίδια οξειδίου του ψευδαργύρου τροποποιημένα με PMAA έχουν καλή συμβατότητα με πολικούς διαλύτες. Τα νανοσωματίδια αργύρου είναι πολύ σταθερά λόγω του προστατευτικού ρόλου της PVP, καθυστερώντας την ανάπτυξη και συσσωμάτωση νανοσωματιδίων με στερεοχημική επίδραση. Το PVP είναι ένας αποτελεσματικός παράγοντας για τη βελτίωση της σταθερότητας του αιωρήματος γραφίτη. Η στερεοχημική επίδραση του πολυμερούς διασπαστικού προσδιορίζεται από τη συγκέντρωση του μέσου διασποράς. Εάν η συγκέντρωση PVP είναι χαμηλή, η επιφάνεια των σωματιδίων γραφίτη επιχρίεται σταδιακά με μόρια PVP με την αύξηση της PVP. Kamiya et al.[6] μελέτησε την επίδραση της δομής πολυμερούς διασποράς στην ηλεκτροστεγανική αλληλεπίδραση και τη συμπεριφορά της αιωρούμενης αλουμίνας. Μία βέλτιστη αναλογία υδρόφιλων έως υδρόφοβων ομάδων ελήφθη από τη μέγιστη απωθητική δύναμη και το ελάχιστο ιξώδες. Για την ηλεκτροστατική σταθεροποίηση, το επιφανειακό φορτίο θα αναπτυχθεί μέσω ενός ή περισσοτέρων από τους ακόλουθους μηχανισμούς: (1) προτιμησιακή προσρόφηση ιόντων, (2) διάσταση επιφανειακά φορτισμένων ειδών, (3) ισομορφική υποκατάσταση ιόντων, (4) συσσώρευση ή εξάντληση ηλεκτρόνια στην επιφάνεια και (5) φυσική προσρόφηση φορτισμένων ειδών στην επιφάνεια.

6.6.1 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΝΑΝΟΕΛΑΙΟΥ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν στην εφαρμογή των νανοελαίων σε μετασχηματιστές, είναι η συμπεριφορά τους υπό την επίδραση μεγάλων μαγνητικών πεδίων. Συγκεκριμένα τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στον μετασχηματιστή δύνανται να μαγνητίσουν τα νανοσωματίδια και να αποδεσμεύσουν τα νανοσωματίδια από την μήτρα τους. Τα πιο συνηθισμένα νανοσωματίδια για αυτές τις εφαρμογές είναι μαγνητικά (μαγνητίτης Fe_3O_4 , αιματίτης Fe_2O_3). Συνεπώς η σταθερότητα τους (αποφυγή μαγνητισμού τους) και η μακράς διάρκειας βελτίωση της απόδοσης τους είναι απαραίτητη, μιας και τα νανοσωματίδια δύνανται να μαγνητιστούν. Η μαγνητική ενέργεια που χαρακτηρίζει ένα νανοσωματίδιο δίνεται από την εξίσωση:

$$E_M = \frac{\mu_0 M H \pi d^3}{6}$$

Όπου,

μ_0 : η μαγνητική διαπερατότητα του κενού ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Hm),

M : η ένταση του μαγνητικού πεδίου των μαγνητικών νανοσωματιδίων (A/m),

H : η ένταση του εξωτερικά επιβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου (A/m),

d : η διάμετρος του μαγνητικού νανοσωματιδίου.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Για την διατήρηση της κolloειδούς σταθερότητας πρέπει ο λόγος ανάμεσα στην θερμική ενέργεια του νανοσωματιδίου kT και της μαγνητικής ενέργειας του νανοσωματιδίου να είναι μεγαλύτερος από 1. Στην εργασία του R. E. Rosensweig [7] βρέθηκε ότι για την περίπτωση του μαγνητίτη (Fe_3O_4) με μαγνήτιση $446kA/m$, που αντιστοιχεί σε τυπικό μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό ενός μετασχηματιστή 1-20 kG, η διάμετρος του νανοσωματιδίου πρέπει να είναι 8.1nm. Η ελάχιστη διάμετρος εμπορικών νανοσωματιδίων αυτού του τύπου είναι περίπου 10nm, στην παρούσα διατριβή η διάμετρος των νανοσωματιδίων που φτιάξαμε ήταν μικρότερη από 10.5 nm.

6.6.2 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΝΑΝΟΕΛΑΙΟΥ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Εκτός από την επίδραση του μαγνητικού πεδίου σε μετασχηματιστές, το πρόβλημα της σταθερότητας εμφανίζεται και λόγω της βαρυτικής έλξης. Αντιστοίχως, για την διατήρηση της κolloειδούς σταθερότητας πρέπει ο λόγος ανάμεσα στην θερμική ενέργεια του νανοσωματιδίου kT ως προς την ενέργεια της βαρυτικής έλξης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1, εξίσωση [7,9]:

$$\frac{6kT}{\Delta\rho\pi d^3 gL} \geq 1$$

Όπου, $\Delta\rho = \rho_{\text{solid}} - \rho_{\text{liquid}}$ (kg/m^3) είναι η πυκνότητα επιπολής των νανοσωματιδίων

μ_0 : η μαγνητική διαπερατότητα του κενού ($4\pi \cdot 10^{-7} Hm$),

L : βάθος (δοχείου τοποθέτησης) του νανοϋγρού (m)

g : $9.8 m/s^2$,

d : η διάμετρος του μαγνητικού νανοσωματιδίου

Για νανοέλαιο που προέκυψε με προσθήκη νανοσωματιδίων μαγνητίτη, σε βάθος 10cm μίγματος, σε θερμοκρασία δωματίου, έχει υπολογιστεί ότι η τιμή πυκνότητας επιπολής είναι περίπου $4500kg/m^3$. Σύμφωνα με τη παραπάνω εξίσωση για να ικανοποιείται η συνθήκη ≥ 1 , προκύπτει διάμετρος νανοσωματιδίου 12nm, για να παραμένει σε σταθερότητα το νανοέλαιο. Η απαίτηση για διάμετρο 12nm υπερκαλύπτει την διάμετρο που έχουμε χρησιμοποιήσει στην παρούσα εργασία (10.5nm).

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

6.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πολλές ενδιαφέρουσες ιδιότητες των νανοελαίων έχουν αναφερθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Το παρόν έγγραφο παρουσιάζει μια επισκόπηση των πρόσφατων εξελίξεων στη μελέτη των νανοελαίων, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων προετοιμασίας, των μεθόδων αξιολόγησης της σταθερότητάς τους, των τρόπων ενίσχυσης της σταθερότητάς τους, των μηχανισμών σταθερότητας και των πιθανών εφαρμογών τους στην εντατικοποίηση της μεταφοράς θερμότητας, ενεργειακά πεδία, μηχανικά πεδία, βιοϊατρικά πεδία κ.ο.κ. Αν και τα νανοέλαια έχουν επιδείξει εξαιρετικά συναρπαστικές πιθανές εφαρμογές, υπάρχουν και μερικά σημαντικά εμπόδια πριν την εμπορευματοποίηση των νανοελαίων. Τα ακόλουθα βασικά ζητήματα πρέπει να τύχουν μεγαλύτερης προσοχής στο μέλλον.

Πρώτον, απαιτείται περαιτέρω πειραματική και θεωρητική έρευνα για να βρεθούν οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των νανοελαίων. Μέχρι σήμερα, υπάρχει έλλειψη συμφωνίας μεταξύ πειραματικών αποτελεσμάτων από διαφορετικές ομάδες, οπότε είναι σημαντικό να εντοπίζονται συστηματικά αυτοί οι παράγοντες. Οι λεπτομερείς και ακριβείς χαρακτηρισμοί δομής των αναστολών μπορεί να είναι το κλειδί για να εξηγηθεί η ασυμφωνία στα πειραματικά δεδομένα. Δεύτερον, η αύξηση του ιξώδους με τη χρήση νανοελαίων αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα λόγω της σχετικής αύξησης της αντλητικής ισχύος. Οι εφαρμογές για νανοέλαια με χαμηλό ιξώδες και υψηλή αγωγιμότητα είναι ελπιδοφόρες. Η ενίσχυση της συμβατότητας μεταξύ των νανοϋλικών και των υγρών βάσης μέσω της τροποποίησης των ιδιοτήτων διασύνδεσης δύο φάσεων μπορεί να είναι μία από τις οδούς λύσης. Τρίτον, το σχήμα των προσθέτων στα νανοέλαια είναι πολύ σημαντικό για τις ιδιότητες. ως εκ τούτου, η νέα προσέγγιση νανοελαϊκών συνθέσεων προσεγγίζει με ελεγχόμενη δομή μικροσκοπίου θα είναι ένα ενδιαφέρον ερευνητικό έργο. Τέταρτον, η σταθερότητα της αναστολής αποτελεί κρίσιμο ζήτημα τόσο για την επιστημονική έρευνα όσο και για τις πρακτικές εφαρμογές.

Η σταθερότητα των νανοελαίων, ιδιαίτερα η μακροπρόθεσμη σταθερότητα, η σταθερότητα στις πρακτικές συνθήκες και η σταθερότητα μετά από χιλιάδες θερμικούς κύκλους θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή. Πέμπτον, υπάρχει έλλειψη διερεύνησης της θερμικής απόδοσης των νανοελαίων σε υψηλές θερμοκρασίες, η οποία μπορεί να διευρύνει τις πιθανές περιοχές εφαρμογής νανοελαίων, όπως στην απορρόφηση ηλιακής ενέργειας υψηλής θερμοκρασίας και την αποθήκευση ενέργειας υψηλής θερμοκρασίας. Ταυτόχρονα, η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να επιταχύνει την αποικοδόμηση των επιφανειοδραστικών που χρησιμοποιούνται ως παράγοντες διασποράς στα νανοέλαια και μπορεί να παράγει περισσότερους αφρούς. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Τέλος, οι ιδιότητες των νανοελαίων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το σχήμα και την ιδιότητα του προσθέτου. Τα ευρήματα του Xie έδειξαν ότι η ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας ρυθμίστηκε με άλεση με σφαίρα και την κοπή των επεξεργασμένων CNTs εναιωρημένων στα νάνο ρευστά σε σχετικά ευθείες CNTs με κατάλληλη κατανομή μήκους. Πρότειναν την έννοια της ευκαμψίας για να εξηγήσουν τα γεγονότα.

Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών. Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.

Η έρευνα των νανοελαίων μπορεί να εμπλουτιστεί και να επεκταθεί μέσω της διερεύνησης νέων νανοϋλικών. Για παράδειγμα, το πρόσφατα ανακαλυφθέν 2D μονατομικό φύλλο γραφθέν είναι ένα υποσχόμενο υποψήφιο υλικό για την ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας του βασικού ρευστού. Η έννοια των νανοελαίων επεκτείνεται με τη χρήση υλικών αλλαγής φάσης, η οποία υπερβαίνει την απλή αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας ενός υγρού. Βρέθηκε ότι η νανοελαϊκή φάση αλλαγής φάσης ινδίου / πολυαλφαλεφίνης παρουσιάζει ταυτόχρονα ενισχυμένη θερμική αγωγιμότητα και ειδική θερμότητα.

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ

1. “High Voltage engineering: Fundamentals” 2th edition (E. KUFFEL, W.S.ZAENGL, J.KYFFEL)
2. “Ηλεκτρικές Μηχανές 4η έκδοση” (Stephen J. Chapman) Εκδόσεις Τζιόλα, 2009
3. “Electrical insulating materials: international issues” (Marcelo M. Hirschler, editor) (STP: 1376) ASTM Stock #: STP1376, Baltimore-March 2000
4. “ΕΟΚ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ”, BS 148/1972, BS 148/1959, VDE 0370/1961
5. “Μονωτικά Λάδια και έλεγχος της διηλεκτρικής αντοχής τους” (Μπέλλου Γεωργία, Μανωλάκης Δημήτρης)

ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ (PAPERS)

1. “Historical Development Of The Transformer” (Professor J R Lucas Chairman, IEE Sri Lanka Centre 2000/01 Professor in Electrical Engineering), University of Moratuwa Hotel Galadari, Colombo, Sri Lanka-14 November 2000
2. “ELECTRICAL BREAKDOWN OF LIQUID DIELECTRICS” (I. E. Balygin), Foreign Technology Division Wright -Paterson Air Force Base, Ohio – 20 October 1972
3. “Heat transfer enhancement of nanofluids” (Yimin Xuan *, Qiang Li), School of Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, People's Republic of China, Received 5 February 1999; accepted 1 September 1999
4. “Recent Progress in Nanofluids Based on Transformer Oil: Preparation and Electrical Insulation Properties” (Y. Z. Lv, Y. Zhou, C. R. Li, Q. Wang, and B. Qi) September/October — Vol. 30, No. 5 23 0883-7554/12/\$31/©2014/IEEE Electrical Insulation Magazine.
5. “Nanometric Dielectrics” (T. J. Lewis School of Electronic Engineering and Computer Systems, University of Wales, Bangor, UK), IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 1 No. 5, October 1004
6. “Transformer’s History and its Insulating Oil” Proceedings of the 5th National Conference; INDIACom-2011, Computing For Nation Development, March 10 – 11, 2011, Bharati Vidyapeeth’s Institute of Computer Applications and Management, New Delhi
7. R. E. Rosensweig, “Ferrohydrodynamics”, Cambridge University Press, 1985
8. J.G. Hwang, M. Zahn, F.M. O’Sullivan, L.A.A. Pettersson, O. Hjortstam, R. Liu, “Effects of nanoparticle charging on streamer development in transformer oil-based nanofluids”, Journal of Applied Physics, Vol. 107, 014310, 2010..
9. [73] T.F. Tadros, "Interfacial Phenomena and Colloid Stability: Basic Principles", De Gruyter, 2015

**Βιοδιασπώμενα υγρά μονωτικά με προσθήκη νανοϋλικών.
Ηλεκτρικές ιδιότητες και μηχανισμοί διάσπασης.**

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ (WEB)

1. “Envirotemp™ FR3™ Fluid Storage and Handling Guide” (©2013 Cargill, Incorporated. All Rights Reserved. Envirotemp™ and FR3™ are valuable trademarks of Cargill, Incorporated. S-34™ is a trademark of Ecolink, Inc. AMF CUNO Zeta-Plus® is a registered trademark of 3M Company. HILCO® is a registered trademark of Hilliard Corporation. VITON® is a registered trademark of DuPont Company. #15 Economy Floor Cleaner™ is a trademark of Crown Chemicals.) – May 2013. (<https://www.cargill.com/bioindustrial/envirotemp/fr3>)
2. “MIDEL eN 1204” Natural ester transformer fluid Technical Information Pack (Midel.com) – June 2016 (<https://www.midel.com>)
3. “Prototype 420 kV Power Transformer Using Natural Ester Dielectric Fluid By Ronny Fritsche, Uwe Rimmele, Frank Trautmann, and Dr. Michael Schäfer” (<https://www.siemens.com/global/en/home/products/energy/high-voltage/transformers.html>)
4. “Vegeta Vegetable Oil-Immersed Transformer up to 25MVA - 72.5kV”, (<https://www.schneider-electric.com/en/product-range-presentation/60731-vegeta#tabs-top>)
5. “What are nanofluids and which are their applications?” – 30 May 2016, (<http://www.unilab.eu/articles/technical-articles/thermodynamic-engineering-articles/nanofluids/>)
6. “A Review on Nanofluids: Preparation, Stability Mechanisms, and Applications” (Academic Editor: Li-Hong Liu), School of Urban Development and Environmental Engineering, Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai 201209, China, (<https://www.hindawi.com/journals/jnm/2012/435873/>)
7. “Transformer Insulating Oil and Types of Transformer Oil”– (<file:///C:/Users/LikeJohn/Documents/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/Transformer%20Insulating%20Oil%20and%20Types%20of%20Transformer%20Oil%20%20Electrical4u.html>)
8. “DIELECTRIC / TRANSFORMER / INSULATING OILS” - A Publication of the Lubrication Engineers Technical Department, LEADERS IN LUBRICANTS (<http://www.l Lubricants.com/index.html>)
9. “Synthetic Dielectrics: What Makes Them Different?” (Peter Knowles) - <http://www.edm-products.com/Dielectrics/Ionoplus/keyfacts/pg1.htm>