

Τ.Ε.Ι - Πάτρας

Τμήμα : Ηλεκτρολογίας

## Π τ υ χ ι α κ ή Ε ρ γ α σ ί α

Αριθμός 260.

Συστήματα μόνωσης και έλεγχος των περιελίξεων των  
τυλιγμάτων του στάτορα μεγάλων στρεφομένων μηχανών

Εισηγητές:

1: Ελευθερία Πυργιώτη  
2:

Σπουδαστές:

1: Σταύρος Σκιαδάς  
2: Βασίλης Κουτσούκος  
3:

Πάτρα - Φ.96



ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	3224
----------------------	------

## Πρόλογος

Το γεγονός ότι η κατάσταση του συστήματος μόνωσης συχνά περιορίζει τη χρήσιμη ζωή των τυλιγμάτων μιας στρεφόμενης μηχανής καθιστά αναγκαία των αναφορά σ' αυτή την εργασία, των εξελισσόμενων τύπων συστημάτων μόνωσης αλλά και των παραγόντων που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής τους και δίνουν το ερέθισμα για τις εκάστοτε αλλαγές και βελτιώσεις.

Παλαιότερα τα περισσότερα συστήματα μόνωσης στρεφόμενων μηχανών ήταν θερμοπλαστικού τύπου, λόγω της χρήσης της ασφάλτου ή γόμας για την συγκόλληση της μαρμαρυγιανής ταινίας, ενώ σήμερα είναι σκληρού θερμοδομικού τύπου με τη χρήση πολυεστέρα ή εποξικών ρητινών και η διαφορά των δύο συστημάτων βρίσκεται κυρίως στην θερμοκρασία αντοχής.

Επιπλέον, η συγκεκριμένη έρευνα περιλαμβάνει αναφορές στις δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης που προσδιορίζονται όλο και περισσότερο με ακρίβεια, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας και της ζωής λειτουργίας των πηνίων και των μπαρών του στάτορα. Σημαντική είναι η ανάπτυξη μιας εκτεταμένης σειράς μεθόδων παρακολούθησης καθώς και διαγνωστικών δοκιμών (off-line) για χρήση κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης και της περιοδικής συντήρησης των τυλιγμάτων των μηχανών. Πιο πρόσφατη είναι η τάση χρήσης του ελέγχου on-line για διαγνωστικούς σκοπούς, σε περιοδική ή σε συνεχή βάση με αντικειμενικούς στόχους την εκτίμηση διακοπών κατά τη συντήρηση καθώς και τον έγκαιρο εντοπισμό

επικίνδυνων καταστάσεων. Εκτενής αναφορά γίνεται επίσης για τις προόδους στην μέθοδο ελέγχου E.M.I. στο 2ο κεφάλαιο της εργασίας. Η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή ή ο E.M.I. έλεγχος στο ουδέτερο μιας μηχανής σε λειτουργία μπορεί να ανιχνεύσει και άλλους τύπους φθοράς του στάτορα καθώς επίσης και διάφορα ελαττώματα στο σχεδιασμό. Ακριβής ευρείας συχνότητας φασματική ανάλυση, μπορεί να εντοπίσει την περιοχή του προβλήματος, την οξύτητά του καθώς και το ρυθμό μεταβολής του. Αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι αρκετά ευαίσθητη στον εντοπισμό βλαβών στο δυναμικό αρκετά πριν να συμβεί αστοχία κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Γίνεται παρουσίαση των σπουδαιότερων αποτελεσμάτων από τις πολυάριθμες δοκιμές που έγιναν κατά την διάρκεια των ετών 1980 και 1981.

Σχετικά με την ύπαρξη υπολειτουργιών μέσα στα τυλίγματα του στάτορα μεγάλων γεννητριών, λόγω αστοχίας του αγωγού εξαιτίας κόπωσης, αποδεικνύεται στο 3ο μέρος της εργασίας, ότι ο έγκαιρος εντοπισμός τους μπορεί να οδηγήσει σε μία σημαντική βελτίωση όσον αφορά τη διαθεσιμότητα της μονάδας. Εδώ, περιγράφεται μια μέθοδος ραδιοσυχνότητας (RE) για on-line έλεγχο, ο οποίος εντοπίζει το τόξο που έχει σχέση με τα νήματα του αγωγού (stand) τα οποία έχουν ρηγματώσει από την κόπωση του χαλκού. Ο on-line έλεγχος του τόξου, ο οποίος εφαρμόζεται πολύ εύκολα στις περισσότερες μεγάλες στροβιλογεννήτριες κατά τη λειτουργία τους "αισθάνεται" (εντοπίζει) το ρεύμα RF το οποίο περνά μέσα

από το ουδέτερο του στάτορα και προέρχεται από τη δημιουργία τόξου στον αγωγό. Κατά τη διάρκεια των δυο προηγούμενων χρόνων η τεχνική της ανίχνευσης του τόξου RF έχει εφαρμοστεί σε πάνω από δεκαπέντε μεγάλες στροβιλογεννήτριες σε λειτουργία. Οι συνθήκες δημιουργίας τόξου εντοπίστηκαν ακριβώς σε τρεις μηχανές οι οποίες επισκευάστηκαν, και τέθηκαν πάλι σε λειτουργία. Αυτή η εργασία βασίζεται σε δουλειά που εκτελέστηκε από την EPRI με το συμβόλαιο RPg70-2 "on-line έλεγχος και διαγνωστικό σύστημα για γεννήτριες".

Η εμπειρία της εταιρίας Ontario Hydro σχετικά με τις διαγνωστικές δοκιμές εκφόρτισης στις υδραυλικές γεννήτριες για μια περίοδο πάνω από πέντε χρόνια, δείχνει ότι μπορεί να γίνει μια αξιόπιστη πρόβλεψη των συνθηκών μόνωσης του στάτορα πριν να γίνει φυσική εξέταση. Έχουν επίσης καθοριστεί οι οριακές τιμές λειτουργίας. Αυτή η εργασία (κεφ.4) δίνει μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση των προβλημάτων που συνα-ντώνται, και επίσης μια περιγραφή των διαδικασιών επισκευής των τυλιγμάτων που παρουσιάζουν εκφόρτιση σχισμής / μηχανική ζημιά μόνωσης λόγω φθοράς.

Επίσης περιγράφονται σε συντομία πρόσφατες πρόοδοι στον εξοπλισμό των διαγνωστικών δοκιμών προκειμένου να μειωθεί το κόστος της δοκιμής και να αυξηθεί η εμπιστότητά της.

Το τελευταίο μέρος της εργασίας μας αναφέρεται στις δοκιμές μιας άλλης εταιρίας που υπήρξε και ο μεγαλύτερος υδροηλεκτρικός σταθμός σε όλο τον κόσμο. Η πρόωρη και

οξείας μορφής αποσύνθεσης και φθορά του συστήματος μόνωσης του τοιχώματος στις υδραυλικές στροβιλογεννήτριες-μοτέρ στο σταθμό της εταιρίας στο Bath Country Pumped Strage, οδήγησε την εταιρία Virginia Power στην απόφαση να αντικαταστήσει τα τυλίγματα (περιελίξεις) του στάτορα. Έχει έτσι σχεδιαστές ένα "πρόγραμμα αξιολόγησης πωλήσεων" που αποτελεί μέρος της επιλογής διαδικασίας πωλήσεων για την κατασκευή και την επιτόπου αντικατάσταση αυτών των τυλιγμάτων. Δέκα υψηλά διαβαθμισμένες ράβδοι (μισά πηνία) εφοδιασμένες με κάθε ένα από τους τρεις προαξιολογημένους πωλητές υπόκεινται σε επιταχυνόμενες δοκιμές γήρανσης στο τμήμα έρευνας της εταιρίας *Ontario Hydro*. Αυτές οι επιταχυνόμενες δοκιμές γήρανσης θα καθορίσουν τη σχετική ικανότητα των τυλιγμάτων που αντικαταστάθηκαν να αντισταθούν στην αποσύνδεση και να αντέξουν στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Μια πρωτότυπη άποψη για το πρόγραμμα είναι μια δοκιμή θερμικού κύκλου η οποία προσαρμόζει τη γήρανση την οποία μπορεί να εμφανίσει το σύστημα μόνωσης του στάτορα λόγω της οξείας μορφής κυκλικής λειτουργίας (διεργασίας). Επί πλέον, εκτός από τη χρήση της για γεννήτριες άντλησης, η δοκιμή θερμικού κύκλου μπορεί να είναι χρήσιμη στην αξιολόγηση των συστημάτων μόνωσης και σε στροβιλογεννήτριες ανάφλεξης. Η δοκιμή θερμικού κύκλου εντόπισε διαφορετικά συστήματα μόνωσης του κατασκευαστή τα οποία ήταν περισσότερο ικανά να αντισταθούν στη φθορά λόγω της ακραίας λειτουργίας.

Όλες οι έρευνες και οι σχετικές με τα παραπάνω θέματα λεπτομέρειες αναλύονται διεξοδικά στη συνέχεια.

## Περιεχόμενα

<b>Περιεχόμενα</b>	<b>5</b>
<b>Κεφάλαιο 1</b>	<b>8</b>
<b>Συστήματα Μόνωσης</b>	<b>8</b>
Γενικά	8
1.1. Θερμική Ταξινόμηση Ηλεκτρικής Μόνωσης	10
1.2. Μόνωση του νήματος (Strand) και σπείρας (πηνίου)	11
1.3. Κοινά συστήματα μόνωσης του τοιχώματος (Groundwall) Κάμπτρικ (είδος υφάσματος) με βερνίκι (στιλβωμένο) (Τάξη A105°C).	12
1.4. Γόμα - Φύλλα Μίκας (Τάξη B 130°C)	12
1.5. Ταινία Μίκας με συγκόλληση με άσφαλτο (τάξη B 130°C)	13
1.6. Ταινία μίκας με συγκόλληση πολυεστέρα (VPI) (τάξη B 13°C)	14
1.7. Ταινία μίκας με συγκόλληση ρητινών [πλούσια σε Ρητίνες] (Ταξη F 155°C)	15
1.8. Ελαστικό σιλικόνης (Τάξη H 180°C)	16
1.9. Επίχρισμα με βερνίκι (στίλβωση) & Ψήσιμο σε κλίβανο (Τάξη B & Τάξη F)	17
1.10. Τυπική Διηλεκτρική Τάση	17
1.11. Ταινίες θωράκισης και επιχρίσματα	18
1.12. Πλευρική γόμωση και επισφήνωση	20
1.13. Μηχανισμοί αποσύνδεσης	21
α). Θερμικοί (παράγοντες)	22
β). Ηλεκτρικοί (παράγοντες)	22
γ). Περιβαλλοντολογικοί (παράγοντες)	23
δ). Μηχανικοί παράγοντες	23
ε). Λειτουργία	24
στ). (Τρόπος Λειτουργίας) Ισχύς μηχανής, απόδοση-Duty	24
1.14. Επιταχυνόμενη δοκιμή γήρανσης	25

1.15. Επιθεωρήσεις (Ελέγχου) και Διαγνωστικές Δοκιμές κατά την διάρκεια διακοπών λειτουργίας.	29
Οπτικός Έλεγχος	29
1.16. Αντίσταση της Μόνωσης και Δείκτης Πολικότητας.	30
1.17. Κλιμακωτή Δοκιμή με συνεχή Τάση	31
1.18. Απώλεια (Διασπορά - Διάχυση) - Παράγοντας TIP - UP.	32
1.19. Ολοκληρωμένη Ενέργεια Εκφόρτισης	33
1.20. Ηλεκτρομαγνητική διάταξη	33
1.21. On-line έλεγχος της Μερικής εκφόρτισης	35
1.22. Άλλες μέθοδοι ελέγχου on-line	38
<b>Κεφάλαιο 2</b>	<b>40</b>
<b>Έλεγχος EMI, και σήματα που δημιουργούνται από τις μηχανές</b>	<b>40</b>
Γενικά	40
2.1. Έλεγχος EMI	41
2.2. Υδροηλεκτρικές μηχανές	42
2.3. Εντοπισμός (εξακρίβωση) εκφόρτισης σχισμών	43
2.4. Εξακρίβωση (εντοπισμός) της κορόνας των πτερυγίων του ανεμιστήρα	48
2.5. Τρόπος λειτουργίας	49
2.6. Ατμοστροβιλογεννήτριες	50
2.7. Σήματα που δημιουργούνται από τις μηχανές	52
2.9. Εξωτερικά σήματα, Συμπεράσματα	54
2.10. Επιπλέον Εργασίες	57
2.11. Διαδικαστές Δοκιμής	58
2.12. Εξοπλισμός Δοκιμής	60
CSR-200 Σύστημα	60
<b>Κεφάλαιο 3</b>	<b>61</b>



<b>On-line εντοπισμός αρχόμενου τόξου σε τυλίγματα του στάτορα μεγάλων στροβιλογεννητριών F.T. Emery και R.T. Harrold.</b>	<b>61</b>
Γενικά γεννητριών	61
3.1. Εντοπισμός βλάβης (αστοχίας) του αγωγού λόγω κόπωσης με την μέθοδο ελέγχου RF	63
3.2. Μόνιτορ σταθερής (καθορισμένης) συχνότητας	70
<b>Κεφάλαιο 4</b>	<b>81</b>
<b>Διαγνωστικές δοκιμές μόνωσης γεννήτριας M. Kurtz, J.F. Lyles</b>	<b>81</b>
Γενικά	81
4.1. Διαγνωστικές δοκιμές	82
4.2. Επιτόπου επισκευές	85
4.3. Εμπειρία δοκιμών σε επανατυλιμένες γεννήτριες (στις οποίες έχει γίνει ξανά περιέλιξη).	91
4.4. Εμπειρία από δοκιμές άλλων υπηρεσιών του Καναδά	93
4.5. Καθορισμός των "οριακών τιμών λειτουργίας" στις διαγνωστικές δοκιμές.	94
4.6. Πρόσφατες προόδους στην τεχνική των δοκιμών	99
4.7. Συμπεράσματα και μελλοντικές εργασίες	102
<b>Κεφάλαιο 5</b>	<b>104</b>
<b>Μια δοκιμή τύπου θερμικού κύκλου για την μόνωση του τυλίγματος του στάτορα γεννήτριας. G.C. Stone, J.F.Lyles, J.M.Braun και C.L.Kaul</b>	<b>104</b>
5.1. Ορολογία (Σημαντικές λέξεις κλειδιά): Στρεφόμενες μηχανές, Ηλεκτρική μόνωση, Γήρανση, Θερμικός κύκλος.	104
Γενικά	104
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>110</b>

## Κεφάλαιο 1

### Συστήματα Μόνωσης

#### *Γενικά*

Πρόσφατα υπάρχει η τάση προς την κατεύθυνση της χρήσης ελέγχου on-line για διαγνωστικούς σκοπούς σε περιοδική ή συνεχόμενη βάση

Η κατάσταση του συστήματος μόνωσης συχνά περιορίζει την χρήσιμη ζωή των τυλιγμάτων μιας στρεφόμενης μηχανής. Αυτό είναι συνάρτηση θερμικών, ηλεκτρικών, περιβαλλοντολογικών και μηχανικών παραγόντων καθώς και του τύπου της δουλειάς που κάνει η μηχανή. Παλαιότερα τα περισσότερα συστήματα μόνωσης στρεφόμενων μηχανών ήταν θερμοπλαστικού τύπου λόγω της χρήσης της ασφάλτου ή γόμας για την συγκόλληση της μαρμαρυγιανής ταινίας (ταινία από μίκα) ή των φύλλων. Τα συστήματα αυτά περιορίζονται στην θερμοκρασία του χαλκού <math><130^{\circ}\text{C}</math>. Σήμερα τα περισσότερα νέα συστήματα μόνωσης για αυτή την εφαρμογή είναι σκληρού θερμοδομικού τύπου λόγω της χρήσης πολυεστέρα ή εποξικών ρητινών που χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση (δέσιμο).

Μερικά από τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για θερμοκρασίες χαλκού  $\pm 155^{\circ}\text{C}$ . Τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με τα μοντέρνα θερμοδομικά συστήματα μόνωσης

τονίζονται καλύτερα σε σύγκριση με τα παλιότερα θερμοπλαστικά συστήματα, αν ληφθούν υπόψη οι περιστάσεις που σχετίζονται με την επανατύλιξη του στάτορα:

- Αυξημένη ισχύς στην έξοδο λόγω της χρήσης λιγότερης μόνωσης και περισσότερου χαλκού.
- Μειωμένες  $I^2R$  απώλειες και βελτιωμένη μεταφορά Θερμότητας

Μεγαλύτερες λειτουργικές θερμοκρασίες γίνονται δέκτες για αερόψυκτες μονάδες, επιτρέποντας έτσι λιγότερη ροή αέρα και μειωμένες απώλειες λόγω αντίστασης του αέρα. Όμως η σκληρές θερμοδομικές μονώσεις είναι συχνά περισσότερο ευπαθείς σε ζημιές σαν αποτέλεσμα των παρακάτω:

- Χαλάρωμα των τυλιγμάτων και σχετική δόνηση
- Μικρές δυνάμεις στα κυκλώματα
- Εσωτερική μερική εκκένωση (εκφόρτιση)
- Εξωτερική εκκένωση από σχισμές (αύλακες)
- Προτείνονται για συζήτηση στην εργασία αυτή τα παρακάτω:
- Κοινά συστήματα μόνωσης μαζί με του περιορισμούς τους
- Άλλα περιεχόμενα για αύλακες (σχισμές) όπως επιστρώσεις (επενδύσεις σφήνες και συσσωρευμένα υλικά (γομώσεις).
- Επιταχυνόμενες λειτουργικές δοκιμές γήρανσης (παλαίωσης)

- Διαγνωστικές δοκιμές σε συνθήκες on-line και κατά την διάρκεια διακοπής λειτουργίας, τονίζοντας αυτές τις μεθόδους που είναι διαδεδομένες στη Βόρεια Αμερική.

### **1.1. Θερμική Ταξινόμηση Ηλεκτρικής Μόνωσης**

Μια ποικιλία μονωτικών υλικών δημιουργούν ένα εφαρμοσμένο σύστημα μόνωσης. Μερικά συνηθισμένα μονωτικά υλικά και συστήματα που χρησιμοποιούνται στις στρεφόμενες μηχανές είναι:

Τάξη A 105°C- Βαμβάκι, μετάξι, χαρτί με βάση την κυτταρίνη, λινά (καμπρικ-είδος υφάσματος)

Τάξη B 130°C- Μίκα (μαρμαρυγία), υαλοβάμβακας, αμίαντος κ.λ.π. Τυπικά συνθετικά υλικά είναι γόμα, ασφαλτικό βερνίκι και μερικές πολυεστερικές ρητίνες.

Τάξη F 155°C- Μίκα, υαλοβάμβακα, αμίαντος κ.λ.π. Τα συνθετικά υλικά είναι συχνά εποξικές ρητίνες.

Τάξη H 180°C- Ελαστομερής σιλικόνη, μίκα, υαλοβάμβακας, αμίαντος κ.λ.π. Τα συνθετικά υλικά είναι δυνατόν να αποτελούνται από ρητίνες σιλικόνη.

Η T.E.C. Έκδοση 85 τονίζει: Στο σύστημα η θερμική λειτουργία των μονωτικών υλικών μπορεί να βελτιωθεί από τον προστατευτικό χαρακτήρα των υλικών που χρησιμοποιούνται

με αυτά. Από την άλλη πλευρά προβλήματα ασυμβατότητας μεταξύ των υλικών μπορεί να μειώσουν το κατάλληλο όριο θερμοκρασίας του συστήματος κάτω από αυτό για κάθε υλικό ανεξάρτητα. (Δηλ. το όριο θερμοκρασίας για κάθε υλικό μόνο του μπορεί να είναι μεγαλύτερο από αυτό του συστήματος λόγω ασυμβατότητας υλικών).

### **1.2. Μόνωση του νήματος (Strand) και σπείρας (πηνίου)**

Για πολλά χρόνια ο αμίαντος χρησιμοποιούταν συνήθως για την μόνωση του νήματος (καλωδίου) αλλά έχει αντικατασταθεί από πολυεστερικούς υαλοβάμβακες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω ρητινών του σταδίου Β Προκειμένου να μεγιστοποιήσουν το ποσό του χαλκού, μερικοί κατασκευαστές εναλλάσσουν τα χρωματισμένα (ντοκαρισμένα) νήματα (καλωδίου) με εκείνα που είναι μονωμένα με πολυεστερικό γυαλί. Όταν υπάρχει μόνωση της σπείρας (πηνίου) τότε χρησιμοποιείται ταινία μίκας (μαρμαρυγία). Οι μονώσεις του νήματος και της σπείρας είναι συνήθως συμπυκνωμένη και σκληροποιημένη πριν την εφαρμογή της μόνωσης του τοιχώματος (Groundwall).

Κοινά συστήματα μόνωσης του τοιχώματος (Groundwall) Καμπρικ (είδος υφάσματος) με βερνίκι (σπιλωμένο)(Τάξη A 105°C).

**1.3. Κοινά συστήματα μόνωσης του τοιχώματος (Groundwall) Κάμπρικ (είδος υφάσματος) με βερνίκι (σιλβωμένο) (Τάξη A105 °C).**

Λόγω της απουσίας της μαρμαρυγίας (μίκας) αυτό το σύστημα περιορίστηκε κάτω από τα 2300 Volts. Η μεταφορά θερμότητας είναι σχετικά φτωχή καθώς και η αντίσταση στην είσοδο της υγρασίας και του πετρελαίου.

**1.4. Γόμα - Φύλλα Μίκας (Τάξη B 130 °C)**

Σ'αυτό το σύστημα τα κομμάτια (απολεπίσεις) της μίκας είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με γόμα (Sheller) στη μορφή λεπτών φύλλων. Αυτά τα φύλλα τυλίγονται και πρεσάρονται εν θερμώ γύρω από το πηνίο. Τα τυλίγματα που βρίσκονται στο τέλος μονώνονται με ταινία ασφαλτικής μίκας (μαρμαρυγία) ή μερικές φορές μόνο σιλβωμένο Κάμπρικ. Λόγω της εξάτμισης των πτητικών στην γόμα, αυτό το σύστημα έχει ένα μεγάλο ποσοστό κενών και είναι επιδεικτικό σε ζημιά λόγω μερικής εκφόρτισης καθώς επίσης και σε μειωμένη μεταφορά θερμότητας. Το σύστημα Γόμα - φύλλο Μίκας (μαρμαρυγία) θεωρείται ένα θερμοπλαστικό σύστημα μόνωσης.

### **1.5. Ταινία Μίκας με συγκόλληση με άσφαλτο (τάξη B 130 °C)**

Όλο το πηνίο είναι μονωμένο με ταινία μίκας με συγκόλληση ασφάλτου όπου η μίκα (μαρμαρυγία) έχει την μορφή μεγάλων απολεπίσεων ή θραυσμάτων. Μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποίησαν επίσης μια ταινία από πολυεστέρα σε περιορισμένο ποσό (PET), προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί μεγαλύτερη ένταση (εφελκυσμός). Συνηθιζόταν να χρησιμοποιείται ασφαλτικό βερνίκι καθώς το πηνίο τυλιγόταν με ταινία. Προκειμένου να συμπυκνωθεί το μονωμένο πηνίο μερικοί κατασκευαστές εφαρμόζουν το στάδιο επεξεργασίας σε δεξαμενή, στο οποίο τα πτητικά απομακρύνονται με την δημιουργία κενού, ενώ στη συνέχεια η δεξαμενή γέμιζε με ζεστή άσφαλτο με ταυτόχρονη εφαρμογή πίεσης. Το σύστημα ασφάλτου μίκας είναι ένα θερμοπλαστικό σύστημα μόνωσης στο σύστημα της ταινίας κοντά στο τέλος του πυρήνα του στάτορα σαν αποτέλεσμα θερμικών κύκλων. Αυτό συμβαίνει ειδικότερα σε μερικούς μεγάλους πυρήνες στους θερμικούς εναλλάκτες. Στην περίπτωση υδρογεννητριών με προβλήματα στην εξάτμιση πετρελαίου αυξάνεται ο κίνδυνος αποχωρισμού της ταινίας.

### **1.6. Ταινία μίκας με συγκόλληση πολυεστέρα (VPI) (τάξη B 13 °C)**

Αυτό το σύστημα πρωτοεισάχθηκε στην Βόρειο Αμερική στην αρχή της δεκαετίας του 1950. Την περίοδο εκείνη χρησιμοποιούνταν μίκα (μαρμαρυγία) σε μεγάλες απολεπίσεις. Με το πέρασμα του χρόνου όμως βρέθηκε ότι καλύτερο αποτέλεσμα σχετικά με τον παράγοντα αποχωρισμού των άκρων της ταινίας, μπορούσαν να επιτευχθούν με την χρήση χαρτοταινίας μίκας αμέσως πάνω στο νήμα (ίνες του καλωδίου-Stand). Η πολυεστερική ρητίνη εφαρμόστηκε (εισήχθηκε) μέσω κενού/διάχυσης πίεσης. Τα πηνία ή οι μπάρες τοποθετούνται σε ένα κλειστό δοχείο και εφαρμόζεται κενό αέρος προκειμένου να στεγνώσουν (να φύγει η υγρασία). Στην συνέχεια το δοχείο (δεξαμενή) γεμίζει με πολυεστερική ρητίνη και εφαρμόζεται πίεση προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή διαπότιση. Κατόπιν τα πηνία απομακρύνονται από το δοχείο και τοποθετούνται σε πρότυπες γωνίες. Θερμαινόμενες πρέσες χρησιμοποιούνται για να σκληρύνουν στις σχισμές. Στην περίπτωση των ακραίων μπράτσων (βραχιόνων) χρησιμοποιούνται νάρθηκες μέσω ταινίας συρρίκνωσης ενώ προκειμένου να σκληρυνθούν οι ρητίνες χρησιμοποιούνται θερμαστές.



***Ταινία μίκας με συγκόλληση ρητινών [VPI] (Τάξη F 155 °C)***

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ταινία μίκας, η ρητίνη διαπτοίζεται και σκληραίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως η πολυεστερική μίκα, με τη διαφορά ότι η πολυεστερική ρητίνη αντικαθίσταται από μια κατάλληλη εποξική ρητίνη. Καθώς αυτές οι ρητίνες (εποξικές) έχουν συχνά ανώτερα χαρακτηριστικά συγκόλλησης σε σύγκριση με τους πολυεστέρες, το τοίχωμα (Groudwall) είναι λιγότερο επιδεικτικό σε αποτελεσματοποίηση.

***Global VPI (Παγκόσμιο, Συνολικό VPI)***

Για αυτό το σύστημα τα μονωμένα αλλά χωρίς ρητίνες πηνία του στάτορα ή μπάρες εγκαθίστανται στον πυρήνα του στάτορα και συνδέονται, και στερεώνονται στα άκρα του βραχίονα. Ο συναρμολογημένος στάτορας στη συνέχεια βυθίζεται στο δοχείο VPI για διαπότιση με ρητίνες.

***1.7. Ταινία μίκας με συγκόλληση ρητινών [πλούσια σε Ρητίνες] (Ταξη F 155 °C)***

Αυτό το σύστημα συνεπάγεται ένα σχηματισμό χαρτιού μίκας στο οποίο τα μικρά κομμάτια μίκας αποτίθενται σε ταινία υαλοβάμβακα. Κατά την διάρκεια της κατασκευής της ταινίας εφαρμόζεται μια υποξική ρητίνη (B στάδιο) όχι σκληροποιημένη. Αφού τα πηνία ή οι μπάρες έχουν μονωθεί, η ρητίνη του B σταδίου σκληραίνεται κάτω από συνθήκες ανυψωμένης θερμοκρασίας και πίεσης. Η πιο απλή

προσέγγιση για σκλήρυνση των ρητινών συνεπάγεται την χρήση θερμαινόμενων πρεσσών. Όμως, ικανοποιητικά αποτελέσματα απαιτούν την εφαρμογή θερμοκρασίας και πίεσης σε ελεγχόμενη κατάσταση. Μια περισσότερο πολύπλοκη διαδικασία προτιμείται από κατασκευαστές που επιθυμούν να παράγουν ένα τοίχωμα (Groudwall) χωρίς κενά, πόρους, κατάλληλο για λειτουργία σε ψηλή διηλεκτρική τάση. Αυτό συνεπάγεται ένα αρχικό στάδιο σε κλειστό δοχείο με την δημιουργία κενού αφού φύγει η υγρασία. Στην συνέχεια οι μπάρες του στάτορα,, που εγκλείονται σε καλούπια (πρότυπες γωνίες) σκληραίνουν την μόνωση του τοιχώματος (Groudwall) υπό πίεση σε ανυψωμένη θερμοκρασία. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ζεστής ασφάλτου σε κλειστό δοχείο σε συνθήκες πλήρους κενού, που ακολουθείται από την εφαρμογή πίεσης. Η θερμοκρασία της ασφάλτου, η περίοδος του χρόνου που ακολουθεί την εισαγωγή της και την εφαρμογή της πίεσης είναι σημαντικές (οριακές) στο να επιτευχθεί ένα τοίχωμα (Groudwall) χωρίς κενά και καλά συνδεδεμένο (με ισχυρούς δεσμούς).

### **1.8. Ελαστικό σιλικόνης (Τάξη H 180 °C)**

Το ελαστικό σιλικόνης είναι ένα υλικό κατάλληλο για χρήση σε ψηλές θερμοκρασίες. Όταν χρησιμοποιείται σαν μόνωση του τοιχώματος (Groudwall) ενός πηνίου κάποιου στάτορα η ταινία έχει συνήθως μια επίστρωση (φοδράρισμα) υαλοβάμβακα.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμη μίκα η χρήση του παραπάνω υλικού για μόνωση του τοιχώματος (Groundwall) περιορίζεται στα 4KV και σε χαμηλότερες τάσεις. Το ελαστικό σιλικόνης μπορεί να είναι ευπαθές σε περίπτωση μηχανικής βλάβης (ζημιάς)

### **1.9. Επίχρισμα με βερνίκι (στίλβωση) & Ψήσιμο σε κλίβανο (Τάξη B & Τάξη F)**

Ειδικά στις τάσεις των 4 KV ή χαμηλότερες και για μικρού μεγέθους στάτορες όπως μοτέρ (κινητήρες) εφαρμόζεται αυτή η διαδικασία του επιχρίσματος με βερνίκι (βούτηγμα σε βερνίκι) και ψήσιμο - στέγνωμα στο φούρνο. Στην περίπτωση αυτή τα πηνία του στάτορα είναι μονωμένα με πλήρως σκληρή μονωτική ταινία ενώ ακολουθούν εκείνα τα οποία είναι εγκατεστημένα στον πυρήνα του τώρα και είναι συνδεδεμένα μαζί με όλες τις ενισχύσεις και τα δεσίματα. Στην συνέχεια όλος ο στάτορας εμβαπτίζεται σε κατάλληλα μονωτικό βερνίκι ενώ ακολουθεί τοποθέτηση και ψήσιμο στο φούρνο για να απομακρυνθούν όλα τα πτητικά συστατικά.

### **1.10. Τυπική Διηλεκτρική Τάση**

Οι παρακάτω τιμές είναι τυπικές τιμές διηλεκτρικής τάσης της μόνωσης του τοιχώματος των υδρο-γεννητριών σε τάση λειτουργίας:

Σύστημα μόνωσης	Αναλογία KV	Ημερομηνία εγκατάστασης	Διηλεκτρική Τάση KV/mm
Ασφαλτος μίκα	11	1923	1,1
Ασφαλτος-μίκα	11	1931	1,4
Ασφαλτος-μίκα	13,8	1951	1,5
Ασφαλτος-μίκα	13,8	1964	1,3
Επ. Ρητίνη-μίκα	13,8	1968	2,3
Πολυεστέρ-μίκα	13,8	1970	2,0
Επ. Ρητίνη-μίκα	13,8	1977	2,5
Επ. Ρητίνη-μίκα	13,8	1989	2,4

### **1.11. Ταινίες θωράκισης και επιχρίσματα**

Είναι συνηθισμένο αλλά χωρίς να αποτελεί παγκόσμια πρακτική να προμηθεύσουμε τα πηνία του στάτορα και τις μπάρες με ταινία θωράκισης στο τμήμα των σχισμών. Αυτή η ταινία εξυπηρετεί στο να προστατεύει την μόνωση του τοιχώματος (groundwall) από φυσικές ζημιές και να παρέχει ένα βαθμό ελέγχου του μεγέθους.

Η χρησιμοποίηση αναδιπλωμένης ταινίας θωράκισης από αμίαντο έχει γενικά σταματήσει υπέρ της ταινίας υαλοβάμβακα (δηλ. χρησιμοποιείται ταινία, υαλοβάμβακα αντί της άλλης ταινίας).

Στην περίπτωση υψηλής τάσης πηνίων και μπαρών του στάτορα, μια ημι-αγώγιμη επικάλυψη (επιχρίσμα) χρησιμοποιείται στην επιφάνεια του τμήματος των σχισμών. Συχνά αυτό παίρνει την μορφή ενός γραφικού σχηματισμού. Αυτό το ημιαγώγιμο στρώμα μπορεί να είναι πιο ανθεκτικό σε περίπτωση που η ταινία θωράκισης είναι διαβρεγμένη (εμποτισμένη) με γραφικό υλικό.

Με την εμφάνιση των θερμοδομικών συστημάτων μόνωσης υπήρξε η τάση προς μεγαλύτερη διηλεκτρική τάση στο τοίχωμα (groudwall). Χωρίς κάποια μορφή ελέγχου της τάσης στα άκρα της σχισμής, θα μπορούσαν να υπάρχουν προβλήματα διάβρωσης της μόνωσης στα άκρα της σχισμής (slot), εξαιτίας της συνεχόμενης μερικής εκφόρτισης, του υπερβολικού όζοντος και της δυσκολίας στις δοκιμές υψηλών τάσεων στα 60Hz.

Ένα συνηθισμένο μέσο ελέγχου της τάσης στα άκρα του πηνίου ή της μπάρας έχει την μορφή επικάλυψης (επίστρωσης) πυριτικού καρβιδίου. Αυτό το υλικό έχει μια αντίσταση η οποία μειώνεται εκθετικά με την αύξηση της τάσης. Μερικά επιχρίσματα (επιστρώσεις) αυτού του τύπου δεν έχουν αποδειχτεί πολύ ανθεκτικά, ειδικότερα κατά την διάρκεια επιταχυνόμενων δοκιμών. Ένα πρόβλημα που συναντάμε συνήθως είναι η διάβρωση στην κοινή επιφάνεια μεταξύ του πυριτικού καρβιδίου και του ημιαγώγιμου επιχρίσματος της σχισμής. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα μερικοί κατασκευαστές έχουν υιοθετήσει βελτιωμένους σχηματισμούς

πυριτικού καρβιδίου συχνά μαζί με μία ταινία η οποία είναι εμποτισμένη με πυριτικό καρβίδιο.

Για μπάρες και πηνία του στάτορα αναλογίας 13.8KV το υλικό πυριτικού καρβιδίου που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της τάσης εφαρμόζεται στα πρώτα 100 χιλιοστά ή 125 χιλιοστά στα άκρα βραχίονα αμέσως κοντά στην σχισμή. Ένα εναλλακτικό σύστημα ελέγχου της τάσης έχει σχέση με την χρησιμοποίηση επίστρωσης οξειδίου του σιδήρου, και αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε ολόκληρο το άκρο του βραχίονα της μπάρας ή του πηνίου.

#### **1.12. Πλευρική γόμωση και επισφήνωση**

Ειδικά για σκληρά θερμοδομικά συστήματα μόνωσης έχει βρεθεί ότι οι τεχνικές εγκαταστάσεις των πηνίων και των μπαρών του στάτορα είναι καθοριστικής σημασίας εάν πρόκειται να βελτιωθούν οι πιθανότητες για μια αποδεκτή ζώνη λειτουργίας. Μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν ημιαγώγιμη πλευρική γόμωση μεταξύ της μπάρας ή του πηνίου του στάτορα και της σχισμής εγκατεστημένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε ένας μετρητής διακένου των 0,05 χιλ. τοποθετημένος σε όλο το βάθος της μπάρας, να μην μπορεί να μετακινηθεί περισσότερο από 100 χιλιοστά κατά μήκος της σχισμής.

Τουλάχιστον ένας κατασκευαστής χρησιμοποιεί επίχρισμα ημιαγώγιμη RTV στις πλευρές της μπάρας ή του πηνίου στο

εφαρμογή μέσα στη σχισμή. Για υδρογονόψυκτες μηχανές υψηλής ταχύτητας, χρησιμο-ποιούνται συνήθως ηλεκτρικά κυματιστά ελατήρια. Για τα θερμοπλαστικά συστήματα μόνωσης ένα μόνο κομμάτι σφήνας, ή μερικές φορές μια σχισμένη σφήνα βρέθηκε ότι είναι αποδεκτή. Κοινά υλικά ήταν το ξύλο όπως το ξύλο σφενδάμνου ή ελάσματα με δομή που συνίσταται από δεσμούς φαινόλης. Στην περίπτωση θερμοδομικών μονώσεων ένα σύστημα επισφήνωσης που ακολουθεί την ακτινική κατεύθυνση έχει βρεθεί να είναι επιθυμητό έτσι ώστε να εμποδιστεί χαλάρωση των περιεχομένων της σχισμής. Τυπικά υλικά σφήνας κατασκευάζονται από υαλοβάμβακα με δεσμούς ρητινών έχοντας μια αναλογία της κατηγορίας (τάξης) F. Τα συστήματα επισφήνωσης συμπεριλαμβάνουν και εκείνα με κωνικούς σφικτήρες/ή ακτινοειδή κυματιστά ελατήρια.

### **1.13. Μηχανισμοί αποσύνδεσης**

Η IEC έκδοση 505[4] εντοπίζει τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια ζωής της μόνωσης: α).Θερμικούς β).ηλεκτρικούς γ). Περιβαλλοντολογικούς δ). μηχανικούς συν την ε). λειτουργία και : στ) τον τρόπο λειτουργίας (ισχύς μηχανή, απόδοση).

### α). Θερμικοί (παράγοντες)

Καθώς τα οργανικά υλικά σχηματίζουν ένα κύριο μέρος των συστημάτων μόνωσης περιστρεφόμενων μηχανών, οι θερμικοί παράγοντες επηρεάζουν την γήρανση. Ο Dakin πρότεινε την χρήση της σχέσης του Arrhenius προκειμένου να εκφράσει την γήρανση λόγω της θερμικής τάσης:

Ζωή (Life L) =  $A \exp[B/T]$  όπου T είναι η θερμοκρασία και A και B είναι σταθερές. Μια προσέγγιση που χρησιμοποιείται συχνά για το σύστημα μόνωσης της τάξης B θεωρεί ότι η ζωή σε τάση λειτουργίας και RTD θερμοκρασία των 100°C αναμένεται να είναι περίπου η μισή αυτής στους 90°C.

### β). Ηλεκτρικοί (παράγοντες)

Η ηλεκτρική αποσύνδεση μπορεί να πάρει τη μορφή μερικής δραστηριότητας εκφόρτισης εσωτερικά της μόνωσης γειτονικά (πολύ κοντά) στον αγωγό ή στο κύριο μέρος του τοιχώματος (groundwall). Στην τάση λειτουργίας αυτό μπορεί να γίνει πολύ σοβαρό εάν χαλαρώσουν τα νήματα (ίνες) του αγωγού. Μερική δραστηριότητα εκφόρτισης στην εξωτερική επιφάνεια της μόνωσης μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή ένταση εκφόρτισης της σχισμής η οποία μπορεί γρήγορα να διαβρώσει το τοίχωμα (groundwall) των μπαρών του στάτορα που είναι μονωμένες με θερμοδομικά υλικά και επιταχύνεται από ηλεκτρομηχανικές δυνάμεις καθώς η μπάρα χαλαρώνει μέσα στην σχισμή.



Μερική δραστηριότητα εκφόρτισης στις ακραίες περιοχές του βραχίονα συχνά απειλεί λιγότερο την διάρκεια ζωής παρ'όλο που καταστρέφει τα επιφανειακά επιχρίσματα (επιστρώσεις) και παράγει όζον. Περιστασιακά παρατηρούνται ρήγματα φάση σε φάση στο τέλος της περιοχής τύλιξης λόγω της χρήσης ακατάλληλων μονωτικών υλικών.

#### **γ). Περιβαλλοντολογικοί (παράγοντες)**

Μηχανές όπως υδρογεννήτριες και μοτέρ συχνά είναι εκτεθειμένες στην υγρασία, το πετρέλαιο και τη βρωμιά. Η υγρασία μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνη στην περίπτωση θερμοπλαστικών συστημάτων μόνωσης και μερικών πολυεστερικών συστημάτων τα οποία μπορεί να είναι επιρρεπή σε ρωγμές και σχισμές κοντά στα άκρα των τμημάτων της σχισμής.

Το πετρέλαιο διαλύει τα υλικά με δεσμούς ασφάλτου και μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό ρωγμών. Ο συνδυασμός πετρελαίου και ακαθαρσιών (βρωμιάς) στις ανοικτές μηχανές συχνά μπλοκάρει τους αγωγούς εξαερισμού και μπορεί να προκαλέσει οξεία υπερθέρμανση.

#### **δ). Μηχανικοί παράγοντες**

Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας τα πηνία και οι μπάρες του στάτορα εκτίθενται σε ηλεκτρομηχανικές δυνάμεις

που μπορούν να καταλήξουν σε διάβρωση των υλικών μόνωσης λόγω της δόνησης εάν τα περιεχόμενα της σχισμής (slot) δεν είναι σφιγμένα.

Σε συνθήκες βραχυκυκλώματος μπορεί να υπάρχουν δυνατές ηλεκτρομηχανικές δυνάμεις που μπορούν να οδηγήσουν σε δημιουργία ρωγμών των άκρων στις μπάρες του στάτορα, ή στην στρέβλωση του δακτυλίου του κυκλώματος. Όταν έχουν δημιουργήσει εσωτερικά ρήγματα φάσης σε φάση, υπήρξαν περιπτώσεις όπου οι πλευρικές μπάρες του στάτορα έχουν προωθηθεί μέσω των σφηνών μέσα στο κενό αέρος (στις πλευρές).

#### **ε). Λειτουργία**

Η επί σκοπό λειτουργία μπορεί να καθοριστεί από λειτουργικές δοκιμές ή από διαθέσιμη λειτουργική εμπειρία.

#### **στ). (Τρόπος Λειτουργίας) Ισχύς μηχανής, απόδοση-Duty**

Ο τρόπος λειτουργίας μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ζωή λειτουργίας. Αυτό ισχύει ειδικότερα όταν η μηχανή εκτίθεται σε συχνούς κύκλους εκφόρτισης. Στην περίπτωση μόνωσης του τοιχώματος (groundwall), η αναλική φόρτιση μπορεί να συνεισφέρει στην αποτελεσματοποίηση της, καταλήγοντας σε μια δραστηριότητα συγκεκριμένη εσωτερική μερικής εκφόρτισης και μειωμένης μετάδοσης θερμότητας. Στην περίπτωση

επαγωγικών μηχανών, η συχνότητα κατά πλάτος της γραμμής μπορεί να επιδράσει στα τελειώματα και τυλίγματα του στάτορα.

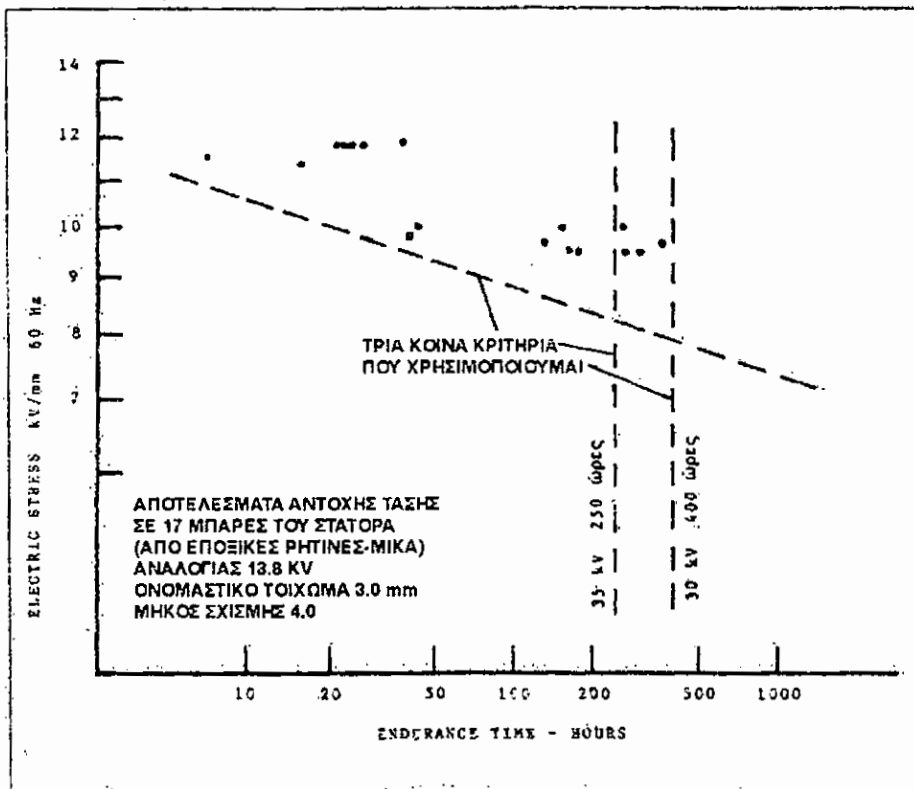
#### **1.14. Επιταχυνόμενη δοκιμή γήρανσης**

Οι κατασκευαστές των πηνίων και των μπαρών του στάτορα χρησιμοποιούν επιταχυνόμενα τεστ γήρανσης προκειμένου να παρέχουν την βεβαιότητα ότι η νέα παραγωγή ανταποκρίνεται στις προσδοκίες και για να αξιολογήσουν καινούρια υλικά και αλλαγές στον τρόπο επεξεργασίας.

Οι αγοραστές των πηνίων και των μπαρών του στάτορα προσδιορίζουν τις επιταχυνόμενες δοκιμές γήρανσης σαν αντικειμενικό τρόπο εκτίμησης της ποιότητας και με την πίστη ότι η παραγωγή η οποία ανταποκρίνεται στις προσδιορισμένες με λεπτομέρεια απαιτήσεις, θα έχει μία αποδεκτή ζωή λειτουργίας (διάρκεια ζωής).

Για πολλά χρόνια οι διάφορες χρήσεις έχουν προσδιορίσει τις απαιτήσεις αντοχής της τάσης για τα πηνία και τις μπάρες του στάτορα. Η μέθοδος δοκιμής (test method) έχει καθοριστεί στα στάνταρντς της IEEE 1043-1989 για μηχανές που έχουν ονομαστικές τάσεις με εύρος τιμών από 6,9 έως 26 KV. Στο συμβόλαιο μεταξύ του κατασκευαστή και του αγοραστή πρέπει να προσδιορίζονται διάφορες απαιτήσεις όπως τάση δοκιμής, θερμοκρασία και ο μικρότερος αποδεκτός χρόνος αντοχής. Η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή κατά την διάρκεια της

δοκιμής και συχνά είναι στο εύρος τιμών μεταξύ 90°C και 120°C. Θερμαινόμενες πλάκες οι οποίες είναι προσαρμοσμένες στο τμήμα της σχισμής (slot section) χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό. Στην περίπτωση των 13.8 KV οι συνηθισμένες τάσεις και οι χρόνοι αντοχής είναι: 35KV για 250 ώρες ή 30KV για 400 ώρες (Εικ.1)



Σχ.1.

Σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας για τον χρόνο αντοχής σε ώρες ισχύει το μοντέλο αντίστροφου ισχύος (inverse power model):  $L(\text{ώρες}) = KE^{-n}$  όπου  $E$  είναι η Δεδιακή ένταση KV/mm και  $K$  και  $n$  είναι σταθερές. Όταν οι χρόνοι αντοχής

παριστάνονται σε γραφική παράσταση (πλοτάρονται) έναντι του εύρους των τιμών της  $E$  σε λογαριθμικό χαρτί (log-log) είναι πιθανόν να έχουμε μια ευθεία γραμμή μεταξύ των σημείων.

Ενα άλλο επιταχυνόμενο τεστ (δοκιμή) γήρανσης είναι το τεστ θερμικού κύκλου. Στην περίπτωση αυτή ο χάλκινος αγωγός θερμαίνεται είτε μεναλλασσόμενο είτε με συνεχές ρεύμα μέχρι ο χαλκός να φτάσει στο προδιαγραφόμενο μέγιστο, το οποίο είναι συνήθως όχι περισσότερο από την κατηγορία (τάξη) θερμοκρασίας του συστήματος μόνωσης.

Στην συνέχεια ψύχεται η επιφάνεια του πηνίου ή της μπάρας του στάτορα, με αέρα, μέχρι ο χαλκός να έχει θερμοκρασία δωματίου, και σε αυτό το σημείο ένας καινούργιος κύκλος θέρμανσης αρχίζει. Η διαδικασία μπορεί να συνεχιστεί μέχρις ότου να έχουν συμπληρωθεί και 500 θερμοκοί κύκλοι. Οι χρόνοι θέρμανσης και ψύξης τυπικά κυμαίνονται από 30 σε 50 λεπτά για κάθε κατάσταση. Η τεχνική που σε γενικές γραμμές εφαρμόστηκε στην Β. Αμερική συνεπάγεται στο να έχουμε το πηνίο ή την μπάρα του στάτορα χωρίς στήριξη κατά την διάρκεια της δοκιμής, αφού ο σκοπός είναι να καθορίσουμε εάν η μόνωση του πηνίου ή της μπάρας έχει αποτελεσματοποιηθεί, παρά στο να εκτιμήσουμε όλα τα περιεχόμενα της σχισμής. Μια ομάδα εργασίας της IEEE αναπτύσσει αυτό τον καιρό σάνταρ οδηγίες για αυτή την μέθοδο δοκιμής. Κοινή πρακτική είναι να τοποθετούνται τα πηνία και οι μπάρες του στάτορα σε αντοχή τάσης και να

ακολουθεί η αποπεράτωση της δοκιμής θερμικού κύκλου (Thermal cycletest).

Μερικοί χρήστες ελέγχουν την πρόοδο της αντοχής τάσης και τις δοκιμές θερμικών κύκλων με διαγνωστικές μετρήσεις, όπως απώλειας - παράγοντας tip-up και μερικής εκφόρτισης.

Συνήθως είναι απαραίτητη η προφύλαξη του επιχρίσματος προκειμένου να βελτιωθεί η χρησιμότητα των μετρήσεων σχετικά με τον παράγοντα απώλειας.

Στην κατάσταση της μη γήρανσης, ο παράγοντας απώλειας και το tip-up είναι πρώτα μια ένδειξη για την καταλληλότητα της σκληρότητας της ρητίνης των ειδικών συστημάτων μόνωσης. Έχουν γίνει μερικές εργασίες όπου χρησιμοποιήθηκε ανάλυση του ύψους του ρυθμού μερικής εκφόρτισης για μπάρες του στάτορα, μονωμένες με χαρτί από εποξικές ρητίνες και μίκα, για να εντοπίσουμε ομάδες από μπάρες που είναι πιθανόν να συμπεριλαμβάνουν εκείνες τις οποίες θα έχουν μικρότερους χρόνους αστοχίας στην αντοχή τάσης.

Καθώς ο αντικειμενικός στόχος είναι η μέτρηση της μερικής εκφόρτισης που συνδέεται με τα εσωτερικά κενά και τις ατέλειες, μπορεί να φανεί χρήσιμη, η χρησιμοποίηση συστημάτων ανίχνευσης που έχουν συγκεκριμένο εύρος ταινίας και συγκεκριμένες ικανότητες ρυθμικής φάσης.

Στην περίπτωση όπου τα πηνία και οι μπάρες του στάτορα υπόκεινται σε δοκιμή θερμικού κύκλου, χρησιμοποιούνται μετρήσεις διαστάσεων και μόνωση με το χέρι έτσι ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές αποτελεσματοποίησης (φθοράς).

### **1.15. Επιθεωρήσεις (Ελέγχου) και Διαγνωστικές Δοκιμές κατά την διάρκεια διακοπών λειτουργίας.**

#### **Οπτικός Έλεγχος**

Ο οπτικός έλεγχος της άκρης των τυλιγμάτων και του τέλους των σχισμών είναι πολύ χρήσιμος για την ανίχνευση πολλών τύπων αποσύνθεσης (φθοράς) και φυσικών κινδύνων.

Συμπεριλαμβάνονται χαλαρά δεσίματα, δραστηριότητα μερικής εκφόρτισης στα άκρα των βραχιόνων και στις επιστρώσεις χρωμάτων (στιλβώσεις), και χαλαρές ή ανυψωμένες σφήνες σχισμών καθώς και υλικά που έχουν πέσει μέσα στις σχισμές (γομώσεις). Μετά τον οπτικό έλεγχο στην περίπτωση των τυλιγμάτων θερμοδομικού στάτορα χρησιμοποιούνται μετρητές διάκενων για να ελέγχουν την ορθότητα της σωστής τοποθέτησης (στον πυθμένα) των μπαρών του στάτορα μέσα στην σχισμή, καθώς επίσης και την απουσία σημαντικού πλευρικού διακένου.

Ελεγχοι με τη χρήση επιλεκτικού βολτόμετρου στους αεραγωγούς μπορεί να αποβούν χρήσιμοι στην διαπίστωση ότι η ημι-αγώγιμη επίστρωση (βερνίκι) που έχουν οι μπάρες δεν έχει καταστραφεί και είναι σε καλή κατάσταση.

Όταν μετακινούνται οι πόλοι ή ολόκληρος ο ρότορας μπορούμε συνήθως να ελέγξουμε εάν οι σφήνες είναι σφιγμένες. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας ένα μικρό σφυρί με μπάλα. Αρκετοί

κατασκευαστές έχουν κατασκευάσει συσκευές που δίνουν μια πιο αντικειμενική εκτίμηση για το σφίξιμο των σφηνών.

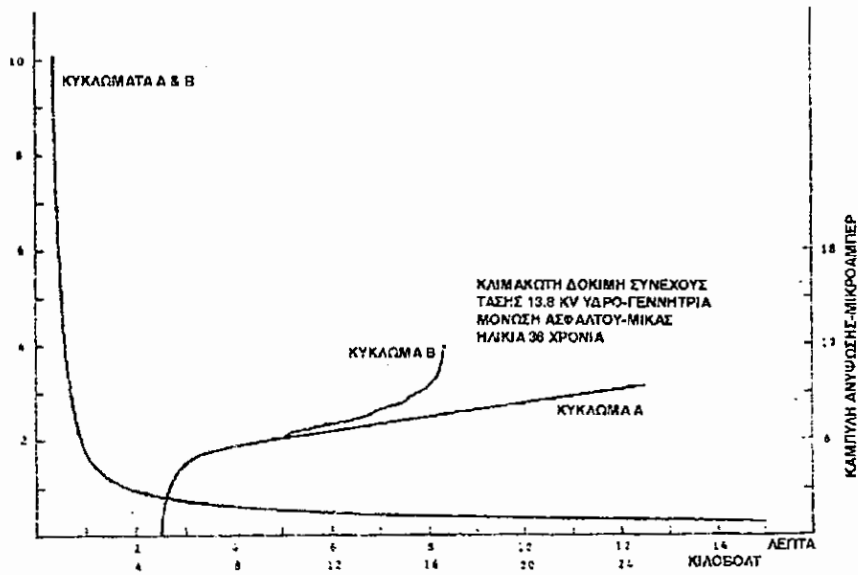
### **1.16. Αντίσταση της Μόνωσης και Δείκτης Πολικότητας.**

Σαν αντίσταση της μόνωσης έχει οριστεί στην Β. Αμερική η τιμή εκείνη αφότου απ'ευθείας τάση αρνητική πολικότητας έχει εφαρμοστεί σε ένα τύλιγμα για ένα λεπτό. Η δοκιμή βρίσκεται συνήθως στο εύρος τιμών από 500 σε 1000 V. Χρήσιμη είναι η ανίχνευση υγρής μόνωσης καθώς και απανθρακωμένων διαδρομών διαρροής στην θερμοπλαστική μόνωση και σε μερικά συστήματα από πολυεστέρα τα οποία έχουν υποστεί ζημιές στην ταινία (αποκόλληση ταινίας). Η τιμή που μετριέται εξαρτάται πάρα πολύ από την θερμοκρασία και είναι επίσης συνάρτηση του όγκου της μόνωσης που υπόκεινται στην δοκιμή. Η χρήση αυτής της δοκιμής έχει τις ρίζες της στις αρχές του 1900. Ο Δείκτης πολικότητας ορίζεται σαν τον λόγο της αντίστασης της μόνωσης σε 10 λεπτά, προς την αντίσταση της μόνωσης σε 1 λεπτό. Ενας χαμηλός δείκτης πολικότητας P/ είναι ενδεικτικός των ίδιων αποκλίσεων που συζητήθηκαν για την αντίσταση της μόνωσης, αλλά η τιμή του δείκτη πολικότητας P/ επηρεάζεται λίγο από την θερμοκρασία ή τις διαστάσεις του συστήματος μόνωσης.



### **1.17. Κλιμακωτή Δοκιμή με συνεχή Τάση**

Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 άρχισε η δημοσίευση εργασιών σχετικά με την χρήση δοκιμών συνεχούς τάσης για τον έλεγχο της αλλαγής στην φαινόμενη αντίσταση της μόνωσης του τοιχώματος (Groundwall) καθώς η τάση κατά την διάρκεια της δοκιμής αυξάνεται κατά βήματα (κλιμακωτά). Τόσο ο Comeron όσο και ο Hill ανέφεραν επιτυχία στην χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου στην ανίχνευση μη καταστροφικών ρωγμών και διαρρήξεων στην μόνωση του τοιχώματος. Αυτά τα ελαττώματα ήταν συχνά πολύ κοντά στα άκρα της σχισμής. Ο Schief αναμόρφωσε αυτήν την μέθοδο προκειμένου να μειώσει το χρόνο της δοκιμής, ελαχιστοποιώντας, εν τω μεταξύ, το αποτέλεσμα λόγω του απορροφώμενου ρεύματος. Μια επιπλέον βελτίωση προτάθηκε από τον Mc Henry η οποία συνεπάγεται την ανύψωση της τάσης της δοκιμής σε μια συνεχή κλιμακωτή συνάρτηση όπου το ρεύμα πλοτάρεται έναντι της τάσης δοκιμής σ'ένα σύστημα αξόνων X-Y. Αυτή η τελευταία μέθοδος βελτιώνει την ευαισθησία στα ελαττώματα και είναι περισσότερο επαναλήψιμη. Η δοκιμή αυτή (κλιμακωτή δοκιμή συνεχούς τάσης) είναι πρωτεύουσας σημασίας για την δοκιμή θερμοπλαστικών και πολυεστερικών συστημάτων μόνωσης (Εικ. 2).



Σχ.2

### 1.18. Απώλεια (Διασπορά - Διάχυση) - Παράγοντας TIP - UP.

Στην δεκαετία του 1950 έγινε επίσης αντιληπτό ότι άξιζε τον κόπο να γίνονται μετρήσεις κάτω από συνθήκες εναλλασσόμενου δυναμικού (τάσης) για να καθοριστεί η δραστηριότητα μερικής εκφόρτισης που μπορεί να συμβαίνει κάτω από κανονική τάση λειτουργίας. Σε εργασία που δημοσιεύτηκε από τους Findlay, Brearley και Louttit βρέθηκε ότι οι μετρήσεις απωλειών (διαρροών)-παράγοντα Tip-up (παράγοντας ισχύος) ήταν εξαιρετικά κατάλληλες για την εκτίμηση της δραστηριότητας μερικής εσωτερικής εκφόρτισης σε μονά και θερμοπλαστικά μονωμένα πηνία του στάτορα.

Όμως λόγω της μέσης τιμής στην μέθοδο tip-up ( $\Delta$  tend) δείχτηκε ότι για εγκατεστημένα τυλίγματα η μέτρηση είναι πιο αποτελεσματική όταν περιορίζεται σε απλά πηνία (μονά πηνία) κοντά ή στο τέλος της γραμμής των κυκλωμάτων του στάτορα.

### **1.19. Ολοκληρωμένη Ενέργεια Εκφόρτισης**

Το 1959 ο Dakin πρότεινε την αύξηση στην ηλεκτροχωρητικότητα καθώς ανυψώνεται η τάση, σαν μέτρο της δραστηριότητας μερικής εκφόρτισης στην μόνωση του στάτορα γεννήτριας. Η γέφυρα του κυκλώματος της ηλεκτροχωρητικότητας ολοκληρώνει την μεταφορά φορτίου ανά κύκλο, η οποία αποδίδεται στην δραστηριότητα μερικής εκφόρτισης. Αυτή η δοκιμή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην Σουηδία και στο Ηνωμένο Βασίλειο (Μ.Βρετανία). Έχει περίπου τους ίδιους περιορισμούς όπως και η δοκιμή απώλειας παράγοντα tip-up (που αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο).

### **1.20. Ηλεκτρομαγνητική διάταξη**

Προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα της αποσύνδεσης μονών πηνίων για να γίνουν οι περιοδικές δοκιμές tip-up, το 1968 οι Dakin, Works και Johnson πρότειναν την χρήση μιας ηλεκτρομαγνητικής διάταξης στα 5 MHz, σε συνδυασμό με ένα θερμόμετρο ακτινοβολίας για την ανίχνευση (εντοπισμό) της

μερικής εκφόρτισης που σχετίζεται με τα πηνία και τις μπάρες στις σχισμές του στάτορα. Κατά την εφαρμογή αυτή η διάταξη με πυρήνα σιδήρου, τοποθετείται στο κενό αέρος απέναντι σε κάθε σχισμή κάθε φορά, ενώ εφαρμόζεται στο τύλιγμα κλιμακωτή τάση από την γραμμή - στο - έδαφος (ή ίσως κάπως λιγότερη) από μια ξεχωριστή παροχή. Το 1970, ο Smith [22] από το TVA δημοσίευσε το σχεδιασμό ενός "Peak-pulse meter" (συσκευή που μετράει την μέγιστη τιμή του σήματος), με καθορισμένες διαστάσεις, που στην συνέχεια υιοθετήθηκε από πολλούς χρήστες για το ρόλο του ανιχνευτή στην θέση του θερμομέτρου ακτινοβολίας (radio noise meter ή ραδιόμετρο θορύβου). Έχει επίσης αναφερθεί καλός συσχετισμός μεταξύ των μετρήσεων με την διάταξη TVA χρησιμοποιώντας το Peak-pulse meter (συσκευή μέτρησης μέγιστης τιμής σήματος) και των δοκιμών tip-up για μονά (απλά) πηνία για θερμοπλαστικά συστήματα μόνωσης σε περιπτώσεις όπου η αιτία της μερικής εκφόρτισης είναι τα εσωτερικά κενά.

Η διάταξη καθώς και η συσκευή μέτρησης της μέγιστης τιμής σήματος (Peak-pulse meter) έχουν επίσης αποδειχτεί χρήσιμες για τον εντοπισμό εκφόρτισης στις σχισμές καθώς και άλλων αιτίων (πηγών) εκφόρτισης στα θερμοδομικά συστήματα μόνωσης. Πρόσφατες εργασίες για περαιτέρω ανάπτυξη αυτής της μεθόδου έχουν δημοσιευτεί από τον Timperley. (Εικ. 3).

Έχει γίνει γνωστό ότι η ηλεκτρομαγνητική διάταξη στα 5 MHz δεν είναι το καλύτερο μέσο εντοπισμού της πραγματικής αιτίας της δραστηριότητας μερικής εκφόρτισης. Μια διάταξη

εντοπισμού - εκφόρτισης προτάθηκε το 1989 από τους Sedding και Stone αλλά αυτή η συσκευή δεν έχει εμποροποιηθεί. Μπορεί να υπάρχουν περιορισμοί στην χρήση της όταν οι πόλοι ή όλος ο ρότορας έχουν μετακινηθεί.

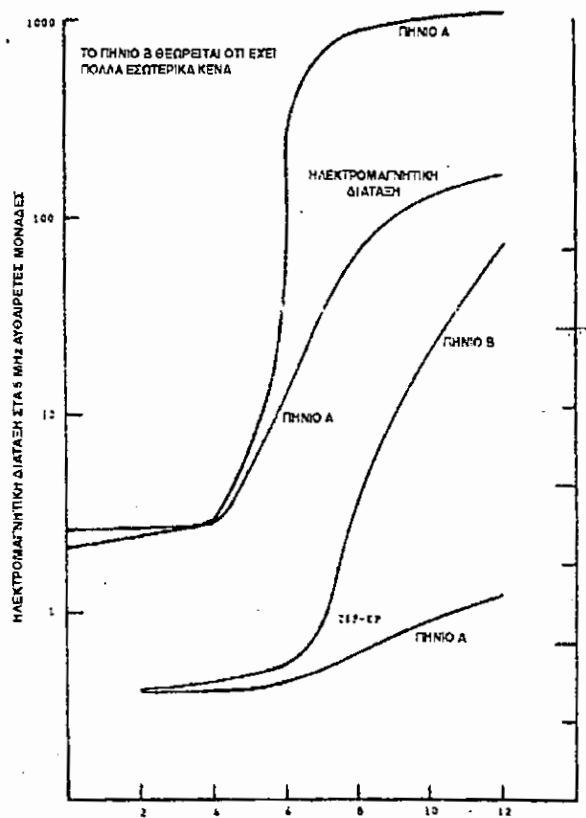
### **1.21. On-line έλεγχος της Μερικής εκφόρτισης**

Η εμπειρία στις αρχές της δεκαετίας του 1970 σχετικά με εκφόρτιση στις σχισμές αρκετά μεγάλης έντασης και σχετικά με την χαλάρωση στις μπάρες του στάτορα, έδειξε ότι το τοίχωμα (Ground wall) των μπάρων του στάτορα μονωμένο με θερμοδομικά υλικά μπορεί να διαβρωθεί πολύ γρήγορα. Οι συχνές μετρήσεις μερικής εκφόρτισης ήταν ένα μέσο παρακολούθησης (ανίχνευσης) αυτής της κατάστασης και μερικές μετρήσεις αυτού του είδους θα μπορούσαν να γίνουν χωρίς διακοπή λειτουργίας.

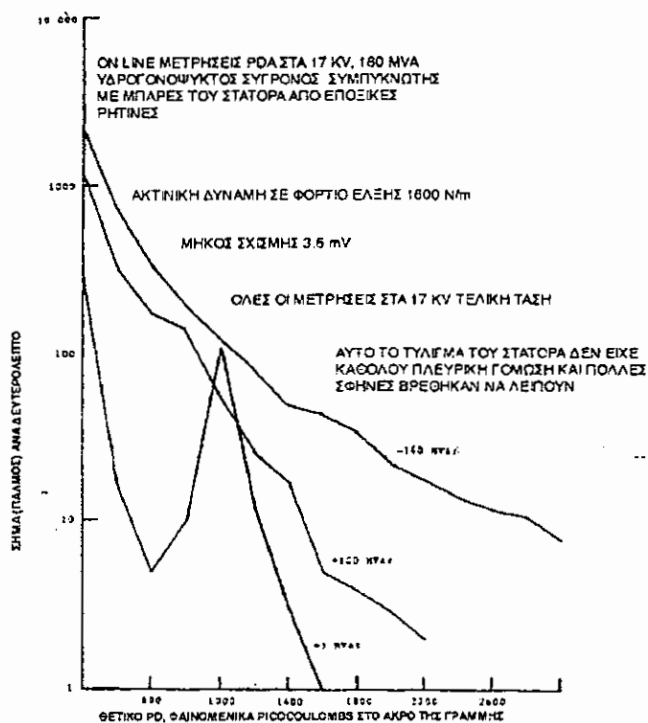
Ετσι από την Onterio Hydroresearch (Υδροέρευνα του Οντάριο) αναπτύχθηκαν λόγω των αναγκών on-line μετρήσεις της μερικής εκφόρτισης όπως ο CEA αναλυτής μερικής εκφόρτισης (PDA) καθώς και μόνιμοι συζευκτικές διαφοροποιημένα - συνδεδεμένοι (Εικ. 4).

Αυτοί οι συζευκτικές τοποθετούνται μέσα στο τύλιγμα του στάτορα. Αυτή η προσέγγιση έχει καταστήσει δυνατό τον εντοπισμό των κύριων τύπων μερικής εκφόρτισης στις υδρο - γεννήτριες με ένα συνεχή τρόπο και με την μικρότερη ανάμειξη του χειριστή. Αλλά δουλειά έχει γίνει ακόμη στην χρήση

κατευθυνόμενων συζευκτών που εγκαθίστανται (τοποθετούνται) στην μονωμένη φάση υψηλής ταχύτητας των υδρογονόψυκτων μηχανών. Η εγκατάσταση των διαφοροποιημένων συζευκτών δεν είναι πρακτική σε αυτό τον τύπο μηχανών.



Σχ. 3



Σχ.4

Όμως τα συστήματα κατευθυνόμενων συζευκτῆρων ἔχουν μικρότερο βαθμό απαλλαγῆς (απόσβεσης) θορύβου, ειδικά όταν εφαρμόζεται ἡ τεχνικὴ ακύρωσης θορύβου ἀπὸ τὸ σύστημα ισχύος που χρησιμοποιεῖται στὸν ἀρχικὸ σχεδιασμὸ τοῦ PDA (Partial discharge analyzer - ἀναλυτῆς μερικῆς εκφόρτισης).

Πρόσφατα ἔχει ἀναπτυχθεῖ μὴ βελτιωμένη τεχνικὴ προσέγγισης γιὰ τὴν χρῆση τῶν κατευθυνόμενων συζευκτῆρων. Στὴν δεκαετία τοῦ 1980 ἐργασίες στὴν ἐταιρία Ontario Hydro ἔδειξαν ὅτι πολλοὶ ἀπὸ τοὺς μεγάλους θερμικοὺς ἐναλλάκτες

έχουν πηγές θορύβου οι οποίες δεν συναντώνται στις υδρογεννήτριες. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για βελτιωμένη απόσβεση θορύβου η οποία δεν μπορούσε να επιτευχθεί με την χρήση των χωρητικών συζευκτών κοντά ή στο τέλος της γραμμής. Προκειμένου να ανταποκριθούμε σ' αυτή την ανάγκη δημιουργήθηκαν ο συζευκτήρας σχισμής του στάτορα (55°C) και ο αναλυτής στροβιλογεννήτριας (TGA).

Ενώ οι μέθοδοι μέτρησης μερικής εκφόρτισης που συζητήθηκαν προηγουμένως βασίζονται στην μέτρηση με την χρήση αναλυτών ύψους σήματος από μόνιμους εγκατεστημένους συζευκτήρες των 80 pF ή συζευκτήρες σχισμής του στάτορα (86C), μια διαφορετική προσέγγιση προτάθηκε από τους Emery και Haggald η οποία έχει να κάνει με έναν RF μετασχηματιστή ρεύματος στο ουδέτερο της γεννήτριας. Συνεχείς μετρήσεις γίνονται γύρω στο 1 MHz χρησιμοποιώντας ένα μόνιτορ RF.

Στην συνέχεια ο Timperley ανέπτυξε την μέθοδο του ελέγχου RF έτσι ώστε να περιέχει ανάλυση όλου του φάσματος η οποία δίνει την δυνατότητα εκτίμησης των διαφόρων τύπων των πηγών (αιτιών) μερικής εκφόρτισης.

### **1.22. Άλλες μέθοδοι ελέγχου on-line**

Μια άλλη μέθοδος είναι αυτή στην οποία ένας ανιχνευτής, σαρωτής (Scanner) είναι μονταρισμένος στο ρότορα (RMS) η οποία αναπτύχθηκε από την MCM Enter Prise σε συνεργασία



με την ERPI προκειμένου να εφαρμοστεί στις υδρογεννήτριες. Η μέθοδος αυτή RMS (rotor - mounted scanner) δίνει την δυνατότητα συνεχής ανίχνευσης (σάρωσης) κάθε σχισμής στο στάτορα για περιπτώσεις θερμών σημείων, μερικής εκφόρτισης, ακουστικών εκπομπών και δόνησης καθώς επίσης και για τις διαστάσεις του κενού αέρος. Καινούρια δουλειά από την MCM EnterPrise γίνεται αυτό τον καιρό προκειμένου να αναπτυχθεί παρόμοιος εξοπλισμός ανίχνευσης (με ανιχνευτή μονταρισμένο στο ρότορα) ο οποίος θα μπορεί να τοποθετηθεί στους θερμικούς εναλλάκτες.

Αλλά συστήματα συνεχούς on-line ελέγχου περιλαμβάνουν το Vibro - meter (μετρητής δόνησης) για ανίχνευση των κενών αέρος και ανίχνευση της δόνησης της μπάρας του στάτορα, καθώς επίσης και το σύστημα ελέγχου B, C Hydro air gap.

## Κεφάλαιο 2

### Έλεγχος EMI, και σήματα που δημιουργούνται από τις μηχανές

#### *Γενικά*

Αρκετές από τις προόδους που έχουν γίνει στην μέθοδο ελέγχου EMI οφείλονται στο πρόγραμμα (δοκιμής) AEP. Αναλογικά δεδομένα μονής(απλής) - συχνότητας λήφθηκαν από προηγούμενες εργασίες όμως εμείς χρησιμοποιήσαμε επίσης για ανάλυση φάσματα RF ευρείας συχνότητας. Αυτή η μέθοδος της εξακρίβωσης καθενός τύπου θορύβου είναι αρκετά ευαίσθητη σε μία σειρά (γκάμα) ηλεκτρικών και μηχανικών προβλημάτων. Η οξύτητα, η περιοχή και ο βαθμός επιδείνωσης των βλαβών μπορεί σε αρκετές περιπτώσεις να εκτιμηθεί και να μετρηθεί πολύ νωρίτερα από ότι θα συνέβαινε με τις συμβατικές μεθόδους.

Η ανάλυση EMI θα έχει ένα σπουδαίο μέλλον σαν ένα συμβατό συμπλήρωμα στις άλλες μεθόδους όπως μοριακά μόνιτορ, συναγερμοί και σένσορες Θερμοκρασίας.

Είναι προφανή τα πλεονεκτήματα έναντι σε κάθε έλεγχο no-line που θα εντοπίζει ανωμαλίες την στιγμή που συμβαίνουν.

Μέχρι σήμερα πάνω από 45 ξεχωριστές δοκιμές σε 35 μηχανές έχουν ολοκληρωθεί. Συμπεριλαμβάνουν 14 ξεχωριστούς σχεδιασμούς από 4 κατασκευαστές. Έχουν αναλυθεί τόσο οι υδροηλεκτρικές όσο και οι απολιδωματο-φλεγόμενες (Fissil Fired) ατμοστρόβιλο γεννήτριες. Συμπεριλήφθηκαν και μονάδες μονού άξονα (ατράκτου) και διασταυρούμενες - σύνθετες μονάδες.

Μόνο 1 από τις 27 στροβιλλογεννήτριες που δοκιμάστηκαν βρέθηκε να έχει κύριο πρόβλημα στον στάτορα ενώ το ίδιο συνέβη με 3 από τις υδροηλεκτρικές μηχανές. Καμιά από αυτές τις EMI πηγές (αιτίες) δεν είχε σχέση με τον αγωγό. Πριν από τις δοκιμές μας δεν υποπτευθήκαμε καμία από τις γνωστές αρχόμενες βλάβες του στάτορα. Ενώ ακόμη δεν έχουν αναπτυχθεί κατευθύνσεις μακράς διάρκειας, φαίνεται να υπάρχει μικρή μεταβολή στα σήματα EMI για τις παλιότερες μηχανές με συνθήκες σταθερού στάτορα.

## **2.1. Έλεγχος EMI**

Από την αρχή φάνηκαν τα πλεονεκτήματα ραδιοχητικής μέτρησης στο ουδέτερο μιας περιστρεφόμενης μηχανής. Αρχικές αναφορές έδωσαν λεπτομέρειες για πολλές θεμελιώδεις αρχές. Περισσότερο σημαντικές όμως ήταν ότι μπορεί να μετρηθεί το εσωτερικό (βολταϊκό) τόξο (arcing), εξωτερικά και ενώ η μηχανή είναι σε λειτουργία. Επεκτείναμε αυτά τα αρχικά τεστ (δοκιμές) προκειμένου να συμπεριλάβουμε

ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων σε πολυάριθμους τύπους μηχανών. Ο εξοπλισμός μας έκανε μετρήσεις του επιπέδου περιβάλλοντος θορύβου και του φάσματος επαγόμενου από μηχανές από συχαστήρες των 14 KHz σε 1000 MHz. Οι μονάδες οι οποίες αναλύθηκαν περιλαμβάνουν αερόψυκτες υδροηλεκτρικές μηχανές καθώς επίσης και ατμοστρόβιλο γεννήτριας, μπάρες και στάτορα από άσφαλτο και συνετικές ρητίνες καθώς επίσης και διάφορους τύπους διεγερτίριας δυναμομηχανής, όπως στατικούς, εναλλάκτες, γεννήτριες και χωρίς ψήκτρες. Ο εξοπλισμός κυμάνθηκε από σύγχρονο εξοπλισμό μέχρι και εξοπλισμό 25 χρόνων λειτουργίας. Βασική μας επιδίωξη ήταν να χρησιμοποιηθεί ο υπάρχων εξοπλισμός, το υπάρχον ανθρώπινο δυναμικό και οι υπάρχουσες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν να εντοπιστούν παρεμβολές που μερικές φορές αναπτύσσονται σε σταθμούς η γραμμές μετάδοσης με ελαττωματικό hardware. Ο εντοπισμός και η απαλοιφή πηγών (αιτιών) της γραμμής και του υποσταθμού EMI είναι καθιερωμένη πρακτική (τεχνική) στο σύστημα AEP.

## **2.2. Υδροηλεκτρικές μηχανές**

Ουδέτερες RF μετρήσεις πρωτοεφαρμόστηκαν στο σύστημα AEP σε 5 κάθετες, 13-8 KV, υδροηλεκτρικές μηχανές σε λειτουργία στο φράγμα Smith Mountain κοντά στο Roanoka στην Virginia. Τα δικά μας 24 ξεχωριστά τεστ που έγιναν κατά το 1980 ανακάλυψαν μη αναμενόμενα ελαττώματα σε 3

μηχανές. Τα σχήματα 1 και 2 δείχνουν την δική μας μέτρηση που μεταβλήθηκε σε EMI στις μονάδες 1 και 5 μεταξύ των μηνών Μαΐου και Νοεμβρίου. Μετέπειτα έλεγχοι εξακρίβωσαν ότι αυτές οι μηχανές ανέπτυσσαν χαλαρά πηνία στάτορα. Οι σφήνες των σχισμών ήταν χαλαρές, το χρώμα της σχισμής ξεθωριασμένο και σε αποσύνδεση και η μερική ηλεκτρική γόμωση είχε καεί. Αυτές οι σκεβρώσεις και μετέπειτα επιθεωρήσεις έδειξαν ότι η μονάδα 5 παρουσίαζε περισσότερη αποσύνδεση από την μονάδα 1.

Ενα εξαιρετικά μοναδικό ελάττωμα σχεδιασμού ανακαλύφθηκε στην μονάδα 3. Τα χαμηλότερα πτερύγια του ανεμιστήρα ήταν μέσα στην στεφάνη (κορώνα) κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3 αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την διαμόρφωση του (Quasi-Peak) ίχνους σε καθορισμένες συχνότητες.

### **2.3. Εντοπισμός (εξακρίβωση) εκφόρτισης σχισμών**

Οι μονάδες 1 και 5 είχαν επανατυλιχτεί με πηνία του στάτορα από εποξικές ρητίνες το 1973 και 1974 αντίστοιχα. Και οι δύο είναι μηχανές με χαρακτηριστικά 105.9N/min, 69,5 MVA και 13.8KV. Κάθε μια περιέχει 360 πηνία τριών στρωφών. Εκφορτίσεις στις σχισμές στις δύο αυτές μηχανές εντοπίστηκαν με τρεις τρόπους:

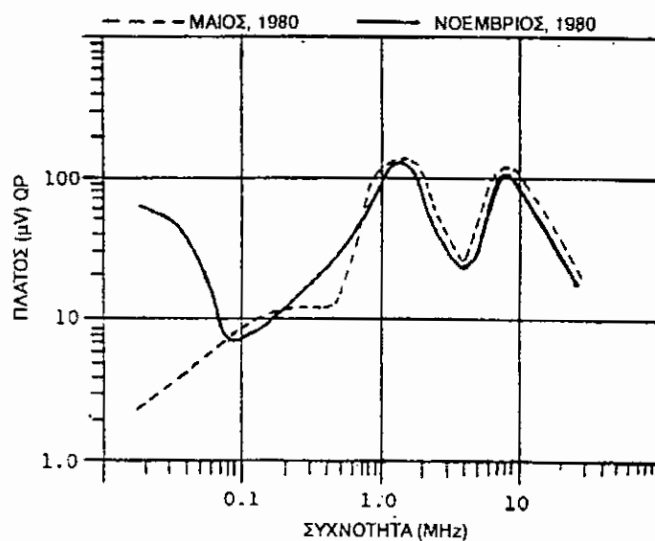
Σχεδόν υψηλότερη τιμή του πλάτους έναντι καμπύλης συχνότητας.

Πλοταρίσματα σχεδόν υψηλότερης τιμής και έντασης πεδίου  
Φωτογραφίες μικροσπινθηρισμού (μικροανάφλεξη).

Τα σχήματα 1 και 2 είναι γραφικές παραστάσεις (πλοταρίσματα) των επίπεδων Quasi-Peak (σχεδόν υψηλότερων τιμών) διορθωμένα προς την αντίδραση του καλωδίου. Αντί της αναμενόμενης καμπύλης σχήματος καμπάνας μεταξύ 1 και 2 MHz είχαμε ένα φάσμα με αυξημένα πλάτη στις χαμηλότερες συχνότητες.

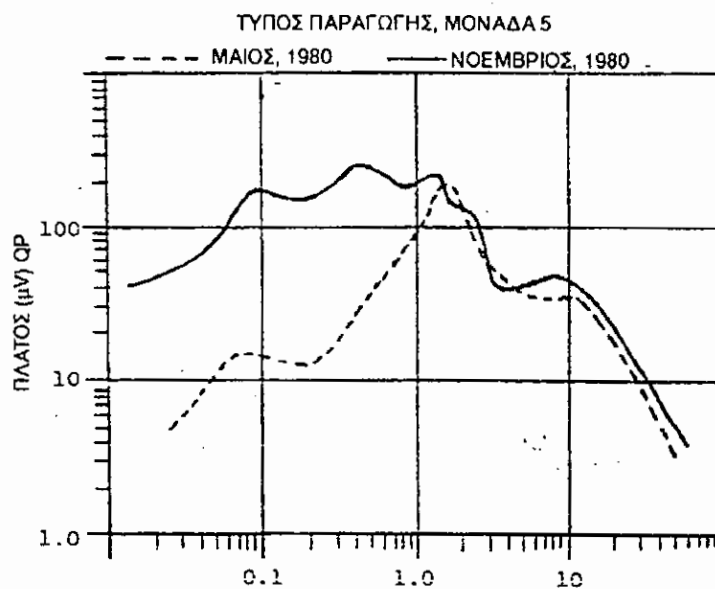
Μέσα σε διάστημα 6 μηνών, η δραστηριότητα κάτω των 100 KHz αυξήθηκε στην μονάδα 1, αλλά για την μονάδα 5 αυξήθηκαν όλες οι συχνότητες κάτω των 2 MHz. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί μια αύξηση της φθοράς (αποσύνθεσης), στις γραφικές παραστάσεις X-Y των πραγματικών χρόνων, της σχεδόν μέγιστης τιμής (Quase-Peak) και των πλατών της έντασης του πεδίου για διάφορες συχνότητες. Τα σχήματα 4 και 5 δείχνουν όχι μόνο μια αύξηση και των δύο παραμέτρων μέσα στο διάστημα 6 μηνών, αλλά επίσης και ότι οι μεταβολές Quasi-Peak (των σχεδόν μέγιστων τιμών) είναι πολύ περισσότερο υπερβολικές (προς τα πάνω).

Σημαντικές πληροφορίες αποκομίστηκαν από φωτογραφίες μικροαναφλέξεων (μικροσπινθηρισμών) και της στεφάνης (κορώνας) που έγιναν σε ξεχωριστές συχνότητες μέσα σε ένα ευρύ φάσμα. Τα σχήματα 6 και 7 δείχνουν κορώνα (στεφάνη) στα 3.8 MHz και εκφορτίσεις διακένου στα 8.0 MHz.

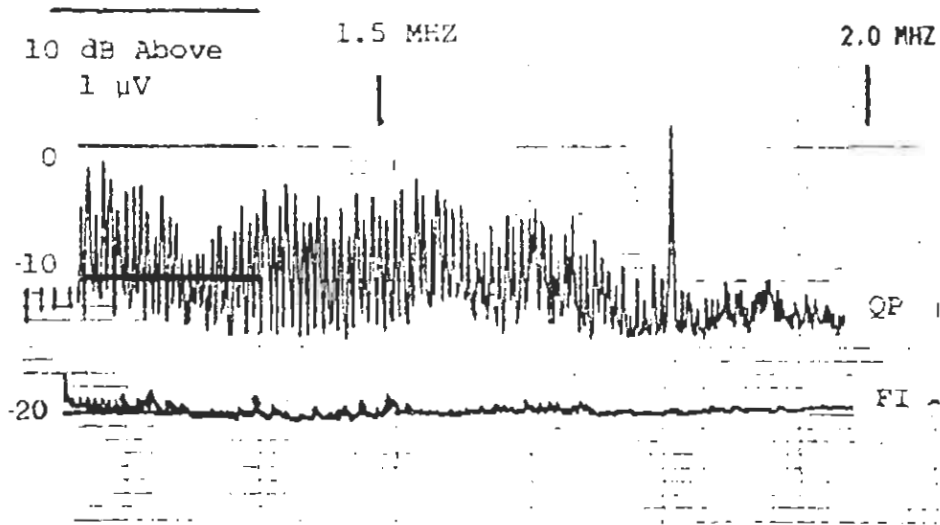


Σχήμα 1. Αλλαγές στο φάσμα λόγω αποφόρτισης σχισμών για την μονάδα

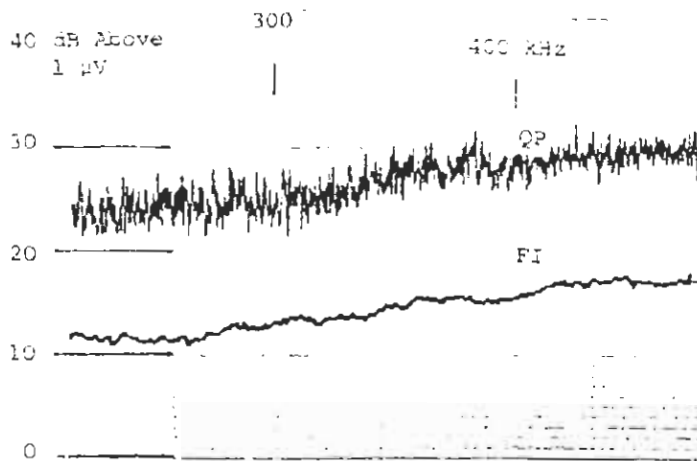
1



Σχήμα 2. Μεταβολές φάσματος λόγω αποφόρτισης σχισμής, μονάδα 5



Σχήμα 3. Μονάδα 3. Σχέδιο υψηλότερης τιμής διαμόρφωση λόγω της στεφανής (Κορώνας) των πτερυγίων του ανεμιστήρα.

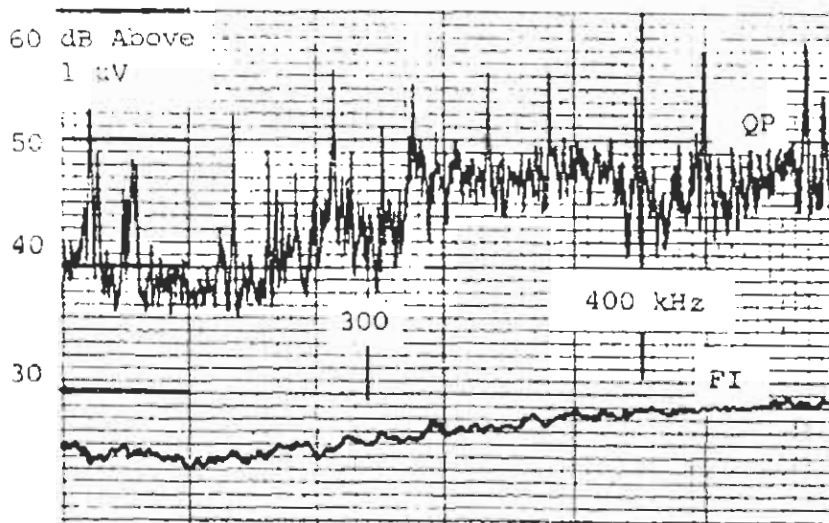


Σχήμα 4. Επίπεδο θορβου στην μονάδα 5 στο Μαΐο 1980

Αυτή η κορώνα εμφανίστηκε στην επιφάνεια του πηνίου του στάτορα λόγω ζημιών που είχαν γίνει στην σχισμή και στο χρώμα. Ο δικός μας ρυθμός μικροαναφλέξεων (μικροσπινθηρισμών) των 5 εκφορτίσεων για κάθε μισό κύκλο



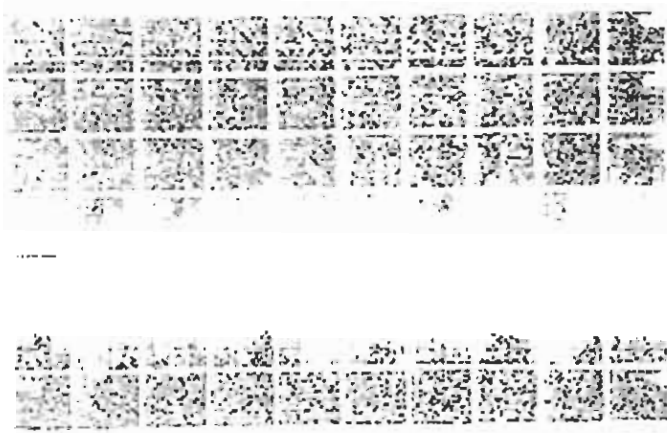
(βάση 60Hz) έδειξε ένα κενό της τάξης του 0.1 mm, όπως ήταν αναμενόμενο για τις εκφορτίσεις σχισμών. Σχεδιάστηκε ένα μόνιτορ θορύβου ευαίσθητο σε ένα μεγάλο εύρος τάσης και στην συνέχεια εγκαταστάθηκε προκειμένου να ελέγχει την μονάδα 5. Εξακριβώθηκε λοιπόν ότι είχαμε γρήγορη αύξηση της φθοράς (αποσύνθεσης). Ακριβώς πριν από τις επισκευές, η έναρξη τάσης εκφόρτισης σχισμής για κάθε φάση μετρήθηκε και ήταν ίση με 1.2 και 1.4 KV. Πάνω από τα 2.0 KV ο ραδιοθόρυβος (ραδιοσυχνότητα) ήταν τόσο υπερβολικός ώστε η δοκιμή ήταν χωρίς νόημα. Ένα σύνολο 62 σχισμών (slots) δημιούργησαν ραδιοσυχνότητα (θόρυβο) κάτω από 2 KV από τις οποίες μόνο 3 ήταν πηνία γραμμής (line coils) όλες οι φάσεις πέρασαν μια δοκιμή 18,000 Vrms για ένα λεπτό.



Σχήμα 5. Επίπεδο θορύβου μονάδας 5 το Νοέμβριο 1980. Η αύξηση στην δραστηριότητα ήταν λόγω επιπλέον ενεργειών αποφορτίσεων σχισμής.



Σχήμα 6. Κορώνα (στεφάνη) επιφάνειας πηνίου στάτορα στα 3.8 MHz



Σχήμα 7. Μικροσπινθηρισμός επιφάνειας πηνίου στάτορα ή εκφόρτιση σχισμής στα 80 MHz

#### **2.4. Εξακρίβωση (εντοπισμός) της κορόνας των πτερυγίων του ανεμιστήρα**

Μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα ανακάλυψη ήταν ένα διαμορφωμένο σήμα υψηλής έντασης που αναπτύχθηκε στην μονάδα 3. Αρχικά θεωρήθηκε ότι δημιουργήθηκε από τον στατικό διεγέρτη (διεγέρτρια δυναμομηχανή) όμως ο ρυθμός

επανάληψης του (σήματος) ταίριαζε με την ταχύτητα της μονάδας που ήταν 90r/min, δείχνοντας έτσι μια αιτία που είχε σχέση με τον ρότορα.

Αφού όμως ο στρόβιλος (τουρμπίνα) και ο άξονας (άτρακτος) είναι καλά γειωμένα μέσω των στεγανοποιήσεων νερού, δεν υπάρχει συνεπώς καμία τάση πάνω από την γη.

Χρησιμοποιώντας ένα φορητό μόνιτορ θορύβου, οι περιστροφικοί δακτύλιοι γρήγορα παλεύτηκαν καθώς ήταν η πηγή μας, και ο ίδιος ο ρότορας εντοπίστηκε σαν μια γεννήτρια EMI. Ενας έλεγχος που έγινε αργότερα αφ'ότου η μηχανή είχε σταματήσει έδειξαν ότι το πάνω άκρο καθενός από τα χαμηλότερα πτερύγια του ανεμιστήρα ήταν μόνο 25 χιλιοστά από τους χαμηλότερους βραχίονες του πηνίου. Εκφορτίσεις από αυτά τα πτερύγια του ανεμιστήρα σε γειτονικές επιφάνειες πηνίων εξακριβώθηκαν ύστερα από υψηλού δυναμικού δοκιμές του στάτορα. Εκτός από τον ξεχωριστό του θόρυβο αυτή η βλάβη (ελάττωμα) φάνηκε και στα διαγράμματα Quasi-Peak (σχεδόν μέγιστης τιμής). Ενα μέρος από αυτά δείχτηκε στο σχήμα 3. Η επίδραση του εκτείνεται από τα 800KHz στα M MHz.

### ***2.5. Τρόπος λειτουργίας***

Λίγες διαφορές φάσματος σημειώθηκαν όταν μεταβλήθηκε ο τρόπος λειτουργίας. Μόνο μικρές αλλαγές (δευτερεύουσας σημασίας) έλαβαν χώρα σε μονάδες που δεν παρουσίαζαν

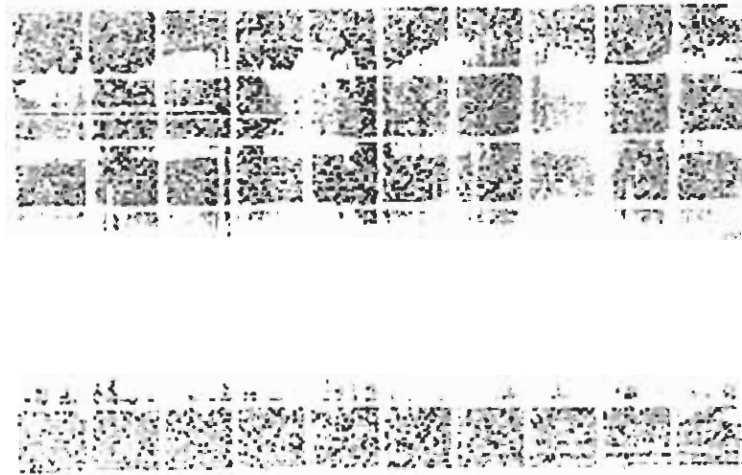
καμία βλάβη, καθώς άλλαξε ο τρόπος λειτουργίας από την συμπύκνωση προς την εκκένωση, και προς την παραγωγή.

## 2.6. Ατμοστροβιλογεννήτριες

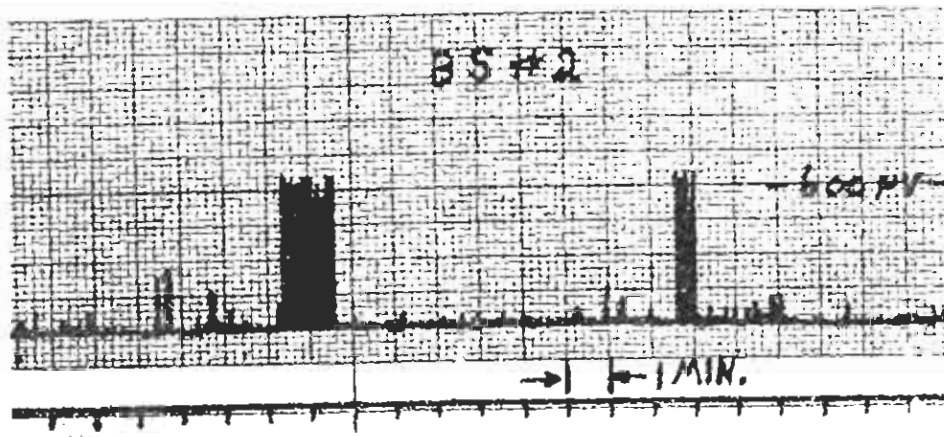
Μόνο μερικές από τις 30 μεγάλες ατμοστροβιλομηχανές που μέχρι τώρα δοκιμάστηκαν παρουσίασαν ανωμαλίες. Μια από αυτές η μονάδα 2 Big Sandy (μια μονάδα 800 MW στην Louisa, Kentucky), μεταβλήθηκε δραστικά μέσα σε διάστημα εβδομάδων. Όπως δείχτηκε στα σχήματα 8 και 9 το κενό θορύβου μπορεί να αυξηθεί περίπου κατά 30 db σε διάστημα λεπτών και στην συνέχεια να εξασθενίσει. Στην γραφική παράσταση των 10 MHz του σχήματος 10 (Strip Chart) παρατηρήθηκαν συνεχόμενες τυχαίες τιμές υψηλής ενέργειας ενώ πλάτη των 1000 microvolt δεν ήταν ασυνήθιστα και η επίδραση του φάσματος έφτανε τα 215 MHz.



Σχήμα 8. Εκφορτίσεις κενών σε μια μηχανή 800 MW στα 17.5 MHz μέγιστες τιμές 80 dB



Σχήμα 9. Εκφόρτισεις κενών στην ίδια μηχανή με το σχήμα 8, αλλά μερικά λεπτά αργότερα. Μέγιστες τιμές 50 dB, μια μείωση δηλαδή 80 dB.



Σχήμα 10. Γραφική απεικόνιση της δραστηριότητας EMI στα 10 MHz. Αυτή η μηχανή είχε έντονη φθορά στα άκρα του τυλίγματος. Εξαιτίας του γεγονότος ότι επρόκειτο σύντομα να γίνει προγραμματισμένος έλεγχος και επίσης καθώς καμία άλλη ένδειξη αρχόμενης βλάβης δεν απέδειχναν οι μετρήσεις EMI. Η παραπάνω μονάδα απλώς τέθηκε υπό έλεγχο χωρίς να

αποσυρθεί από την λειτουργία. Καθώς αποσύρθηκε από την λειτουργία κατά την διάρκεια ελέγχου εντοπίστηκαν δύο προβλήματα: Σημαντική οξείδωση σιδήρου για τα δύο άκρα των τυλιγμάτων καθώς και χαλάρωση στις ακραίες σφήνες του στάτορα.

Ανίχνευση (εντοπισμός) σήματος

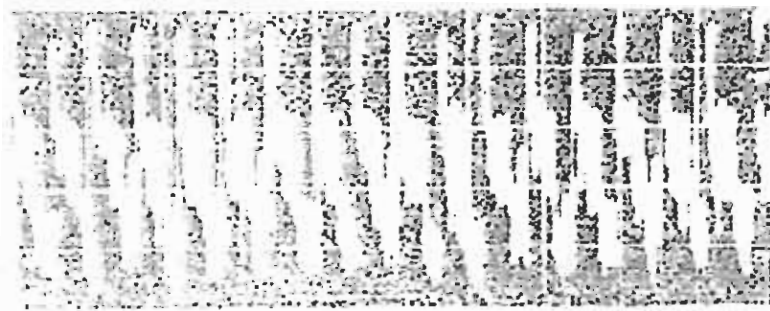
Σε ένα σύγχρονο περιβάλλον υπάρχει μια μεγάλη και χωρίς όρια ποικιλία EMI (Electromagnetic interference - ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή). Η ανίχνευση αυτή είναι σημαντική στον έλεγχο ουδέτερων σημάτων.

Ενα μεγάλο ποσοστό των αναμενόμενων EMI (Electromagnetic interferences) θα είναι συνδυασμός των παρακάτω βασικών τύπων.

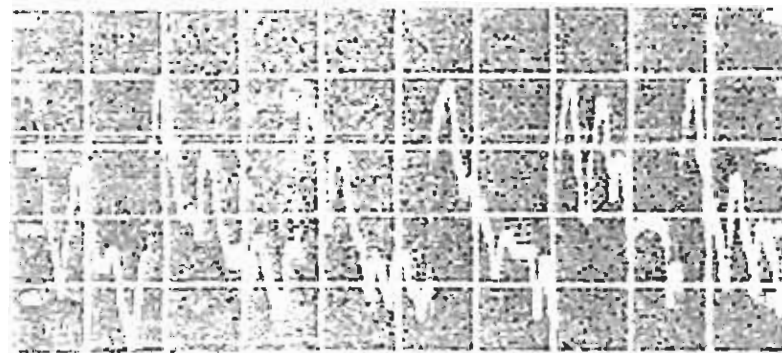
### ***2.7. Σήματα που δημιουργούνται από τις μηχανές***

Δύο βασικοί τύποι EMI παράγονται στο στάτορα μιας μηχανής - εκφορτίσεις κενού και κορώνα (στεφάνη). Ο θόρυβος τύπου - κενού ή μικροανάφλεξης συχνά είναι επαναλαμβανόμενος και σε σταθερά επίπεδα (όπως δείχνεται στα σχήματα 7,8 και 9). Η κορώνα (στεφάνη) είναι τυχαία στο πλάτος καθώς επίσης και στο να συμβεί (βλέπε σχήμα 6). Και τα δύο έχουν διακριτικούς θορύβους - η κορώνα (στεφάνη) θυμίζει το θόρυβο που κάνει το τηγανητό μπέικον, καθώς γίνεται μικροσπινθηρισμός (μικροανάφλεξη) παράγει ένα ξηρό θόρυβο.

Μια τρίτη κοινή πηγή είναι η ανάφλεξη του θυρίστορ ή SCR στους σύγχρονους διεγερτές στατικού ή μεταβλητού τύπου. Το EMI που παράγεται είναι πολύ κανονικό στο πλάτος, σε συγχρονισμό με την τάση της μηχανής ενώ κάνει ένα θόρυβο βομβητή (σειρήνας). Τα σχήματα 11 και 12 είναι ενδεικτικά για τον θόρυβο SCR ο οποίος θα βρεθεί στο 1 MHz ή λιγότερο εάν χρησιμοποιηθούν αυτοί οι τύποι διεγερτών.



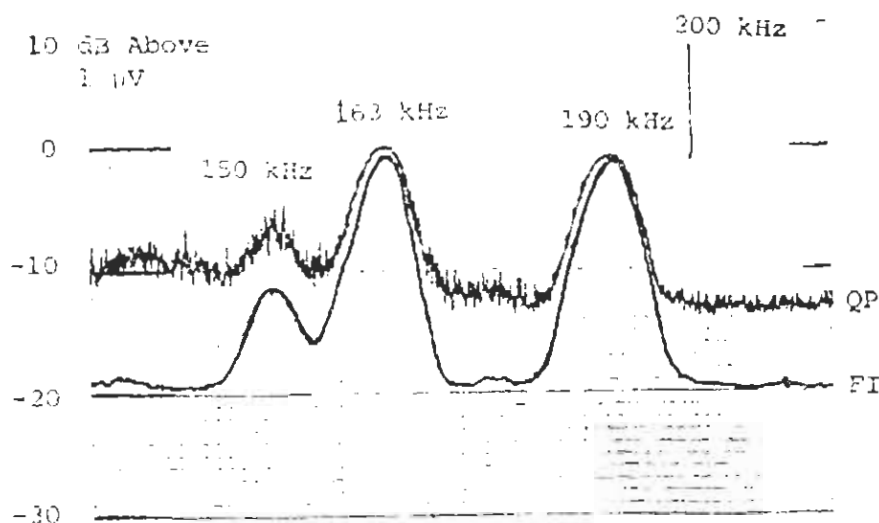
Σχήμα 11. Τυπικό σχέδιο ανάφλεξης SCR σε ένα στατικό δαγέρτη. Αυτή η τροποποίηση των 16 KHz μετρήθηκε σε μια υδροηλεκτρική μηχανή



Σχήμα 12. Παρόμοιο με το σχήμα 11, αλλά δείχνει όμως τις λεπτομέρειες. Λύφθηκε στα 400 KHz στο ουδέτερο μιας ατμοστροβιλογεννήτριας

## 2.9. Εξωτερικά σήματα, Συμπεράσματα

Όλες οι μηχανές είναι συνδεδεμένες με ένα κόσμο όπου υπάρχουν άφθονα σήματα. Τα πιο οφθαλμοφανή από αυτά είναι αυτά των επικοινωνιών.

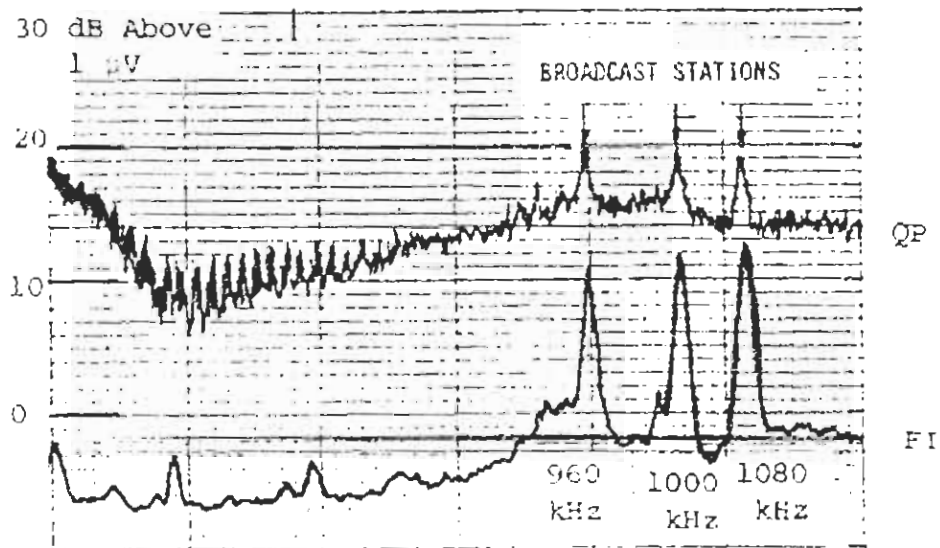


Σχήμα 13. Σήματα μετάδοσης αγωγός ρεύματος στο ουδέτερο αργής μηχανής

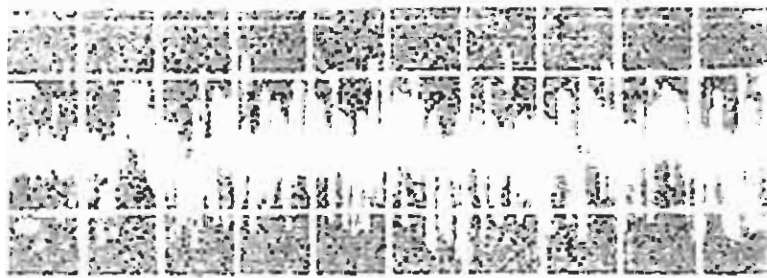
Τα σχήματα 13 και 14 δείχνουν τυπικές γραφικές παραστάσεις της έντασης του πεδίου και των τιμών Quasi-Peak (σχεδόν μέγιστων τιμών) όταν εντοπίζονται αγωγοί μετάδοσης ρεύματος ή σταθμοί εκπομπής AM. Όλες οι μεταδόσεις καθορισμένης συχνότητας δημιουργούν την ίδια καμπύλη σχήματος καμπάνας κεντραρισμένη γύρω από την συχνότητα ενός αγωγού. Σε μερικά συστήματα η στεφάνη (κορώνα) και η μικροανάφλεξη από εξωτερική συσκευή (εξοπλισμό) μπορεί να βρεθεί στο ουδέτερο της μηχανής. Μόνωση της πηγής κάποιου ιδιαίτερου



σήματος μπορεί να απαιτεί επιπλέον δοκιμές. Εχουμε σημειώσει την σειράνα κάποιας εγκατάστασης, το σύστημα εσωτερικής επικοινωνίας της, την επαγόμενη κορώνα (στεφάνη) μετασχηματισμού για το χιόνι και την κορώνα για την βροχή από ένα σταθμό 765 KV.



Σχήμα 14. AM ραδιοεκπομπές όπως φαίνονται στο ουδέτερο μιας μηχανής όταν είναι σε λειτουργία



Σχήμα 15. Τυχαίος θόρυβος στα 1.75 MHz -τύπος εκκένωσης

Υπάρχουν λίγες διαφορές μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής EMI. Τυχαίος θόρυβος είναι πάντα παρόν και μπορεί να μετρηθεί εάν η συσκευή ελέγχου έχει επαρκή ευαισθησία. Το σχήμα 15 είναι χαρακτηριστικό τυχαίου θορύβου μετρημένο σε υδροηλεκτρική μηχανή κατά την διάρκεια της άντλησης.

Η εφαρμογή μιας σχετικά με το έλεγχο χαρακτηριστικού ηλεκτρικού φάσματος στο ουδέτερο στρεφόμενης μηχανής κρίνεται αρκετά επιτυχημένη. Το σύστημα AEP, ασχολείται με αυτή την εφαρμογή μαζί με άλλα δεδομένα για τον σχεδιασμό συντήρησης μεγάλων μηχανών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν τα παρακάτω:

1. Όλες οι μηχανές παράγουν ένα χαρακτηριστικό φάσμα ηλεκτρικού θορύβου.
2. Ένα αρκετά ευρύ φάσμα συχνοτήτων περιγράφει μια μηχανή.
3. Ομοιες μηχανές δημιουργούν όμοια φάσματα.
4. Μηχανές με καθόλου κύρια προβλήματα δημιουργούν πολύ χαμηλά επίπεδα ραδιοθορύβου.
5. Ο τρόπος λειτουργίας έχει περιορισμένη μόνο επίδραση πάνω στο φάσμα.
6. Όταν μια βλάβη συνεχίζει να προκαλεί φθορά έχουμε αύξηση στο πλάτος των συχνοτήτων.
7. Σοβαρά προβλήματα εντοπίζονται από αύξηση μεγέθους στο πλάτος του φάσματος.

8. Σε γενικές γραμμές μπορεί να προσδιοριστεί η πηγή (αιτία) των εκφορτίσεων (αποφορτίσεων).
9. Αυτή η τεχνική θα εντοπίσει πολλά προβλήματα στα αρχικά στάδια πριν να συμβεί κάποια μεγάλη ζημιά.
10. Πηγές εξωτερικού θορύβου πρόκειται να μετρηθούν άλλα συνήθως μπορούν να αντισταθμιστούν.
11. Η μέτρηση του ουδέτερου EMI μπορεί να εφαρμοστεί σε μηχανές όλων των ταχυτήτων.
12. Η λειτουργία μηχανής σαν γεννήτρια, μοτέρ ή σύγχρονου συμπυκνωτή δεν επηρεάζει την εφαρμογή της δοκιμής.

### **2.10. Επιπλέον Εργασίες**

Αυτήν τη στιγμή θεωρούμε τον έλεγχο EMI σαν μια δοκιμή συντήρησης επεκτείνοντας την παρούσα εργασία έτσι ώστε να συμπεριλάβει και παλιότερες μηχανές με γνωστά προβλήματα. Χαρακτηριστική φθορά του στάτορα περιλαμβάνει χαλαρό σιδερένιο πυρήνα του στάτορα, κορώνα (στεφάνη) στο τέλος του τυλίγματος και περιμετρικές ρωγμές στις μπάρες του στάτορα.

Ενας συνεχής πραγματικού χρόνου έλεγχος EMI ευρείας συχνότητας έχει αναπτυχθεί και είναι σε λειτουργία για πολλές μηχανές. Αυτό θα παρέχει δεδομένα ανάλυσης που θα δείχνουν την τάση ανάπτυξης αρχόμενων βλαβών. Προκαταρκτική ανάλυση δεδομένων δείχνει ότι η επαναληψιμότητα των δεδομένων της δοκιμής είναι πολύ καλή για μια μικρή περίοδο.

Σταθερότητα πηγών σταθερού θορύβου για διάρκεια αρκετών χρόνων δεν έχει τεκμηριωθεί. Δεν μπορούμε ακόμη να κάνουμε διάκριση μεταξύ δύο πηγών (αιτιών) EMI. Ο θόρυβος που παράγεται στο μετασχηματιστή, στο κύριο κύκλωμα ή σε δύο μηχανές παράλληλες εμφανίζεται στον ουδέτερο γειωμένου μετασχηματιστή.

### **2.11. Διαδικαστές Δοκιμής**

Αυτή την περίοδο διεξάγουμε μια πλήρη φασματική ανάλυση RF χρησιμοποιώντας την ακριβή ανάλυση συχνότητας-οκτάβας RF τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Αυτή η τεχνική συνίσταται σε: 1) Ξεχωριστές (διακριτές) μετρήσεις της μέγιστης τιμής (PK), της σχεδόν μέγιστης τιμής (Q, P) (ANSI και CISPR), της αληθούς RMS και της έντασης του πεδίου (FI). Επιπλέον έγιναν μετρήσεις της απόκλισης τάσης θορύβου (Vd) σε επιλεγμένες συχνότητες, 2) Γραφικές παραστάσεις ακριβείας, χρόνου-παραμένουσας συχνότητας και για τις δύο παραμέτρους FI, 3) Διορθωμένες CRT φωτογραφίες για το χρόνο και για την παραμένουσα συχνότητα. Οι αρχικές δοκιμές συγκρίθηκαν με άλλες δοκιμές που χρησιμοποίησαν ένα σχετικά απλό μέτρο RFI με καθόλου διατάξεις για φασματική ανάλυση πραγματικού χρόνου.

Κάθε δοκιμή συνίσταται σε γραφικές παραστάσεις ακριβείας X - Y αρκετών συχνοτήτων - οκτάβας χρησιμοποιώντας ταποτελέσματα του ανιχνευτή για τις σχεδόν ψηλότερες τιμές

(QP) και για την ένταση του πεδίου (FI) και χρησιμοποιώντας επίσης τις απόλυτες μετρήσεις σε επιλεγμένες συχνότητες μέσα στις συχνότητες - οκτάβας όσον αφορά το μέγιστο Slideback, το QP (και τα δύο ANSI και CISPR), την αληθή RMS, FI και τους ανιχνευτές απόκλισης τάσης.

Στις συχνότητες που είχαν ενδιαφέρον λήφθηκαν διορθωμένες φωτογραφίες CRT προκειμένου να επιτύχουμε μια "noise signature" ("υπογραφή θορύβου") των μονάδων σαν μία συνάρτηση της συχνότητας. Αυτό μπορεί στην συνέχεια να συγκριθεί μεταξύ των μονάδων ή να εξεταστεί για περίοδο του χρόνου για την ίδια μονάδα. Αρκετές ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις έχουν προκύψει από τις δοκιμές. Ο αναλυτής φάσματος μας παρείχε την οπτική διάσταση του τόξου που λαμβάνει χώρα στον πραγματικό χρόνο. Οι φωτογραφίες CRT δείχνουν θόρυβο κορώνας (στεφανής) και κενού καθώς και συνδυασμός των δύο φαινομένων όπως εμφανίζονται στον αναλυτή φάσματος RF. Αυτά τα δεδομένα οδηγούν σε πληροφορίες όπως ο ρυθμός επαναληψιμότητας του τόξου ή πυκνότητα συχνότητας και το πλάτος τα οποία στην συνέχεια μπορούν να παρέχουν μία βάση για μελλοντικές αναφορές βασισμένες στην αρχή τους.

Η δική μας πραγματική ανάλυση και η συσσώρευση δεδομένων έγινε με σκοπό να καθοριστούν κάποια σημεία αναφοράς για μελλοντική αναφορά.

## 2.12. Εξοπλισμός Δοκιμής

### CSR-200 Σύστημα

Electrometrics, Inc

Τμήμα σώματος Penril

Αμστερνταμ, Ν.Υ. 12010

EMC-25 MKII RF επιλεκτικό βολτόμετρο (0,014 - 1000 MHz)

Ανιχνευτές με σάνταρ εξόδους: Μέγιστη τιμή (PK),  
σχεδόν μέγιστη τιμή (API, ένταση πεδίου (FI) και  
μέγιστο Slideback (οπισθολίσθηση) (SBPK)

SPD-125 Μετρητής φάσματος με οθόνη.

CRM-25 μέτρο μέτρησης. Ανιχνευτές σάνταρ εξόδου: PK,  
ANSI QP, CIS PR, QP. Αληθής RMS, FI και  
απόκλιση τάσης (Vd).

PCL-25 Μετασχηματιστής ρεύματος

Φωτογραφική μηχανή Polaroid με CRT προσαρμοστή για  
μοντάρισμα.

Ένας plotter X-Y μοντέλο HP-7030A της Εταιρίας Hewlett  
Packard, Palo Alto, CA 94303.

RG58A/U συναξονικό καλώδιο 250' και διάφορα αξεσουάρ.

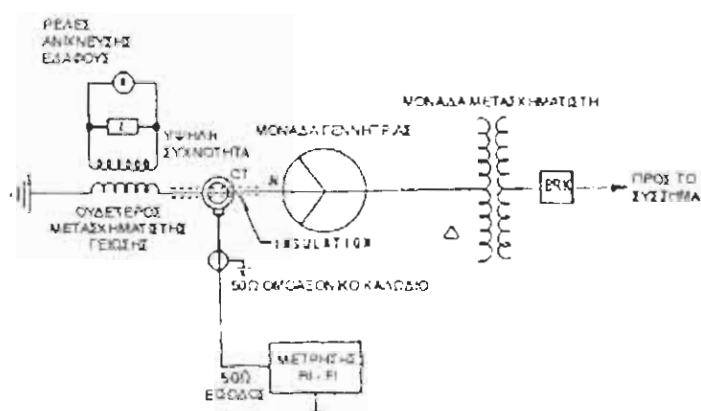
## Κεφάλαιο 3

### **On-line εντοπισμός αρχόμενου τόξου σε τυλίγματα του στάτορα μεγάλων στροβιλογεννητριών F.T. Emery και RT. Harrold.**

#### *Γενικά γεννητριών*

Οι σειρές των γεννητριών με την ωφελιμότητα τους και την μεγάλη αξιοπιστία τους αποτελούν ένα από τα κύρια στοιχεία που συνθέτουν μια ομάδα ισχύος. Αυτή η μεγάλη αξιοπιστία τους αποδίδεται κυρίως στα ανώτερης ποιότητας συστήματα μόνωσης τα οποία χρησιμοποιούνται στα τυλίγματα του στάτορα των σύγχρονων γεννητριών. Προκειμένου να διατηρήσουμε την διηλεκτρική αντοχή είναι απαραίτητο τα συστήματα μονώσεως των τυλιγμάτων του στάτορα να είναι τοποθετημένα καλά στην θέση τους και όλες οι συνδέσεις να έχουν υψηλή μηχανική, θερμική και ηλεκτρική ακεραιότητα. Τα πιο σημαντικά από αυτά τα στοιχεία είναι, τα πηνία του στάτορα, οι προπορείες φάσεως, οι παράλληλοι δακτύλιοι και τα ακραία κουζινέτα (δακτύλιοι).

Όμως υπάρχουν πιθανά προβλήματα που μπορούν να προκύψουν στα συστατικά του στάτορα της γεννήτριας και τα οποία προκαλούν βλάβη στον αγωγό λόγω κόπωσης. Η αστοχία (βλάβη των αγωγών χαλκού λόγω κόπωσης οφείλεται στις μεταβατικές μαγνητικές δυνάμεις σταθερής κατάστασης οι οποίες οδηγούν στην χαλάρωση και στην δόνηση των διαφόρων συστατικών των τυλιγμάτων του στάτορα. Το φαινόμενο του τόξου είναι ένα σύμπτωμα που συνδέεται με την αστοχία λόγω κόπωσης μεταξύ των σπασμένων νημάτων (ινών) του χαλκού είναι η πηγή (αιτία) των τόξων. Τα τόξα που δημιουργούνται προκαλούν ρεύματα RF που ρέουν μέσα στα τυλίγματα του στάτορα. Η μέτρηση των ρευμάτων RF που διέρχονται μέσα από την ουδέτερη σύνδεση του στάτορα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην έγκαιρη ανίχνευση (εντοπισμός) της βλάβης του αγωγού του χαλκού λόγω κόπωσης.

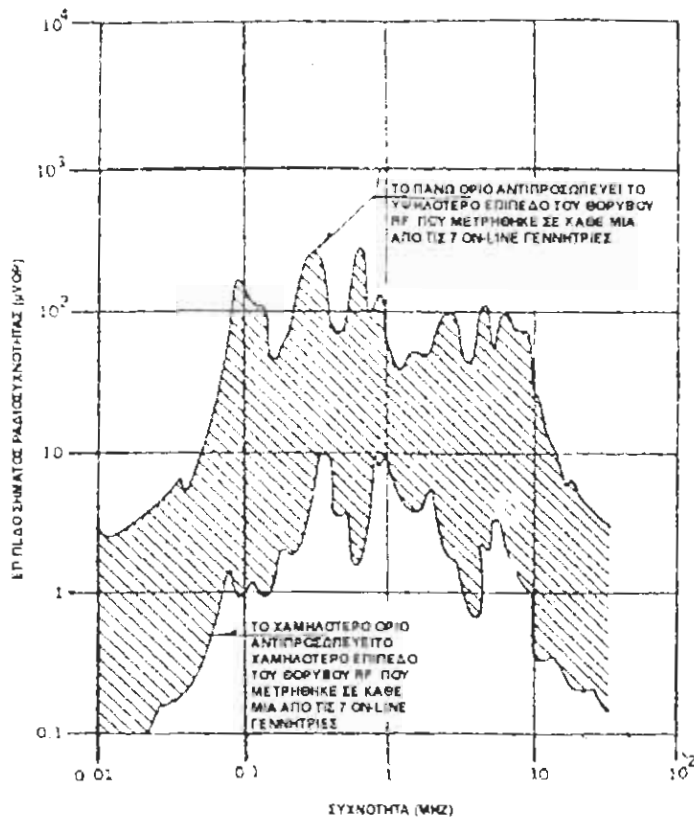


Σχήμα 1. Τοποθέτηση συσκευής μέτρησης ραδιοσυχνότητας για on-line μετρήσεις της δραστηριότητας ραδιοσυχνότητας σε μεγάλες στροβιλογενήτριες



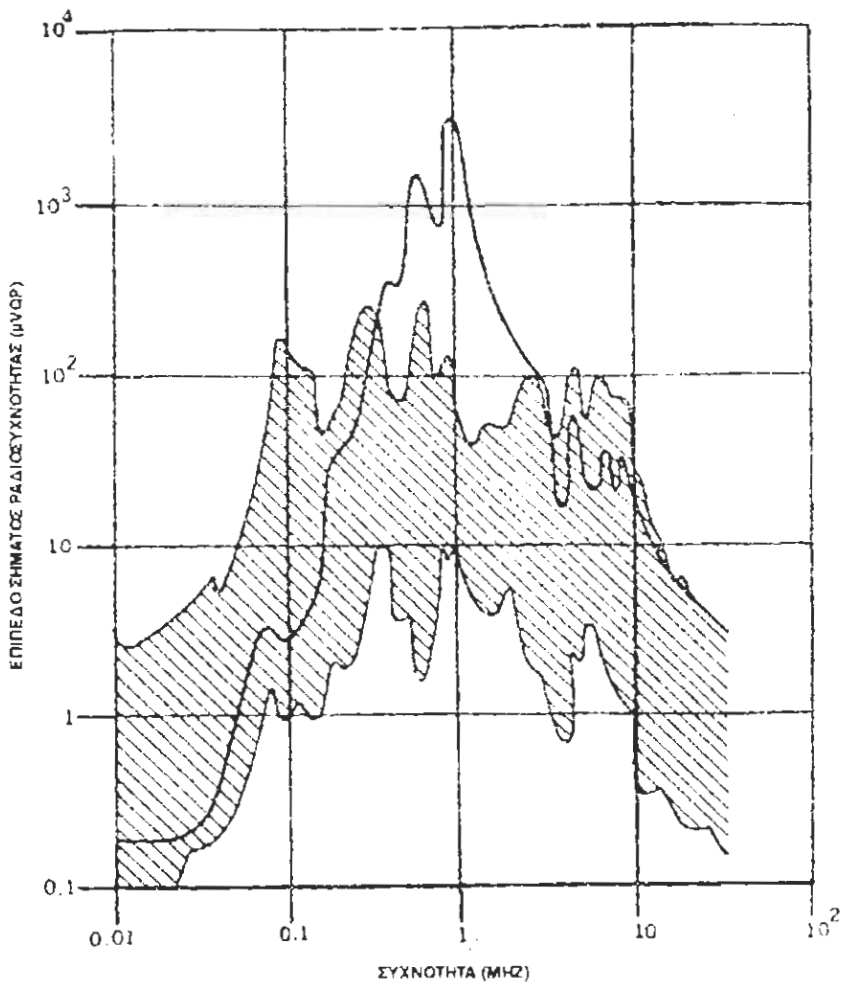
### 3.1. Εντοπισμός βλάβης (αστοχίας) του αγωγού λόγω κόπωσης με την μέθοδο ελέγχου RF

Καθώς υπάρχουν πολλές πηγές (αιτίες) για RF στα τυλίγματα μιας γεννήτριας, η μέθοδος για τον εντοπισμό του φαινομένου του τόξου θα πρέπει όχι μόνο να ανιχνεύει το σήμα που έχει σχέση με την παρουσία του τόξου αλλά επίσης και να το διακρίνει από τα σήματα υψηλής συχνότητας που προέρχονται από άλλες πηγές.



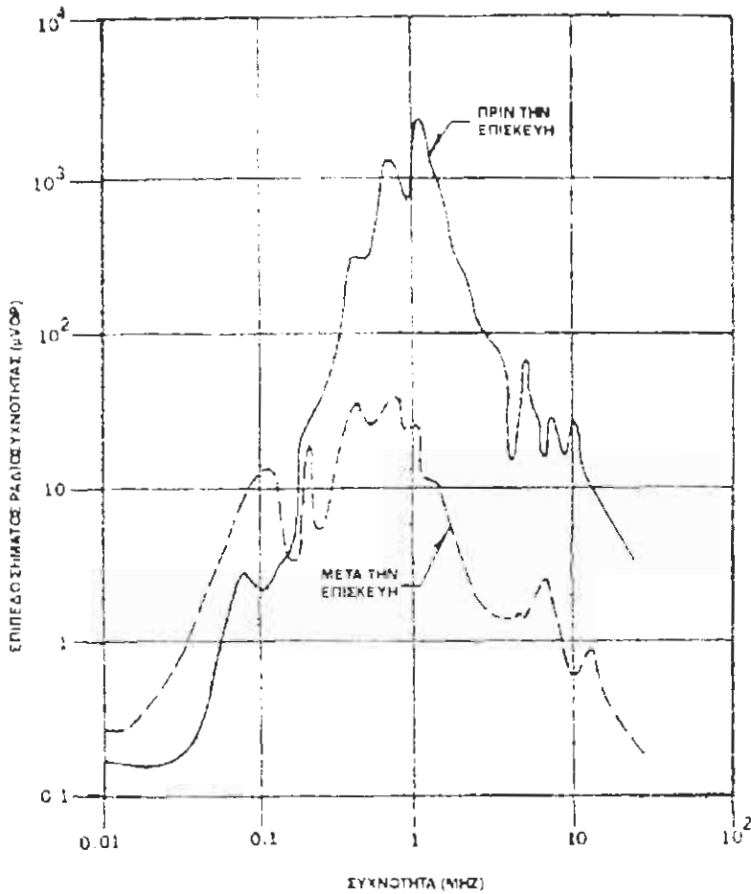
Σχήμα 2. Μέσος όρος των φασμάτων RF που μετρήθηκαν στην ουδέτερη σύνδεση μεγάλων στροβιλογεννητριών

Η πηγή (αιτία) του RF με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον οφείλεται στην παρουσία τόξου που έχει τοπικό χαρακτήρα. Τέτοια τόξα δεν είναι συνεχή αλλά συχνά διακόπτονται και ξανανάβουν οι διακοπές προκαλούνται από την μετακίνηση των επιφανειών του αγωγού μεταξύ των οποίων υπάρχει το τόξο.



Σχήμα 3. Υψηλά ανόμοιο φάσμα RF συγκρινόμενο με τα RF φάσματα μέσου όρου

Διακοπές επίσης συμβαίνουν επειδή το τόξο εξαφανίζεται σε κάθε πέρασμα από το μηδέν του ρεύματος των 60Hz.



Σχήμα ι. Φάσματα RF πριν και μετά την επισκευή

Η διακοπή και η επανάφλεξη του τόξου προκαλεί μικρής διάρκειας σήματα συμπεριλαμβανόμενων και των στοιχείων RF, τα οποία διέρχονται μέσα από τους αγωγούς καταλήγοντας στην περιοχή του τόξου. Οι εργασίες δείχνουν ότι μια κατάσταση τόξου διεγείρει μια κατάσταση συντονισμού (αντήχησης) στα τυλίγματα του στάτορα της γεννήτριας και επί

πλέον ότι το μετρούμενο επίπεδο του τόξου που δημιουργήσε το RF είναι συνάρτηση του φορτίου της γεννήτριας.

Επιπλέον θεωρητικές απόψεις της ανίχνευσης με ραδιοσυχνότητα των βλαβών με λεπτομέρειες στην αναφορά 1 (Reference 1).

Σ'αυτή την συγκεκριμένη εργασία (Paper) παρουσιάζονται πρόσφατες εμπειρίες πεδίου σχετικά με την τεχνική εντοπισμού του τόξου RF.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις on-line μετρήσεις της δραστηριότητας RF σε μεγάλες γεννήτριες φαίνεται στο σχήμα 1 όπου είναι RF μετασχηματιστής ρεύματος (CT) τοποθετείται γύρω από το ουδέτερο ακροδέκτη της γεννήτριας. Το CT τοποθετείται σε μία βολική θέση στον αγωγό που συνδέει τον ουδέτερο ακροδέκτη της γεννήτριας με τον ακροδέκτη στο ουδέτερο του μετασχηματιστή γείωσης. Πρέπει να δίνεται προσοχή στο να μονώσουμε το εξωτερικό περίβλημα του CT προκειμένου να αντισταθεί σε πιθανή μεγάλη αύξηση στην ουδέτερη τάση.

Το CT συνδέεται με συσκευές που μετρούν τον ραδιοθόρυβο οι οποίες είναι ευαίσθητα και μικρών συχνοτήτων όργανα που μπορούν να μετρήσουν επίπεδα σημάτων σε microvolts της σχεδόν μέγιστης τιμής (Quasi-Peak) για ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Η ένδειξη Quasi-Peak στη σχεδόν μέγιστη τιμή είναι ένας μέσος όρος που προσεγγίζει την πραγματική τιμή της συνιστώσας της συχνότητας που μετριέται.

Σε ένα προκαταρκτικό στάδιο δοκιμών οι μετρήσεις φάσματος RF έγιναν σε επτά μηχανές οι οποίες κάλυπταν ένα εύρος συχνοτήτων από 10 KHz έως 30 KHz. Οι προκύπτουσες φασματικές μετρήσεις από τις επτά μεγάλες γεννήτριες (500 σε 750 MVA) σε λειτουργία, έδωσαν επαρκή δεδομένο έτσι ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί ένα σύνθετος τύπος φάσματος για γεννήτριες οι οποίες ήταν σε κανονική κατάσταση χωρίς να υπάρχει κανένα φαινόμενο τόξου. Το σύνθετο φάσμα φαίνεται στο σχήμα 2. Αυτό το σύνθετο φάσμα έχει αποδειχτεί στην συνέχεια από περισσότερες από οκτώ επιπλέον μετρήσεις RF φάσματος σε μεγάλες γεννήτριες κατά την λειτουργία τους. Σαν τμήμα του προγράμματος να συγκεντρωθούν προηγούμενες μετρήσεις RF του φάσματος σε ένα μεγάλο αριθμό γεννητριών on-line έγιναν φασματικές μετρήσεις RF σε δύο γεννήτριες τοποθετημένες στον ίδιο σταθμό παραγωγής. Αυτές οι μονάδες είναι των 600 MVA, μηχανές δύο πόλων με διεγέρτες χωρίς ψήκτες. Όταν έγιναν οι φασματικές μετρήσεις RF το επίπεδο του ρεύματος ελαττώθηκε κατά δύο τάξεις μεγέθους, δείχνοντας ισχυρή εξάρτηση του επιπέδου ρεύματος RF από το επίπεδο φορτίου, καθώς θα αναμενόταν για μια κατάσταση φαινομένου τόξου μέσα στην γεννήτρια.

Η υψηλή RF συνεχίστηκε και η μονάδα μετακινήθηκε από την γραμμή για εσωτερικό έλεγχο. Μια πλάκα χαλκού στον έναν από τους εύκαμπτους συνδετήρες μεταξύ του παράλληλου δακτυλίου και του κορυφαίου πηνίου κοντά στο ουδέτερο, βρέθηκε να έχει κοιλότητα με ένα τρόπο που υποθέτει

φαινόμενο τόξου. Η πλάκα του χαλκού αντικαταστάθηκε με μια άλλη μη αγώγιμου τύπου και όταν η γεννήτρια ανατέθηκε σε λειτουργία μια επαναλαμβανόμενη φασματική μέτρηση του ουδέτερου αποκάλυψε ένα χαμηλό επίπεδο όπως ήταν αναμενόμενο για μια γεννήτρια η οποία να μην έχει σχέση με κανένα φαινόμενο τόξου.

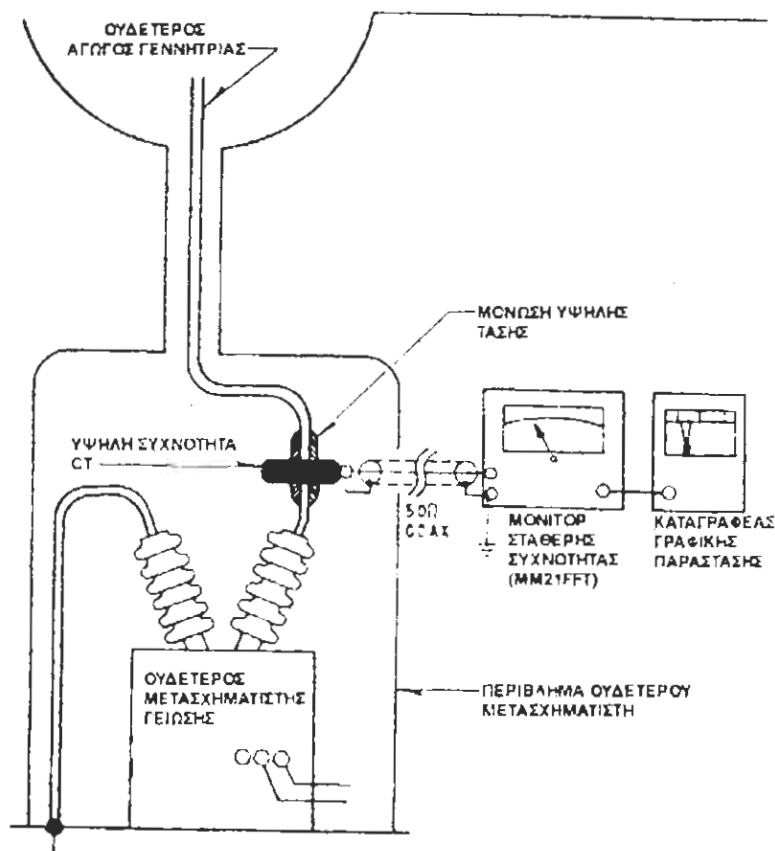
Η σύγκριση των φασμάτων “πριν την επισκευή” και “μετά την επισκευή” απεικονίζεται στο σχήμα 4.

Επί πλέον, μέτρηση των φασμάτων RF σε τρία διαφορετικά επίπεδα φορτίου μετά την επισκευή της γεννήτριας έδειξαν πολύ μικρή διαφορά στο επίπεδο και το σχήμα του φάσματος RF.



Σχήμα 5. Μεγέθυνση των κρατήρων σχήματος αυγού στην πλάκα χαλκού

Η κατεστραμμένη (με κοιλότητα, βούλες, αμυχές και ρωγμές) περιοχή της αρχικής πλάκας του χαλκού αναλύθηκε και παρατηρήθηκε με μεγάλη λεπτομέρεια.



Σχήμα 6. Σχήμα του μόνιτορ RF σταθερής συχνότητας

Μια μεγέθυνση μιας περιοχής της πλάκας η οποία δείχνει την απουσία του τόξου απεικονίζεται στο σχήμα 5. Οι κρατήσεις σχήματος - αυτού στην επιφάνεια του χαλκού δείχνουν καθαρά ότι υπάρχει μια κατάσταση τόξου μεταξύ της επιφάνειας της πλάκας και της επιφάνειας επίστρωσης της πλάκας στα νήματα (ίνες) του χαλκού στον ακροδέκτη της εύκαμπτης φάσης. Τα

αποτελέσματα αυτού του προγράμματος είναι μία πειστική απόδειξη ότι ο έλεγχος RF μπορεί να είναι ένα σπουδαίο εργαλείο για την ανίχνευση εσωτερικού φαινομένου τόξου στα τυλίγματα του στάτορα των γεννητριών.

Για συνεχή έλεγχο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένας σταθερός μετρητής θορύβου ραδιοσυχνότητας και ένας καταγραφέας γραφικής παράστασης (σε μορφή λωρίδας χαρτιού). Μια απεικόνιση ρύθμισης ενός μόνιτορ σταθερής συχνότητας φαίνεται στο σχήμα 6

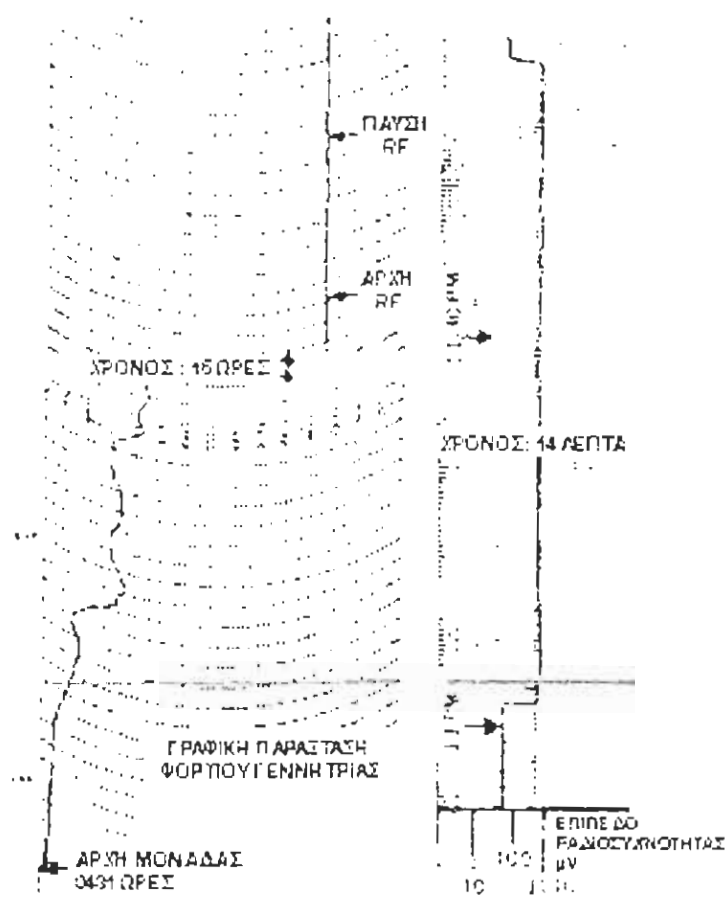
### ***3.2. Μόνιτορ σταθερής (καθορισμένης) συχνότητας***

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη ευαισθησία στον εντοπισμό του τόξου όταν χρησιμοποιείται ένα μονό, σταθερής (φιξαρισμένης) συχνότητας σύστημα ελέγχου, είναι απαραίτητο να επιλέξουμε την συχνότητα η οποία διεγείρεται από το φαινόμενο τόξου (στα νήματα, ίνες καλωδίων). Έρευνες έχουν δείξει ότι ο συντονισμός που διεγείρεται από μία κατάσταση τόξου στα νήματα (των καλωδίων) καθορίζεται από την επαγωγή στα άκρα των μέσων πηνίων του στάτορα και από την ηλεκτροχωρητικότητα των στοιχείων. Για γεννήτριες από 600 MVA μέχρι 850 MVA η συχνότητα συντονισμού αντήρησης) είναι της τάξης του 1MHz.

Σ'όλη την επικράτεια των Ηνωμένων Πολιτειών έγινε εγκατάσταση τέτοιων μόνιτορ σταθερής συχνότητας (1MHz) σε μεγάλες γεννήτριες. Από τα έξι που εγκαταστάθηκαν, τα δύο



είναι επιτυχημένα όσον αφορά τον εντοπισμό δύο ξεχωριστών περιπτώσεων όπου είχαμε συνθήκες τόξου (στάσιμες των καλωδίων) κάτι που αποδεικνύει την ικανότητα τους να εντοπίζουν βλάβη λόγω κόπωσης στον αγωγό σε ένα αρχικό στάδιο πριν να έχουμε καταστροφικά αποτελέσματα στα τυλίγματα του στάτορα της γεννήτριας.



Σχήμα 7. RF και η αντίστοιχη γραφική παράσταση φορτίου γεννήτριας

Μια τέτοια περίπτωση εντοπισμού τόξου ήταν σε μια μονάδα 600MVA η οποία είχε ένα μόνιτορ RF σταθερής συχνότητας

εγκατεστημένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη. Το μόνιτορ σταθερής συχνότητας εγκαταστάθηκε στην γεννήτρια ενώ ακολούθησε ένας πλήρης έλεγχος των τυλιγμάτων του στάτορα.

Καμιά βλάβη λόγω καταστάσεων τόξου δεν είχε γίνει γνωστή στα τυλίγματα του στάτορα αφότου είχε επιστέψει από την επισκευή.

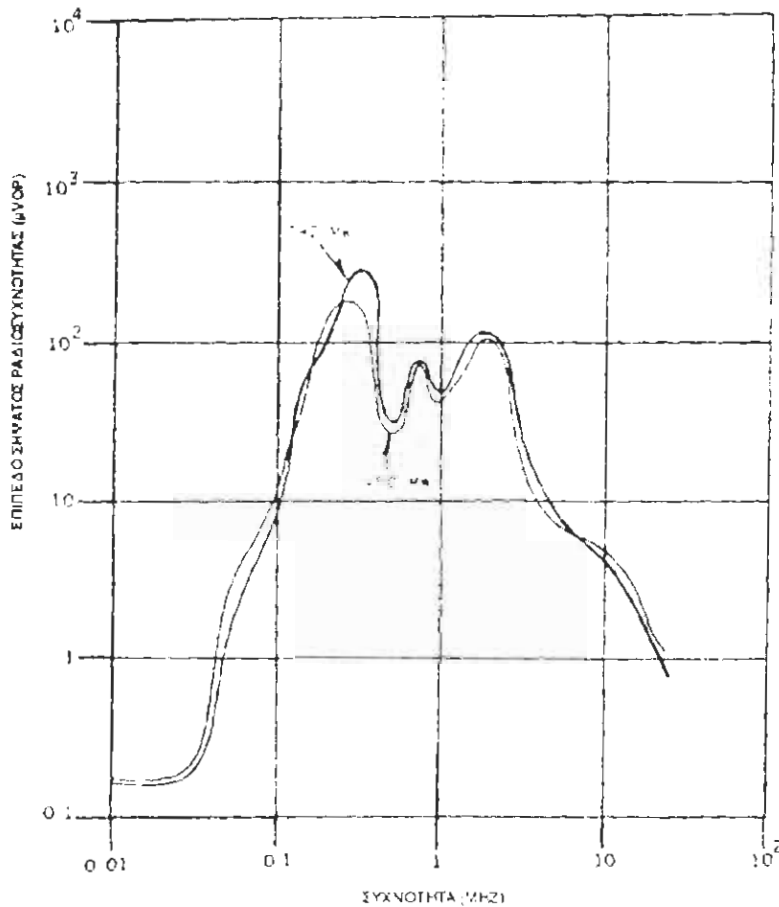
Περίπου 18 ώρες μετά την έναρξη λειτουργίας το επίπεδο RF αυξήθηκε από ένα κανονικό επίπεδο των 100μV σε 1000μV και έμεινε σε αυτό το υψηλό επίπεδο για περίπου 45 λεπτά. Η γραφική παράσταση φορτίου (load stripchart) της γεννήτριας και η καταγραφή RF του μόνιτορ δείχνονται στο σχήμα 7.



*Σχήμα 8. Μεγέθυνση σπασμένου και τοξωτού νήματος που έδωσε το σήμα RF που φαίνεται στο σχήμα 7*

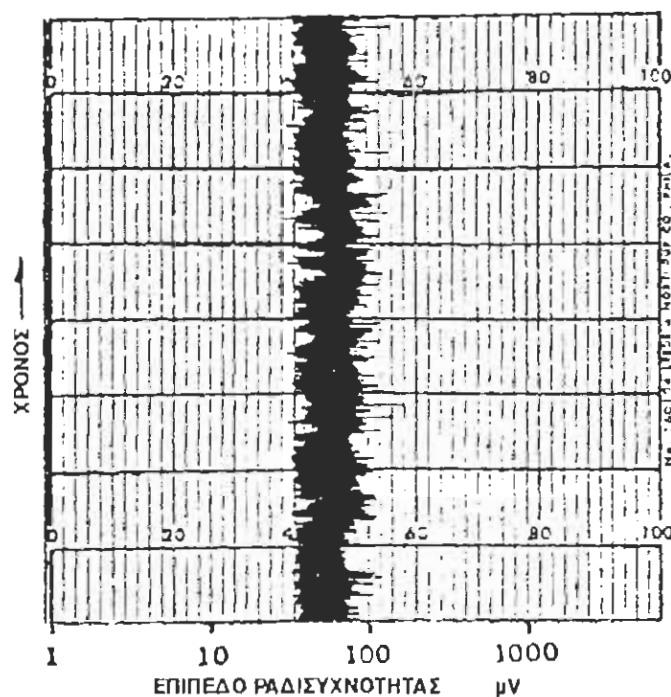
Όταν το επίπεδο RF γύρισε πάλι στο κανονικό επίπεδο των 100μV, παρέμεινε εκεί για πάνω από τρεις εβδομάδες, όταν ένας έλεγχος των τυλιγμάτων του στάτορα αποκάλυψε ένα

τοξωτό νήμα (ίνες καλωδίου) σε ένα πηνίο που βρίσκονταν στην πλευρά γραμμής των τυλιγμάτων του στάτορα. Μια μεγέθυνση από ένα σπασμένο και τοξωτό νήμα απεικονίζεται στο σχήμα 8.



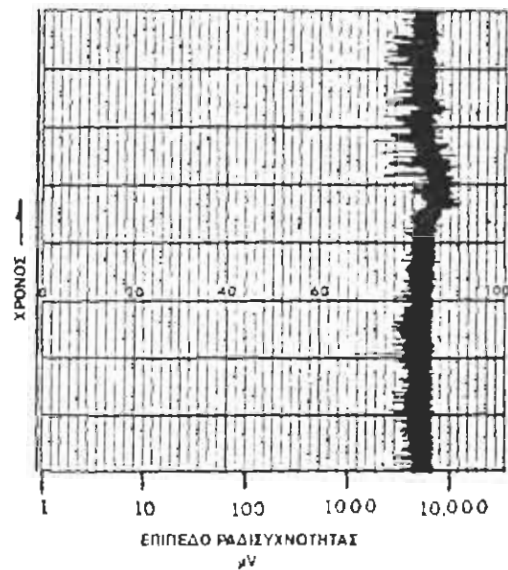
Σχήμα 9. Κανονικά φάσματα σε δύο πολύ διαφορετικά επίπεδα φόρτισης  
 Η άλλη περίπτωση εντοπισμού φαινομένου τόξου νήματος είναι μια από τις πιο καλά τεκμηριωμένες και επιβεβαιωμένες περιπτώσεις μέχρι σήμερα Ραδιομετρήσεις του φάσματος

συχνότητας έγιναν στην συγκεκριμένη μονάδα σε δύο τελείως διαφορετικά επίπεδα φόρτισης μια εβδομάδα πριν από έναν πλήρη έλεγχο του τυλίγματος του στάτορα. Η σύγκριση των φασμάτων RF που μετρήθηκαν σε δύο διαφορετικά επίπεδα φόρτισης απεικονίζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 10

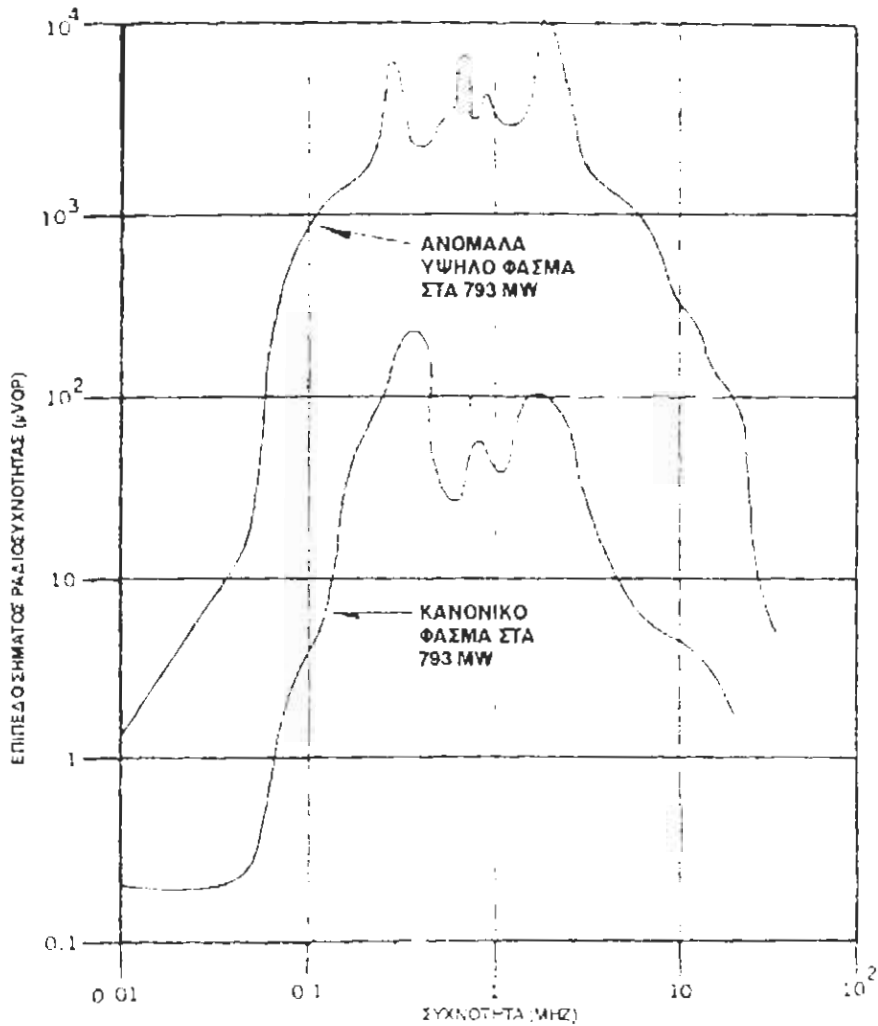
Τα δύο φάσματα είναι όμοια στο επίπεδο και στο σχήμα και δηλώνουν ότι στην προκειμένη χρονική στιγμή δεν είχε ανιχνευτεί κανένα φαινόμενο τόξου. Έγινες έλεγχος στο τύλιγμα του στάτορα και έγιναν δοκιμές πτώσης τάσης προκειμένου να εξακριβωθεί η ακεραιότητα του τυλίγματος.



Σχήμα 11

Δεν βρέθηκε κανένα ελάττωμα στα τυλίγματα του στάτορα κατά την διάρκεια των δοκιμών πτώσης τάσης. Τα αποτελέσματα των δοκιμών πτώσης τάσης ήταν σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν στα τυλίγματα του στάτορα αμέσως μετά την κατασκευή του.

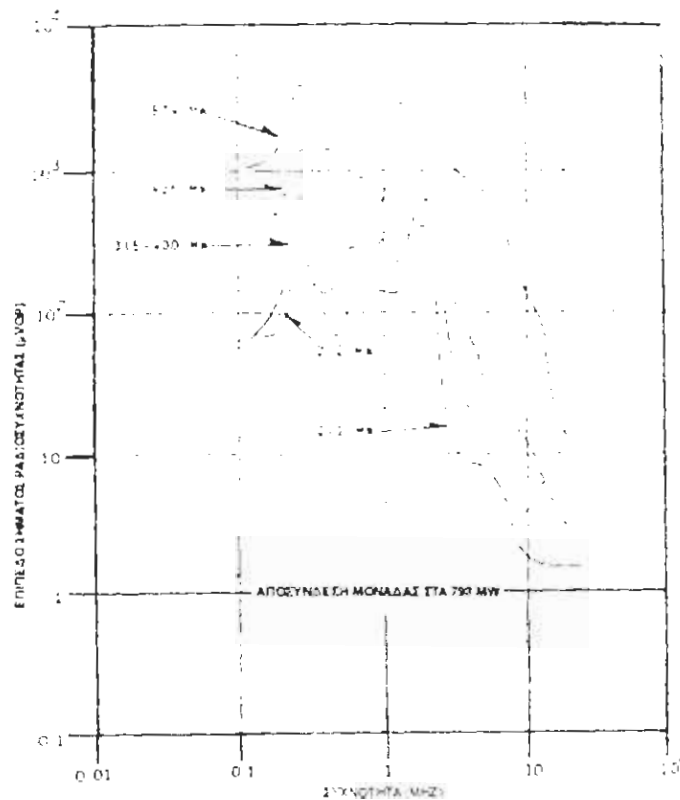
Ένα μόνιτορ RF τοποθετήθηκε στην μονάδα και μέχρι να τεθεί σε λειτουργία τα μόνιτορ σταθερής συχνότητας έδειξαν ένα χαμηλό επίπεδο RF όπως φαίνεται στο σχήμα 10 το επίπεδο RF ήταν κάτω από τα 100μV περίπου δύο μήνες αργότερα το επίπεδο RF αυξήθηκε από το κανονικό επίπεδο των 100μV στο επίπεδο πάνω από 3000μV. Ένα αντίγραφο από την καταγραφή του μόνιτορ RF (γραφική παράσταση) απεικονίζεται στο σχήμα 11.



Σχήμα 12. Σύγκριση κανονικού και ανώμαλου RF φάσματος. Περίπου μια αύξηση δύο τάξεων μεγέθους έγινε στο επίπεδο RF

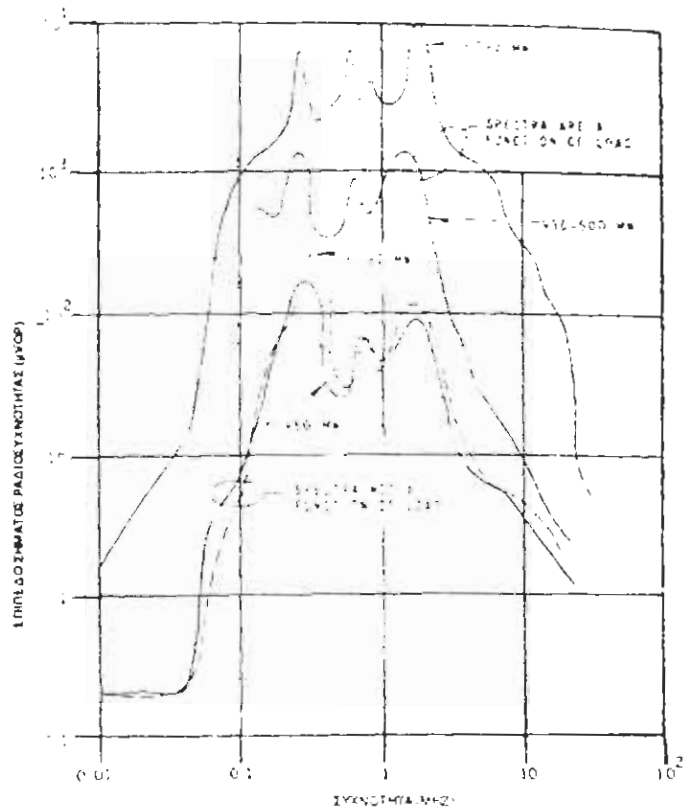
Εξαιτίας αυτού του ανώμαλα υψηλού επιπέδου RF όπως καταγράφηκε από το μόνιτορ σταθερής συχνότητας, έγινε μέτρηση ενός επαναλαμβανόμενου φάσματος RF και ήταν προφανές ότι έχει συμβεί μια σημαντική αλλαγή στις μονάδες του φάσματος RF. Και τα δύο φάσματα μετρήθηκαν στο ίδιο επίπεδο φόρτισης. Λόγω του υψηλού επιπέδου RF η γεννήτρια

τέθηκε εκτός λειτουργίας για να γίνει έλεγχος. Καθώς το φορτίο στην μονάδα μειωνόταν τα φάσματα RF μετρήθηκαν πάνω από το εύρος συχνότητας από 150KHz σε 30MHz για τέσσερα διαφορετικά επίπεδα φόρτισης.



Σχήμα 13. Σύγκριση φάσματος RF για διάφορες συνθήκες φόρτισης. Η εξάρτηση του επιπέδου RF από το φορτίο είναι ενδεικτική της κατάστασης εσωτερικού φαινομένου τόξου.

Στο σχήμα 13 γίνεται σύγκριση των τεσσάρων φασμάτων. Η εξάρτηση του επιπέδου RF από τις μεταβολές φορτίου είναι ενδεικτική μιας εσωτερικής κατάστασης τόξου.



Σχήμα 14 Η γραφική παράσταση δείχνει αρχικά ότι τα φάσματα RF δεν ήταν μια συνάρτηση της φόρτισης (δύο χαμηλότερες καμπύλες) ενώ τρεις μήνες αργότερα τα φάσματα RF ήταν μια συνάρτηση του φορτίου (οι δύο πάνω καμπύλες)

Το σχήμα 14 δείχνει ότι αρχικά τα φάσματα RF δεν ήταν συνάρτηση της φόρτισης (δύο χαμηλότερες καμπύλες) ενώ τρεις μήνες αργότερα τα φάσματα RF ήταν συνάρτηση της φόρτισης (οι δύο ψηλότερες καμπύλες). Κατά τον έλεγχο του τυλίγματος του στάτορα βρέθηκε ένα σύνολο δεκαέξι σπασμένων νημάτων στα πηνία. Έξι από τα δεκαέξι είχαν ενδείξεις φαινόμενου τόξου ενώ φωτογραφίες πραγματικού



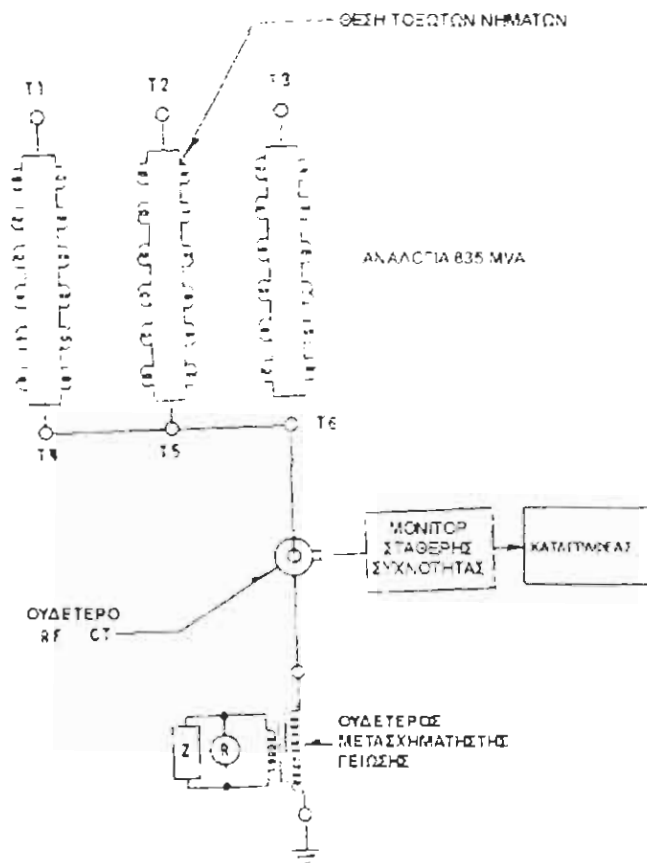
μεγέθους των σπασμένων και τοξωτών νημάτων απεικονίζονται στο σχήμα 15. Μεγέθυνση δέκα φορές των έξι νημάτων φαίνεται στο σχήμα 16.



Σχήμα 15 Φωτογραφίες πραγματικού μεγέθους από έξι σπασμένα και τοξωτά νήματα

Σχήμα 16. Μεγέθυνση δέκα φορές των νημάτων που δείχνει καμένη μόνωση και λειωμένο χαλκό, ένδειξη ότι υπήρξε μια κατάσταση φαινομένου τόξου

Η καμένη μόνωση του νήματος και ο λειωμένος χαλκός είναι απόδειξη του ότι υπήρξε συνθήκη τόξου. Μια σημαντική άποψη εντοπισμού των τοξωτών νημάτων με το μόνιτορ RF σταθερής συχνότητας, είναι ότι τα τοξωτά νήματα βρίσκονται στο άκρο της φάσης η οποία ήταν ηλεκτρικά η πιο απομονωμένη θέση σε σχέση με το σημείο μέτρησης RF του ουδέτερου του στάτορα όπως φαίνεται στο σχήματα 17.



Σχήμα 17. Το σχήμα δείχνει ότι η θέση των τοξωτών νημάτων ήταν ηλεκτρικά ή πιο απομακρυσμένα από το ουδέτερο σημείο καταγραφής. Η γεννήτρια επισκευάστηκε και επανατέθηκε σε λειτουργία. Το επίπεδο RF ήταν κάτω από τα 100μV ένα κανονικό δηλαδή επίπεδο για αυτή την μονάδα.

## Κεφάλαιο 4

### Διαγνωστικές δοκιμές μόνωσης γεννήτριας

**M. Kurtz, J.F. Lyles**

#### *Γενικά*

Νωρίς στο 1974 η εταιρία Ontario Hydro άρχισε να ασχολείται με την σοβαρή εκφόρτιση των σχισμών όπως και με την μηχανική φθορά λόγω λείανσης που παρουσίαζαν μερικά τυλίγματα θερμοδυναμικά μονωμένα, σε στάτορες υδραυλικών γεννητριών που εγκαταστάθηκαν την περίοδο από το 1969 έως το 1971.

Την περίοδο εκείνη το κύριο ενδιαφέρον ήταν ο γρήγορος ρυθμός με τον οποίον συνέβαινε η φθορά της μόνωσης προκαταρκτική εξέταση που έγινε στις γεννήτριες αποκάλυψε ότι κάθε γεννήτρια είχε τα μισά πηνία της χαλαρά σε αρκετές σχισμές, σπασμένα δεσίματα κεφαλής, μετακινημένες σφήνες και γόμωση σε βάθος (depth Parking) Λεπτομερής εξέταση που επακολούθησε αποκάλυψε σημαντική φθορά (λείανση) της μόνωσης του τοιχώματος στην γραμμή και στις πλευρές των πηνίων, και που εκτείνονταν στο 80% των σειρών πηνίων που αποτελούν ένα κύκλωμα φάσης. Το υπόλοιπο 205 των πηνίων στο ουδέτερο της φάσης δεν είχαν επηρεαστεί.

Αφ'ότου 57 υδραυλικές γεννήτριες και 2 σύγχρονοι συμπυκνωτές ήταν εξοπλισμένοι με θερμοδυναμική μόνωση, η δουλειά της εξέτασης των μηχανών για παρόμοια προβλήματα είχε πολλές δυσκολίες. Έτσι λοιπόν αποφασίστηκε να ληφθεί υπ'όψη η πιθανότητα της δοκιμής μερικής εκφόρτισης των αυτοδιεγειρόμενων μηχανών σαν μια εναλλακτική λύση στο πρόβλημα της φυσικής (χειρωνακτικής εξέτασης).



*Σχήμα 1. Φορητός συμπυκνωτής ζεύξης μερικής εκφόρτισης κατασκευασμένος από δακτύλιους καλωδίου ισχύος.*

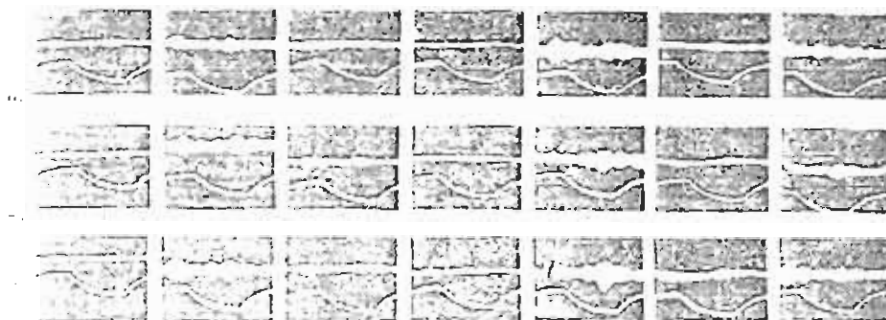
#### **4.1. Διαγνωστικές δοκιμές**

Η δοκιμή μερικής εκφόρτισης γίνεται σε μία αυτοδιεγειρόμενη μηχανή. Οι ελεύθεροι εκφόρτισης φορητοί "συμπυκνωτές



προοδευτική αποσύνθεση (φθορά), η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μηχανών και ειδικότερα η εφαρμογή προηγούμενης εμπειρίας της ερμηνείας των δεδομένων δοκιμών, απαιτεί ένα πιο αντικειμενικό κριτήριο.

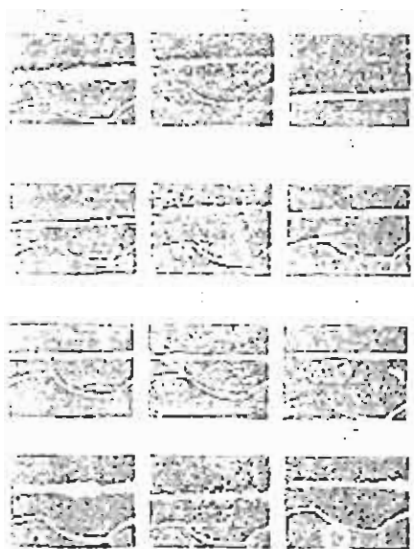
Αφού ο ρυθμός φθοράς της μόνωσης προς την φθορά εκφόρτισης πρέπει να συνδέεται άμεσα με την ποσότητα φορτίου που μεταφέρεται στην μονάδα του χρόνου, η μέγιστη ποσότητα φόρτισης σε Pico-coulombs (PC) έχει γίνει η σημαντική ποσότητα στις μετρήσεις εκφόρτισης.



*Σχημα 3. Σχέδιο εκφόρτισης σήματος που λήφθηκαν από ταυτωσήμες γεννήτριες και ανθεκτικά θερμοπλαστικά και νέα θερμοδομικά συστήματα μόνωσης που κυμαίνονται σε ηλικία από 1 μέχρι 24 χρόνων*

Αυτή η ποσότητα που προσδιορίζεται στην ονομαστική τάση λειτουργίας με την μηχανή να έχει αυτοδιεγερθεί, επιλέχτηκε για τις μετρήσεις έναρξης και απόσβεσης τάσης, που μπορούν να επιτευχθούν μεταβάλλοντας την διέγερση σε μια μονωμένη μηχανή, επειδή οι τελευταίες ποσότητες δεν σχετίζονται με την συνθήκη των τυλιγμάτων. Σήμερα είναι διαθέσιμες τεχνικές με

τις οποίες γίνεται εισαγωγή γνωστού φορτίου στον συζευκτήρα έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια σταθερά διόρθωσης για κάθε μηχανή για την μετατροπή των mV σε PC (Pico-coulombs). Αυτή η διαγνωστική δοκιμή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στα μεγάλα σήματα που συχνά συνδέονται με την εκφόρτιση σχισμών. Επίσης έχει βοηθήσει σημαντικά στην εξακρίβωση αποελασματοποιημένη μόνωσης και της βαθμιαίας φθοράς στο χρώμα.



*Σχήμα 4. Σχέδια εκφόρτισης σήματος από γεννήτριες με θερμοδομικά συστήματα μόνωσης που κυμαίνονται σε ηλικία από 1 μέχρι 24 χρόνια.*

#### **4.2. Επιτόπου επισκευές**

Ενώ το αρχικό πρόγραμμα δοκιμών προχώρησε, το προσωπικό συντήρησης ηλεκτρικών στρεφόμενων μηχανών

της εταιρίας Ontario Hydro άρχισαν συζητήσεις με τον κατασκευαστή για το πρόβλημα των γεννητριών σχετικά με διαδικασίες πιθανών επισκευών επί τόπου, ενώ ταυτόχρονα όλες οι γεννήτριες που ενσωματώνουν παρόμοια συστήματα μόνωσης, εξετάστηκαν χειρωνακτικά (φυσικά) αφού μετακινήθηκαν οι ρότορές τους. Τα σχήματα 5 και 6 δείχνουν το “αποτέλεσμα κλίμακας” της φθοράς του τοιχώματος και την ζημιά λόγω εκφόρτισης σχισμής τα οποία βρέθηκαν ύστερα από λεπτομερείς ελέγχους. Το σχήμα 7 δείχνει την φθορά που βρέθηκε σε ένα θερμοδομικά μονωμένο τύλιγμα πολύστροφου πηνίου.



*Σχήμα 5 και 6. “Κλιμακωτή” φθορά τοιχώματος*

Η απόφαση λήφθηκε προκειμένου να επισκευαστούν επιτόπου τέσσερις γεννήτριες που κατασκευάστηκαν κατά την διάρκεια



του καλοκαιριού του 1975, και σε ένα τύλιγμα που εγκαταστάθηκε το 1974 από το προσωπικό της εταιρίας Ontario Hydro, τα οποία παρουσίαζαν συμπτώματα ηχητικής εκφόρτισης σχισμής.

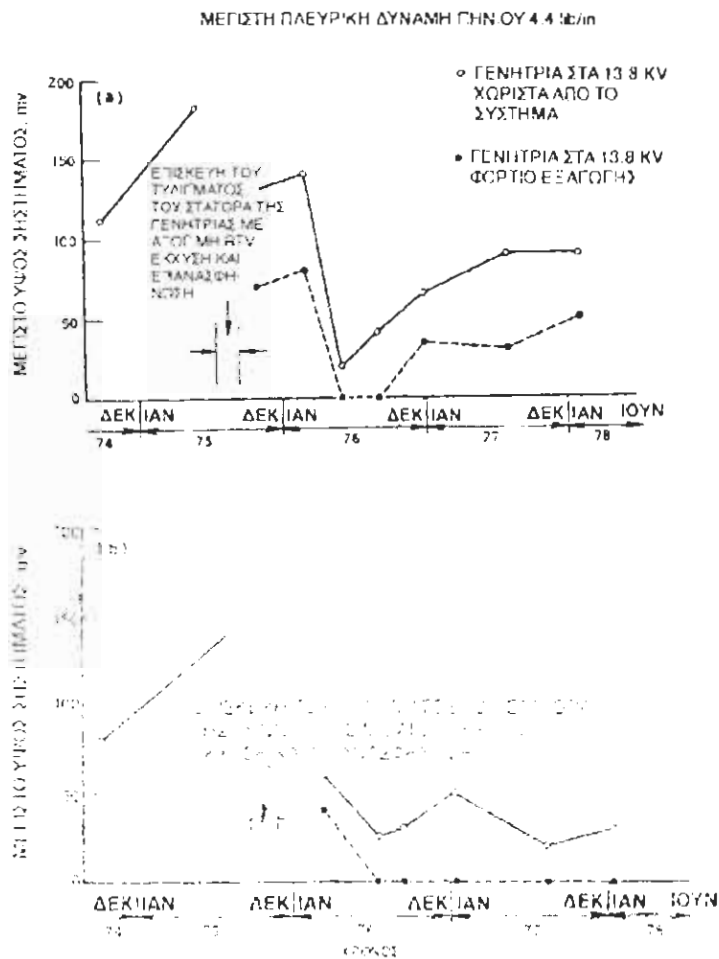
Μια τεχνική επισκευής εφάρμοζε την έκχυση (εισχώρηση) ημιαγωγίμου ελαστικού σιλικόνης με την μπάρα να πιέζεται προς την μια πλευρά της σχισμής, ενώ μια άλλη είχε σχέση με την επανα-τοποθέτηση ημιαγωγίμου χρώματος με την χρήση μιας τεχνικής έκχυσης (εισχώρησης) "ελαιοδοχείου", η οποία εφαρμόζεται και στις δύο πλευρές του πηνίου του στάτορα.



*Σχήμα 7. Εκφόρτιση σχισμής πολύστρωφου πυρήνα και φθορά λείανσης όπως φαίνεται από το πάνω μέρος του πυρήνα.*

Στην συνέχεια το ημιαγωγίμο χρώμα στεγνώνει με αέρα και τα πηνία τοποθετούνται στις πλευρές στο δικό μας σφιγμένο στάνταρ πρότυπο των 0.05 χιλιοστών (0.002 ίντσες). Η

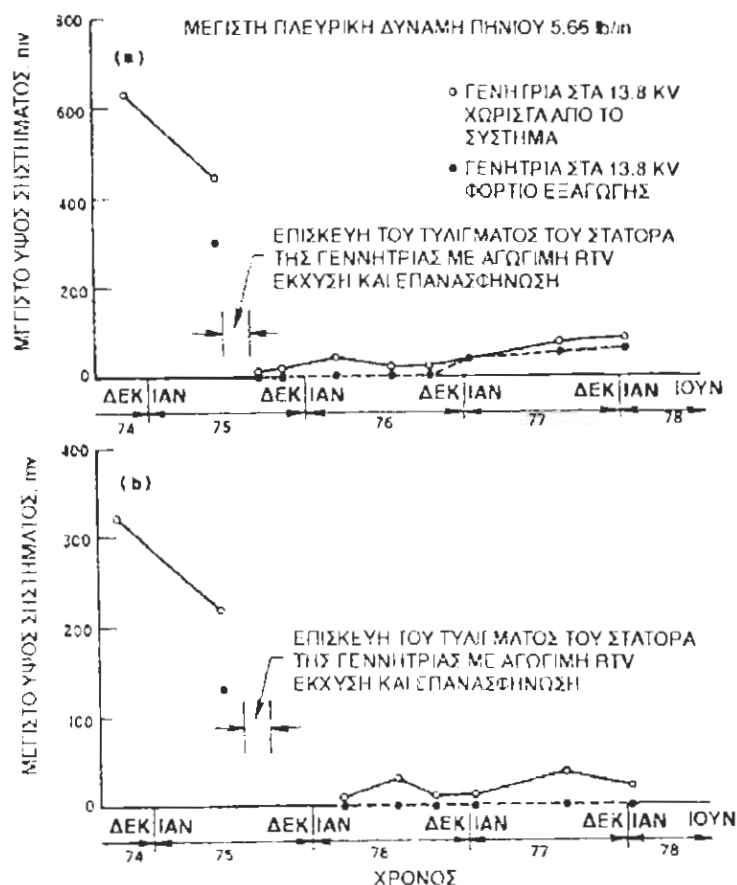
αντίσταση επαφής πηνίου σε πυρήνα ελέγχθηκε κατά τακτά διαστήματα και καταγράφηκε πριν να γίνει επανασφήνωση.



Σχήμα 8(α) και (β) Μεταβολή του μεγέθους εκφόρτισης με το χρόνο 9α) μονάδα 1 (β) μονάδα 2

Τα αποτελέσματα των διαγνωστικών δοκιμών σαν συνάρτηση του χρόνου δείχνονται στα σχήματα 8 μέχρι 10 για πέντε γεννήτριες της εταιρίας Ontario-Hydro, πριν και μετά την επισκευή. Εξέταση αυτών των γραφικών παραστάσεων δείχνει ότι οι επισκευές ήταν αρχικά επιτυχημένες στην μείωση της

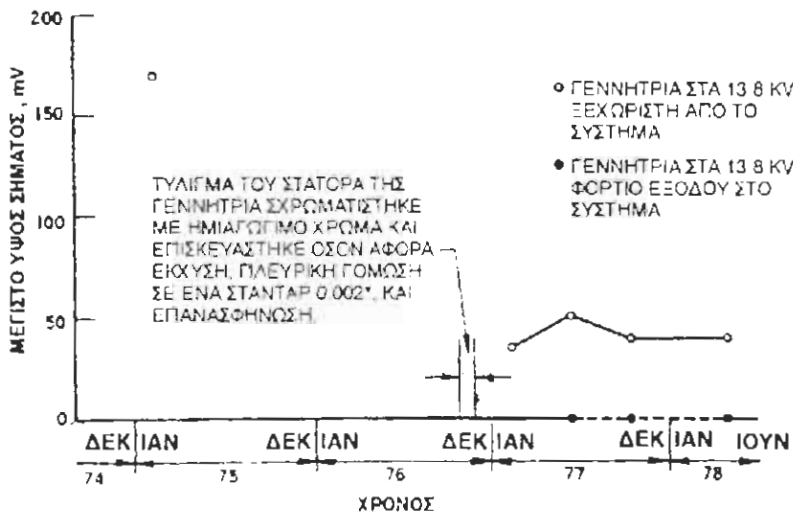
δραστηριότητας εκφόρτισης στις σχισμές από τα υψηλά επίπεδα που παρατηρήθηκαν πριν από την επισκευή.



Σχήμα 9(α) και 9(β). Μεταβολή του μεγέθους εκφόρτισης με το χρόνο (α) μονάδα 3 (β) μονάδα 4

Όμως η δραστηριότητα αυξάνεται σιγά-σιγά στις μονάδες 1,3 και 5. Πιστεύουμε ότι η αιτία για αυτό ήταν ότι η επίστρωση (επίχρισμα) χρώματος της σχισμής στα κατεστραμμένα πηνία δεν είχε φρεσκαριστεί (επανατοποθετηθεί) και το ποσό της ζημιάς λόγω φθοράς ήταν υπερβολικό.

Δύο άλλες μονάδες έχουν επισκευαστεί όσον αφορά τις επιστρώσεις χρώματος και οι δύο αυτόν τον καιρό δίνουν τιμές δοκιμών ισοδύναμες με τιμές μιας νέας εγκατάστασης. Αυτές οι επισκευές έγιναν πριν τα μεγέθη μερικής εκφόρτισης να φτάσουν τις μέγιστες τιμές που επιτεύχθηκαν στην μονάδα 1 (σχήμα 8α) και στην μονάδα 3 (σχήμα 9α).



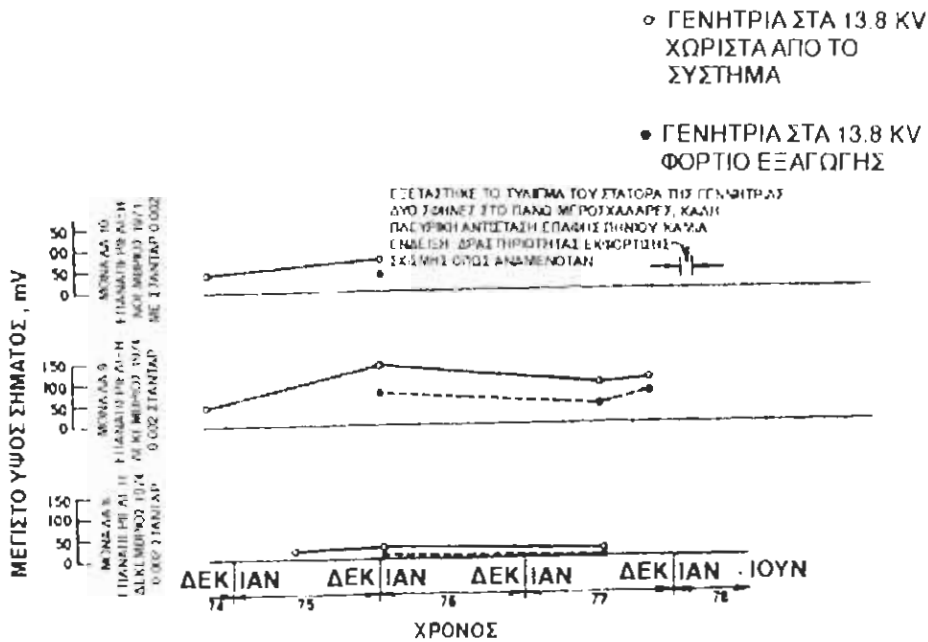
Σχήμα 11. Μεταβολή του μεγέθους εκφόρτισης με το χρόνο μονάδα 7

#### Αυτές οι μηχανές είναι:

Μονάδα 6-50 MVA, υδρογονόψυκτος σύγχρονος συμπυκνωτής - κατασκευαστής "B", θερμοδομικό σύστημα μόνωσης (Ευρωπαϊκό) (επισκευή τον Ιούνιο 1976) και

Μονάδα 7-80 MVA γεννήτρια - κατασκευαστής "C", θερμοδομικό σύστημα μόνωσης (ΒορειοΑμερικάνικο) (επισκευή τον Νοέμβριο του 1976). (βλέπε σχήμα II).

## ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΗΝΙΟΥ 3.14 Ib/in



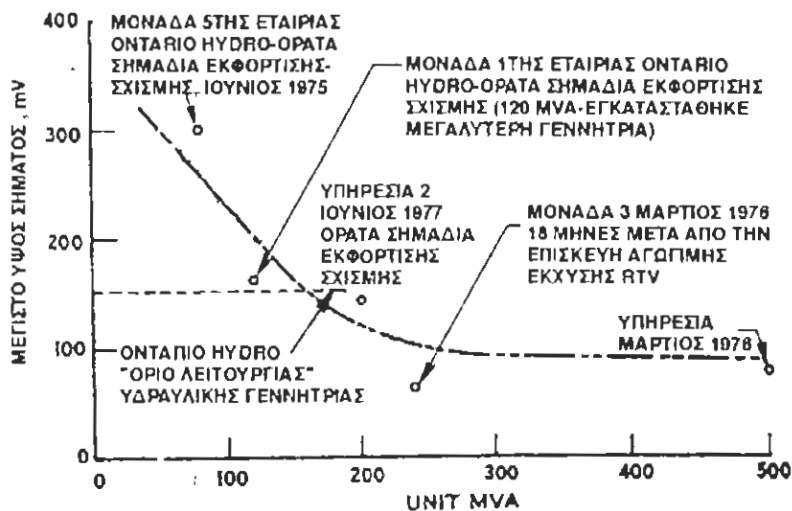
Σχημα 12. Μεταβολή του μεγέθους εκφόρτισης με το χρόνο μονάδες 8, 9 και

10

### 4.3. Εμπειρία δοκιμών σε επανατυλιμένες γεννήτριες (στις οποίες έχει γίνει ξανά περιέλιξη).

Νωρίς στο 1975 το προσωπικό ηλεκτρικής συντήρησης των περιστρεφόμενων μηχανών της Ontario Hydro έκδωσε το "Οδηγίες για την επαναπεριέλιξη του στάτορα Υδραυλικών Γεννητριών" το οποίο περιέγραψε λεπτομερώς πόσο σφιχτά θα έπρεπε να τυποθετούνται τα θερμοδομικά μονωμένα τυλίγματα, καθώς και λεπτομερείς μεθόδους οι οποίες να χρησιμοποιούνται για να γίνεται έλεγχος της πλευράς του πηνίου ως προς την αντίσταση επαφής του πυρήνα του

στάτορα. Μέχρι το τέλος περίπου του 1974 έξι γεννήτριες επαναπεριελίχτηκαν με ένα σάνταρ τύπο δεσίματος (σφιξίματος) των 0.05 mm. Ο πίνακας 1 έχει λεπτομέρειες αποτελεσμάτων δοκιμών εκφόρτισης τα οποία λήφθηκαν από τρεις από τις επανατυλιγμένες γεννήτριες. Το σχήμα 12 δείχνει μια σύγκριση των διαγνωστικών δοκιμών που έγιναν στα τυλίγματα μηχανών που εγκαταστάθηκαν από το προσωπικό της εταιρίας Ontario Hydro με οδοντωτό δέσιμο (σφιξίμο) και αυτών με σάνταρ δέσιμο των 0.05 χιλιοστών.



Σχήμα 13. Μεταβολή του μεγέθους κφόρτισης με την διαβάθμιση ακριβώς πριν να γίνει φυσική εξέταση

#### **4.4. Εμπειρία από δοκιμές άλλων υπηρεσιών του Καναδά**

Εμπειρία από δοκιμές από άλλες Καναδικές υπηρεσίες απεικονίζεται στο σχήμα 13 όπου οι τιμές μεγέθους εκφόρτισης πλοτάροντας (απεικονίζονται γραφικά) σε σχέση με το MVA για δύο μηχανές της εταιρίας Ontario Hydro και για τρεις μηχανές από άλλες υπηρεσίες. Οι τιμές εκφόρτισης λήφθηκαν ακριβώς πριν από την φυσική (χειρωνακτική) εξέταση όπου τα τυλίγματα του στάτορα της γεννήτριας βρέθηκαν να είναι σε προχωρημένη κατάσταση εκφόρτισης σχισμής μηχανικής αποσύνδεσης φθοράς που προκλήθηκε εξαιτίας της δόνησης. Η φαινόμενη μείωση των μέγιστων επιπέδων εκφόρτισης σε mV μαζί με τον αυξανόμενο ρυθμό της μηχανής ανακλά στην επιρροή του μεγέθους της μηχανής στον παράγοντα μετατροπής από mV σε ρc. Η τεχνική επίτευξης τέτοιας διόρθωσης έχει μόλις αναπτυχθεί μέσα στην τελευταία χρονιά ή κάτι τέτοιο.

Ενα σήμα του 1 mV βρέθηκε να αντιπροσωπεύει μια πραγματική μεταφορά φορτίου από παντού για τιμές 9 μέχρι 30 ρc εξαρτώμενο από το αποτέλεσμα φόρτισης της μηχανής και από τις εμπεδώσεις του κυκλώματος.

Σε μια υπηρεσία χρειάστηκε να γίνουν δοκιμές νωρίς το 1976 και έτσι τεσταρίστηκαν (δοκιμάστηκαν) όλες οι μηχανές στον συγκεκριμένο σταθμό. Φυσική εξέταση αποκάλυψε διάφορα στάδια ζημιάς (φθοράς) στα τυλίγματα του στάτορα. Η γεννήτρια της οποίας τα αποτελέσματα δοκιμών δίνονται στο σχήμα 13 (Υπηρεσία 1) είχε υποστεί την μεγαλύτερη ζημιά

εκείνη την δεδομένη στιγμή παρ'όλο που δεν είχε τον μεγαλύτερο αριθμό ωρών λειτουργίας. Σημειώθηκε αστοχία στο τύλιγμα πριν προλάβουν να εφαρμοστούν διαδικασίες επισκευής.

Σε μια άλλη υπηρεσία παρουσιάστηκαν προβλήματα με παρόμοιες γεννήτριες. Οι μπάρες που μετακινήθηκαν από ένα κατεστραμμένο τύλιγμα του στάτορα δείχνουν το "φαινόμενο κλίμακας" το οποίο ήταν χαρακτηριστικό για τις μπάρες που μετακινήθηκαν από αρκετές γεννήτριες της εταιρίας Ontario Hydro.

#### ***4.5. Καθορισμός των "οριακών τιμών λειτουργίας" στις διαγνωστικές δοκιμές.***

Αρχικά δεδομένα διαγνωστικών δοκιμών, προερχόμενα από τυλίγματα του στάτορα τα οποία έχουν υποστεί ζημιές, έδωσαν τιμές από 150 μέχρι το ύψος των 700 mV. Διαγνωστικές δοκιμές τρεις με τέσσερις μήνες μετά την επαναλειτουργία θερμοδομικά μονωμένων επαναπεριελίξεων του στάτορα, που εγκαταστάθηκε από το προσωπικό της εταιρίας Ontario Hydro από το 1975 μέχρι σήμερα (εννοείται η ημ/νία του Paper) για ένα στάνταρ δεσίσματος 0,05 mm έδωσαν τιμές από 10 μέχρι 50 mV.



## Πίνακας 1

Αποτελέσματα δικιμών σε γεννήτριες της Ontario Hydro που έχουν επαναπεριελιχθεί με 0,05 χιλιοστά (0,002 ίντσες) στανταρ δεσίματος (σφιξίματος) σε MV

	Αναλογία	Μέγιστη δύναμη μπάρας	1975				1976				1977			
			R	W	B		R	W	B		R	W	B	
Μονάδα 9 επαναπεριελίξη οκτώβριος 74	50	3 14	14	16	18	s	14	18	30	s	12	16	14	s
Μονάδα 8 επαναπεριελίξη οκτώβριος 75	50	3 14					12	20	32	s				
							8	12	8	FL				
Μονάδα 11 επαναπεριελίξη οκτώβριος 76	46	4 1									0	0	0	s
											0	0	0	FL

Key: s-Ξεχωριστά από το σύστημα - διαβαθμισμένη τάση

FL- πλήρες φορτίο, διαβαθμισμένη τάση, διαβαθμισμένα  
MW, MVAR φόρτιση

## Πίνακας 2

Όρια λειτουργίας: Τα όρια που περιγράφονται με λεπτομέρεια παρακάτω έχουν δώσει μια καλή πρόβλεψη για τις υδραυλικές γεννήτριες που έχουν εγκατασταθεί από την εταιρία Ontario Hydro, συμπεριλαμβάνονται και τα συστήματα θερμοδομικά μονωμένων τυλιγμάτων του στάτορα.

Ένδειξη δοκιμής mn (pc)	Διάστημα δοκιμής που συνιστάται	Πρόβλεψη κατάστασης
<60(500)	κάθε 2 χρόνια	Η περιέλιξη θα γίνει όπως στην κατάσταση αρχικής εγκατάστασης, σφίχτεί με καλή αντίσταση επαφής του πυρήνα του στάτορα τόσο για τις γραμμικές πλευρές όσο και τις πλευρές του δεύτερου πηνίου.
60-150 (500-1250)	κάθε χρόνο	Η περιέλιξη θα βρεθεί να έχει μερικές χαλαρές σφήνες και μετανάστευση βαθύτερα και γόμωσης. Μερικές πλευρές πηνίου στο άκρο της γραμμής θα βρεθούν χαλαρές 0,12 χιλιοστά (0,005 ίντσες) σε 0,25 χιλ. (0,010 ίντσες). Η πλευρική αντίσταση επαφής του πηνίου στον πυρήνα του στάτορα θα ποικίλει σημαντικά για σφιχτές ή χαλαρές σφήνες του πηνίου.
>150 (1250)	Δεύτερη δοκιμή της περιέλιξης της γεννήτριας τρεις μήνες πριν την φυσική εξέταση.	Το τύλιγμα (περιέλιξη) θα βρεθεί να έχει πολλές σχισμές με χαλαρές σφήνες και μετανάστευση της γόμωσης προς το βάθος. Πιθανά ορατά σημάδια εκφόρτισης σχισμής μεταξύ των πλευρών γραμμής και πηνίου και του σιδερένιου πυρήνα του στάτορα. Η έμφραξη του τέλους της κεφαλής μπορεί να έχει χαλαρώσει.
	σχεδιάζεται επισκευή επιτόπου	

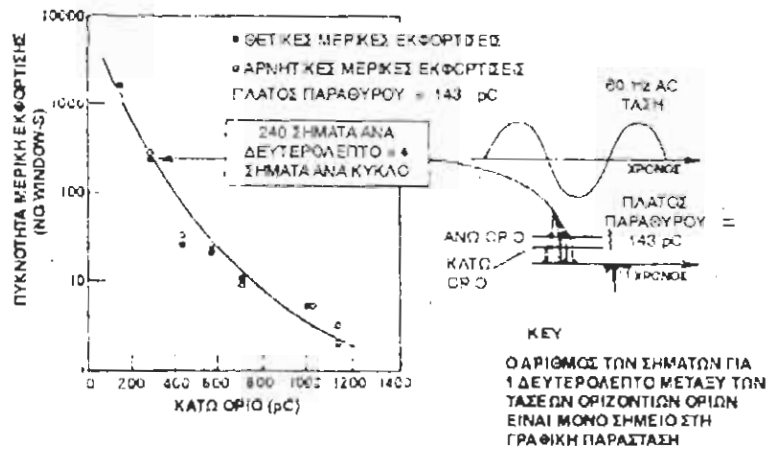
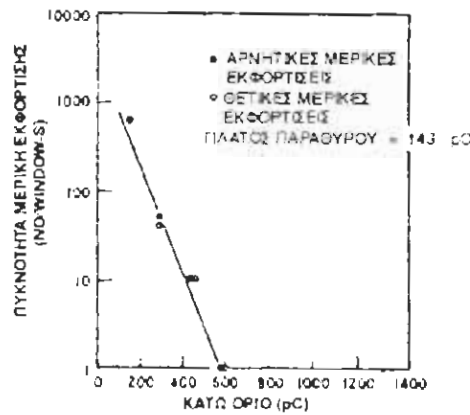
Τα δεδομένα που λήφθηκαν από ορισμένες γεννήτριες το 1975 ήταν μεταξύ 50 και 150mV. Φυσική εξέταση αυτών των ειδικών τυλιγμάτων (περιελίξεων) του στάτορα έγινε με τον ρότορα στην θέση του.

Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν ενδείξεις πολύ πρόωρης μετακίνησης της γόμωσης προς το βάθος κάτω από την σφήνα, καθώς και πρόωρη μετανάστευση σφηνών σε αρκετές σχισμές. Όμως δεν υπήρχαν καθόλου σημάδια εκφόρτισης σχισμής μεταξύ του πυρήνα σιδήρου του στάτορα και των πλευρών του πηνίου όπως παρατηρήθηκε από την κορυφή και την βάση του πυρήνα του στάτορα.

Σχετικά με αυτόν τον συσχετισμό μεταξύ των δεδομένων δοκιμής και της φυσικής εξέτασης, αποφασίστηκε να καθοριστούν “όρια λειτουργίας” όπως δίνονται στον πίνακα 2. Αυτά τα όρια θα τροποποιηθούν ανάλογα με το πως το υπαγορεύουν τα επιπλέον δεδομένα από τις δοκιμές και τις παρατηρήσεις. Χρησιμοποιώντας τέτοια “όρια λειτουργίας” έχουμε την ικανότητα να προβλέψουμε σωστά την κατάσταση (δεξιματος) σφιξίματος από 22 τυλίγματα γεννητριών πριν από μια σχεδιασμένη φυσική εξέταση. Δύο από αυτές τις γεννήτριες χρειάστηκαν επιτόπου επισκευές και σε αυτή την περίπτωση ήταν πιθανόν να προβλεφθεί σωστά ποιο τύλιγμα του στάτορα είχε υποστεί την μεγαλύτερη ζημιά.

Από το 1975 οι διαγνωστικές δοκιμές για τα τυλίγματα των γεννητριών διεξάγονται σύμφωνα με τις παρακάτω συνθήκες δοκιμών:

- Η γεννήτρια σε ταχύτητα, διαβαθμισμένη τάση, ξεχωριστή από το σύστημα,
- Η γεννήτρια συγχρονισμένη με το σύστημα, χωρίς να αποδίδει κανένα φορτίο, και
- Η γεννήτρια συγχρονισμένη με το σύστημα αποδίδοντας διαβαθμισμένα Mw και MVAR's. Τα σχήματα 8 μέχρι 12 δείχνουν γραφικές παραστάσεις δεδομένων από δοκιμές σε συνάρτηση με το χρόνο.



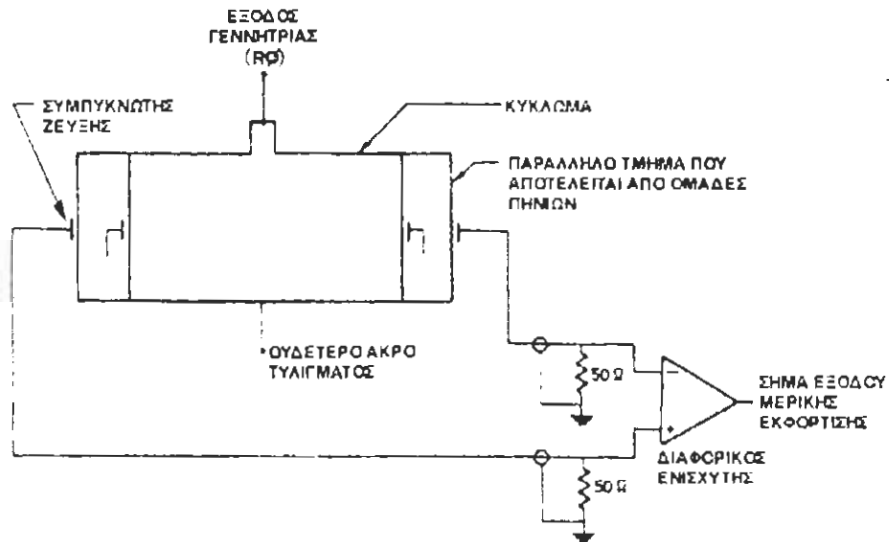
Τα δεδομένα από δοκιμές που λήφθηκαν κάτω από την συνθήκη δοκιμών (c) συμπεριλαμβάνονται για σκοπούς πληροφόρησης. Πιστεύεται εάν ένα πηνίο είναι “χαλαρό”, κίνηση αντίδρασης στις δυνάμεις που επιδρούν στο μισό πηνίο μπορεί να καταλήξει σε μια σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα δοκιμών μερικής εκφόρτισης, σαν συνάρτηση του φορτίου. Σε μερικές περιπτώσεις αυτά τα δεδομένα είναι μάλλον δύσκολο να ληφθούν εξαιτίας του αποτελέσματος επισκίασης του ηλεκτρικού θορύβου από το σύστημα για τους τύπους δοκιμών (b) και (c).

#### ***4.6. Πρόσφατες πρόοδοι στην τεχνική των δοκιμών***

Η τεχνική δοκιμών μερικής εκφόρτισης που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να ληφθούν τα δεδομένα που περιγράφονται σε αυτή την εργασία έχει αποδειχτεί χρήσιμη σαν ένας πρόωρος και όχι ακριβός δείκτης αναπτυσσόμενων προβλημάτων στην μόνωση του στάτορα της γεννήτριας. Όμως φάνηκε ότι χρησιμοποιώντας μόνο το μέγεθος του υψηλότερου ορατού σήματος στην οθόνη ενός ταλαντοσκοπίου, κρούει κινδύνους στο να χαθούν σημαντικές πληροφορίες δυναμικά εξαγωγίμες από το πλήρες σχέδιο εκφόρτισης.

Επίσης βρέθηκε ότι ο καθορισμός του μεγέθους του υψηλότερου σήματος είναι μάλλον εξαρτώμενος από τον χειριστή. Συνεπώς αργά το 1976 αναλήφθηκε ένα ερευνητικό πρόγραμμα με σπόνσορα την καναδική Ηλεκτρική Ένωση

(CEA) έτσι ώστε να ποσοτικοποιηθούν καλύτερα τα ανιχνευόμενα σήματα εκφόρτισης, καθιστώντας έτσι την δοκιμή λιγότερο υποκειμενική.



Σχήμα 15. Σχηματική παράσταση μόνιμων συζεύξεων στα παράλληλα μηχανής

Η μέθοδος τελικά η οποία επιλέχτηκε είχε σχέση με την ανάλυση ύψους σήματος των εκφορτίσεων. Κατασκευάστηκε έτσι ένα πρωτότυπο πειραματικό όργανο τοποίοο είχε την ικανότητα στο να παρέχει έναν αριθμό σημάτων ανά δευτερόλεπτο για κάθε πολικότητα που πέφτει σε ένα επιλεγμένο εύρος μεγέθους ή παράθυρο. Μεταβάλλοντας το όριο του παραθύρου είναι δυνατόν να παρατηρήσουμε ένα "φάσμα" αριθμού (λογαριθμικού) σημάτων ως προς τα σήματα μεγέθους. Αυτή η καμπύλη (βλέπε σχήμα 14) είναι επαναλήψιμη με καλή ακρίβεια, και δείχνει τις μεταβολές από μηχανή σε μηχανή σύμφωνα με την παλιότερη τεχνική δοκιμών.

Ένας απλοποιημένος Αναλυτής μερικής εκφόρτισης (PDA) για γενική χρήση πεδίου είναι από τον καιρό υπό κατασκευή, χωρίς την ευκαμψία που είχε σχεδιαστεί στο πρωτότυπο για σκοπούς καθορισμού αποδεκτών και με έννοια παραμέτρων δοκιμής, όπως το εύρος παραθύρου, διάστημα μέτρησης, ένα μεταβλητό παράθυρο φάσης κ.λ.π.

Ένα άλλο επίσης το οποίο περιγράφεται στην αναφορά στην βιβλιογραφία είναι η κατασκευή (ανάπτυξη) (σύμφωνα με το ίδιο CEA ερευνητικό συμβόλαιο) ενός βελτιωμένου "μόνιμου" συζευκτή ο οποίος όχι μόνο έχει την δυνατότητα διεξαγωγής της δοκιμής μερικής εκφόρτισης χωρίς να έχουμε καμία διακοπή στην λειτουργία, αλλά και ο οποίος παρέχει ένα μέσο, τουλάχιστον στις υδραυλικές μηχανές, με συμμετρικά διαταγμένες παραλλήλους, έτσι ώστε να κάνει διαφορετικές μετρήσεις που αποβάλλουν εντελώς "το συνηθισμένο τύπο" ή το θόρυβο του συστήματος. Αυτό απαλείφει την δυσκολία η οποία αναφέρθηκε παραπάνω και έχει σχέση με την παραγωγή δεδομένων στις συγχρονισμένες μηχανές με την παρουσία του "θορύβου συστήματος".

Οι μόνιμοι συζευκτές σε αντίθεση με τους "φορητούς συμπυκνωτές ζεύξης" που αναφέρθηκαν προηγουμένως στην περιγραφή της "παλιάς" τεχνικής δοκιμών, τοποθετούνται μόνιμα στην περιέλιξη (τύλιγμα). Αποτελούνται από ένα (κατάλληλα μονωμένο) αγωγίμο στρώμα τυλιγμένο πάνω σε μία επιλεγμένα πολική γέφυρα παράλληλα της περιέλιξης.

Εάν ένα ζεύγος τέτοιων χωρητικών συζευκτών τοποθετημένο στην ίδια ηλεκτρικού απόσταση από τον ακροδέκτη της μηχανής σε μια από τις φάσεις της γεννήτριας συνδεθεί με ένα διαφορικό ενισχυτή (πολλαπλασιαστή) μέσω αγωγών ίδιου μήκους (βλέπε σχήμα 15) είναι εύκολο να παρατηρήσουμε το πως εξαφανίζεται ο κοινός τύπος θορύβου του συστήματος. Εκφορτίζει μέσα στα παράλληλα εξαιτίας του περάσματος (διάβασης) από διαφορετικού μήκους τμήματα προς τον διαφορικό ενισχυτή, δίνουν ένα σήμα εξόδου, η πολικότητα του οποίου εξαρτάται από την φάση συχνότητας και από το αρχικό παράλληλα. Μόνιμοι συζεύκτες έχουν εγκατασταθεί σε περίπου δέκα υδραυλικές γεννήτριες μέχρι σήμερα συμπεριλαμβανόμενων και μερικών από άλλες υπηρεσίες. Αυτό τον καιρό διεξάγονται πειράματα έτσι ώστε να προσδιοριστεί ο τρόπος εφαρμογής μόνιμων "κατευθυνόμενων" συζευκτών σε μονωμένο κύκλωμα φάσης το οποίο θα επιτρέπει να γίνονται μετρήσεις κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας (π.χ. χωρίς διακοπή για επισκευή) σε θερμικά ή ασυμμετρικά υδραυλικά τυλίγματα έτσι ώστε τα σήματα που έρχονται μέσα από την μηχανή να καταγράφονται ενώ αυτά που έρχονται "έξω από το σύστημα" να απορρίπτονται.

#### ***4.7. Συμπεράσματα και μελλοντικές εργασίες***

"Η δοκιμή Μερικής εκφόρτισης για την μόνωση Γεννήτριας" είναι ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί



στο να κατευθύνει (ξυπνήσει) το προσωπικό συντήρησης σχετικά με το πρόβλημα των τυλιγμάτων (περιελίξεων) πριν να συμβεί κύρια ζημιά, βελτιώνοντας σημαντικά την πιθανότητα επιτυχίας για μια επι-τόπου επισκευή και ελαττώντας την πιθανότητα πρόωρης επαναπεριέλιξης (επανατυλίγματος).

Ενα "αποτύπωμα" μιας καινούργιας ή επαναπεριελιγμένης γεννήτριας μπορεί να επιτευχθεί με χαμηλό κόστος. Περιοδικές δοκιμές που θα ακολουθήσει θα δείξουν εάν η κατάσταση του τυλίγματος του στάτορα παραμένει σταθερή ή έχει αρχίσει να φθείρεται.

Μετά από μια επι-τόπου επισκευή προκειμένου να επιτύχουμε θετική γείωση των πλευρών του πηνίου του στάτορα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δοκιμές μερικής εκφόρτισης για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της επισκευής.

Εχει ακόμη να γίνει αρκετή δουλειά έτσι ώστε να συσχετιστούν δεδομένα από την "βελτιωμένη" δοκιμή μερικής εκφόρτισης προς την κατάσταση της περιέλιξης (τυλίγματος). Αυτό αναμένεται να βελτιώσει την ικανότητα πρόβλεψης και την ικανότητα ανάλυσης της δοκιμής.

## Κεφάλαιο 5

### Μια δοκιμή τύπου θερμικού κύκλου για την μόνωση του τυλίγματος του στάτορα γεννήτριας. G.C. Stone, J.F.Lyles, J.M.Braun και C.L.Kaul

*5.1. Ορολογία (Σημαντικές λέξεις κλειδιά): Στρεφόμενες μηχανές, Ηλεκτρική μόνωση, Γήρανση, θερμικός κύκλος.*

#### Γενικά

Η εταιρία Virginia Electric Power που κάνει επιχειρήσεις σαν Virginia Power και North Carolina Power είναι το κύριο παράρτημα της εταιρίας Dominion Resources Inc. Η εταιρία εξυπηρετεί τα δύο τρίτα της περιοχής της Virginia και επίσης μέρη της περιοχής της Βόρειας Καρολίνας και έχει σχεδόν 1,75 εκατομμύρια πελάτες. Η εταιρία έχει στην ιδιοκτησία της και λειτουργεί σταθμούς παραγωγής με στροβίλους που χρησιμοποιούν πυρηνική ενέργεια, άνθρακα, πετρέλαιο καθώς επίσης και υδραυλικούς και στροβίλους ανάφλεξης. Μεταξύ των υδραυλικών σταθμών είναι η μονάδα 6 με 2100 Mw στο σταθμό Bath County Pumped Storage που βρίσκεται στην Virginia

κοντά στα δυτικά σύνορα, τον οποίο η εταιρία τον έχει σε συνιδιοκτησία με την εταιρία Allegheny Power System (APS). Την περίοδο της πρώτης εμπορικής λειτουργίας του, ο σταθμός ήταν ο μεγαλύτερος υδροηλεκτρικός σταθμός σε όλο τον κόσμο.

Τα έξι μοτέρ-γεννήτριες λειτουργούν σαν γεννήτριες κατά την διάρκεια περιόδων αυξημένης ζήτησης και λειτουργούν σαν αντλίες κατά την διάρκεια περιόδων με μειωμένη ζήτηση με χαμηλού κόστους ισχύ. Οι μηχανές λειτουργούν επίσης σαν σύγχρονοι συμπυκνωτές προκειμένου να ελέγχουν την τάση του συστήματος. Κατά μέσο όρο κάθε μηχανή υπόκεινται σε μια κυκλική διεργασία με δύο λειτουργίες ξεκινήματος /σταματήματος (μία φορά όταν έχουμε λειτουργία γεννήτριας και μια φορά όταν έχουμε λειτουργία αντλίας), καθημερινά με μακράς διάρκειας μεσοδιαστήματα όταν δεν είναι σε λειτουργία. Αυτή η κυκλική διεργασία χαρακτηρίζεται σε γενικές γραμμές οξεία καταπόνηση των μηχανών. Κάθε μια γεννήτρια / μοτέρ είναι μια μηχανή με κάθετο άξονα (άτρακτο), αντιστρέψιμη, αερόψυκτη σύγχρονη, διαβαθμισμένη (κατά βάση) στα 389 MVA, 0,90 PF, 20.5 KV, 257-1 RPM, 60 HZ τριών φάσεων για μια ανύψωση θερμοκρασίας του στάτορα των 60°C πάνω από την θερμοκρασία 40°C που είναι μέγιστη θερμοκρασία αερόψυξης. Η διαβάθμιση (αναλογία) της μηχανής είναι 115% της διαβάθμισης (αναλογίας) της βάσης για μια ανύψωση θερμοκρασίας του στάτορα των 80°C για τον ίδιο περιβάλλοντα αέρα ψύξης.

Οι μηχανές είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να λειτουργούν συνεχώς στο 115% της διαβάθμισης (αναλογίας) βάσης. Το τυλίγμα (περιέλιξη) του στάτορα κάθε μηχανής αποτελείται από τέσσερα παράλληλα κυκλώματα σε 360 σχισμές του στάτορα με δύο μπάρες σε κάθε σχισμή με μια μετατόπιση Roebel κατά 360° μέσα στην σχισμή. Οι διαστάσεις της σχισμής είναι 21.4 εκατοστά (βάθος) x 2.6 εκατοστά (πλάτος). Η υπάρχουσα μόνωση του τοιχώματος (groundwall) αποτελείται από κομμάτια μίκας (μαρμαρυγίας) διαποτισμένα με πολυεστέρα. Ο στάτορας έχει ένα άνοιγμα των 8.0 μέτρων και ένα μήκος πυρήνα 2.9 μέτρα.

Με το πέρασμα των χρόνων κατά την διάρκεια περιόδων κανονικής συντήρησης η εταιρία Virginia Power παρατήρησε σημαντική φθορά (αποσύνθεση) στα τυλίγματα του στάτορα. Αυτό συμπληρώθηκε και από έναν on-line έλεγχο EMI (ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή) προκειμένου να εκτιμηθεί η δράση μερικής εκφόρτισης, η δοκιμή on-line μερικής εκφόρτισης (PDA), η δοκιμή αντοχής τάσης για μερικές από τις μπάρες του στάτορα που μετακινήθηκαν από τις μηχανές καθώς επίσης και η οπτική παρατήρηση των διαχωρισμένων ράβδων (μπαρών) που έχουν μετακινηθεί από τις μηχανές. Η φθορά του τυλίγματος του στάτορα ήταν φανερή από την αποελασματοποίηση της μόνωσης του τοιχώματος (groundwall), από τον αποχωρισμό του τοιχώματος από τους αγωγούς χαλκού, από την μερική εκφόρτιση και την φθορά της μόνωσης του τοιχώματος στις ακραίες σπείρες (στροφές).

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, ο πρωτεύοντας μηχανισμός φθοράς της μόνωσης θεωρήθηκε ότι είναι αποτέλεσμα των δυνατών δοκιμών θερμικού κύκλου στις οποίες υποβλήθηκαν αυτά τα τυλίγματα. Όταν το φορτίο σε μια μηχανή αυξάνεται ξαφνικά, οι απώλειες 12 R στο χαλκό, αυξάνουν γρήγορα την θερμοκρασία του χαλκού, ενώ η θερμοκρασία της μόνωσης αυξάνει πιο αργά. Λόγω αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας, καθώς επίσης και της διαφοράς των θερμικών συντελεστών διαστολής του χαλκού και της θερμοδομικής μόνωσης, ο χαλκός διαστέλλεται πολύ πιο γρήγορα από την μόνωση κατά μήκος μιας μακριάς (μεγάλου μήκους) μπάρας του στάτορα, θα αναπτυχθεί μια σημαντική διατμητική τάση μεταξύ του χαλκού και της μόνωσης. Εάν το σύστημα μόνωσης δεν μπορεί να αντισταθεί σε αυτή την διατμητική τάση, ο δεσμός μεταξύ του χαλκού και της μόνωσης μπορεί να σπάσει και ή ελασματοποιημένα στρώματα στο τοίχωμα μπορεί να σχιστούν ή να καταπονηθούν. Ανάλογες διατμητικές δυνάμεις δημιουργούνται κατά την διάρκεια της διαδικασίας γρήγορης φόρτισης. Η ελασματοποίηση που δημιουργείται επιτρέπει στις ίνες (νήματα) του χαλκού να μετακινηθούν σχετικά μεταξύ τους κάτω από τις μαγνητικές δυνάμεις των 120 Hz, καταλήγοντας τελικά σε μειώσεις του μήκους των νημάτων λόγω λείανσης (φθοράς). Επιπλέον θα συμβούν μερικές εκφορτίσεις στάκρα των μπαρών στις περιοχές αποελασματοποίησης. Αυτές οι εκφορτίσεις διαβρώνουν την μόνωση του τοιχώματος (groundwall). Παρόλο

που μια παρόμοια διαδικασία φθοράς της μόνωσης ήταν σχετικά συνηθισμένη στα παλιότερα τυλίγματα από άσφαλτομικά και φύλλα μίκας, είναι σπάνια στα μοντέρνα τυλίγματα που χρησιμοποιούν θερμοδομικά υλικά. Με σκοπό να αποφευχθεί μια πιθανή καταστροφική αστοχία των τυλιγμάτων του στάτορα και οι συνδεδεμένοι με την αστοχία αυτή κίνδυνοι, η εταιρία Virginia Power αποφάσισε να αντικαταστήσει τα τυλίγματα του στάτορα και από τις 6 μηχανές.

Με βάση οικονομικούς και άλλους υπολογισμούς αποφασίστηκε να αντικαταστήσουμε τα τυλίγματα του στάτορα επιτόπου ένα προς ένα κατά την διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης (τυπικά άνοιξη φθινόπωρο) μεταξύ του 1991 και 1994. Για να βεβαιωθεί ότι τα τυλίγματα που αντικαταστάθηκαν παρέχουν συνθήκες λειτουργίας μακράς διάρκειας η εταιρία Virginia Power αποφάσισε να αξιολογήσει τις μπάρες του στάτορα από τρεις κατασκευές, υποβάλλοντας αυτές τις μπάρες σε επιταχυνόμενες δοκιμές γήρανσης. Η μόνωση από όλες αυτές τις κατασκευές ήταν τύπου εποξικών ρητινών - μίκας. Τα επιταχυνόμενα τεστ γήρανσης περιλαμβάνουν (α) θερμικές κυκλικές δοκιμές και (β) δοκιμές αντοχής τάσης. Η δοκιμή αντοχής τάσης εκτελέστηκε σύμφωνα με τις σάνταρ προδιαγραφές: IEEE σάνταρ 1043-1989 "Οδηγός για τις Δοκιμές αντοχής τάσης για πηνία και μπάρες του στάτορα". Η δοκιμή θερμικού κύκλου δεν είναι στανταρισμένη. Σαν μέρος αυτού του προγράμματος, έγινε μια προσπάθεια για τον σχεδιασμό και την συμπλήρωση μιας δοκιμής θερμικού κύκλου

η οποία διπλασίασε τουλάχιστον εν μέρει, το μηχανισμό αποσύνδεσης (φθοράς) η οποία θα μπορούσε να συμβεί κατά την διάρκεια της λειτουργίας σε μια στρεφόμενη μηχανή η οποία εκδηλώνει οριακή λειτουργία (λειτουργία στις μέγιστες τιμές).

## Βιβλιογραφία

1. W. McDermid, Manitoba Hydro, "Insulation Systems and Monitoring for Stator Windings of Large Rotating Machines. IEEE Electrical Insulation Magazine
2. W. McDermid, J.C. Bromley, "Relationship Between Partial Discharge Pulse Height Analysis and Subsequent Voltage Endurance of Stator Bars and Coils, "IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, pp 721-731, December 1992.
3. M. Kurtz J.F Lyles "Generator Insulation Diagnostic Testing", IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems. Vol. 98, pp 1596 - 1603, Sept/Oct 1979.
4. T. Orbeck, "The Measurement of Partial Discharges in High Voltage Coils with a Capacitance Bridge", ASEA Journal, Vol. 40 (1967), No 9, pp 125-128.

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ