



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Αριθμός 1298

## «Περιγραφή Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού Δαφνοζωνάρας-Σανιδίου»

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΙΩΑΝΝΗΣ Α.ΚΟΤΣΑΛΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ:

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ  
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΧΟΙΝΑΣ  
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΙΜΟΣ

ΠΑΤΡΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία γίνεται μια πλήρης περιγραφή της λειτουργίας ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού, ο οποίος έχει κατασκευαστεί κοντά στις τοποθεσίες Δαφνοζωνάρας και Σανιδίου του Νομού Αιτωλοακαρνανίας. Παρ'όλο που το έργο είναι σε μεγάλο βαθμό μηχανολογικό, εμείς εστιάζουμε στο ηλεκτρολογικό κομμάτι και δίνουμε μεγαλύτερη έμφαση στις γεννήτριες του σταθμού παραγωγής και στον μετασχηματιστή ισχύος του υποσταθμού ανύψωσης στην υψηλή τάση.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια περιγραφή ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος εντοπίζεται στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας πλησίον των οικισμών Δαφνοζωνάρας και Σανιδίου. Σκοπός του σταθμού αυτού είναι η ενεργειακή παραγωγή, η οποία ανέρχεται περίπου στις 40 GWh το έτος.

Το έργο ξεχωρίζει για δύο λόγους, αφενός γιατί είναι το πρώτο μικρό υδροηλεκτρικό φράγμα που έχει κατασκευαστεί πάνω στην κύρια ροή μεγάλου ποταμού στην Ελλάδα και αφετέρου για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό του (δίοδος ιχθύων, αυτομάτως ανατρεπόμενα θυροφράγματα, διώρυγα έκπλυσης φερτών). Συμπληρωματικά, επισημαίνονται οι σύγχρονοι μέθοδοι ελέγχου των γεννητριών του σταθμού παραγωγής, καθώς και το υψηλό επίπεδο αντιπλημμυρικής προστασίας του έργου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μηχανολογική περιγραφή του σταθμού παραγωγής και παρατίθενται στοιχεία σχετικά με την θέση του φράγματος, την κατασκευάστρια εταιρεία, τις μελέτες που έχουν εκπονηθεί και το κόστος του έργου.

Στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο εστιάζουμε στην περιγραφή και λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών του σταθμού παραγωγής, με έμφαση σε στοιχεία που σχετίζονται με την διέγερση των γεννητριών, τις προστασίες, τον στάτη, τον δρομέα και το σύστημα ψύξης τους. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στον τρόπο ελέγχου των γεννητριών μέσω του Room Control που επίσης βρίσκεται στο κτίριο του σταθμού παραγωγής.

Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο περιγράφουμε αναλυτικά τον Υποσταθμό Ανύψωσης στην υψηλή τάση, τα κύρια μηχανήματα από τα οποία αποτελείται και κάνουμε εκτενή περιγραφή του μετασχηματιστή ανύψωσης, καθώς και των εργασιών που εκτελούνται κατά την διάρκεια της συντήρησης του. Επίσης, γίνεται καταγραφή του βασικού εξοπλισμού του υποσταθμού ανύψωσης τάσης Μ.Τ/6 KV του σταθμού παραγωγής.

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε προς τον Επιβλέποντα Καθηγητή *κ.Βασίλειο-Νεκτάριο Χαραλαμπάκο*, τόσο για την επιστημονική καθοδήγηση όσο και για την ουσιαστική υποστήριξη και κατανόηση του. Ευχαριστίες επίσης απευθύνουμε προς τον *κ.Ευάγγελο Σκούρα* – Ηλεκτρολόγο Μηχανικό/Υπεύθυνο για την λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού Δαφνοζωνάρας-Σανιδίου για την παροχή πολύτιμων πληροφοριών σχετικά με την λειτουργία του σταθμού, καθώς και στον φίλο *κ.Βασίλειο Κουκούτση*, Μηχανολόγο Μηχανικό του υδροηλεκτρικού σταθμού Δαφνοζωνάρας-Σανιδίου, για την πολύπλευρη υποστήριξη και συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	2
Περίληψη.....	2
Περιεχόμενα.....	4
Εισαγωγή.....	6

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

#### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

1.1 Γενικά.....	7
1.2 Γεωγραφική θέση.....	8
1.3 Γενική Μηχανολογική περιγραφή του φράγματος.....	8
1.4 Διαχείριση των φερτών.....	9
1.5 Ανατρεπόμενα θυροφράγματα ασφαλείας.....	10
1.6 Δίοδος ιχθυών.....	11
1.7 Δίοδος μικρών σκαφών.....	11
1.8 Υδροστρόβιλος.....	11
1.9 Μελέτες.....	12
1.10 Κόστος Έργου.....	13

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

#### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ

2.1 Γενική περιγραφή.....	15
2.2 Στάτης Γεννήτριας.....	16
2.3 Δρομέας Γεννήτριας.....	16
2.4 Διέγερση Γεννήτριας.....	17
2.5 Σύστημα Ψύξης Γεννήτριας.....	19
2.6 Προστασίες Γεννήτριας.....	20
2.7 Συντήρηση Γεννήτριας.....	21

<b>2.8</b> Πολλαπλασιαστικής Ταχύτητας.....	23
<b>2.9</b> Πίνακας οργάνων του εξοπλισμού διανομής και εξοπλισμός Προστασίας.....	24
<b>2.10</b> Έλεγχος Υδροστροβίλου.....	25
<b>2.11</b> Room Control.....	26
<b>2.12</b> Σύστημα Deif.....	28

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ**

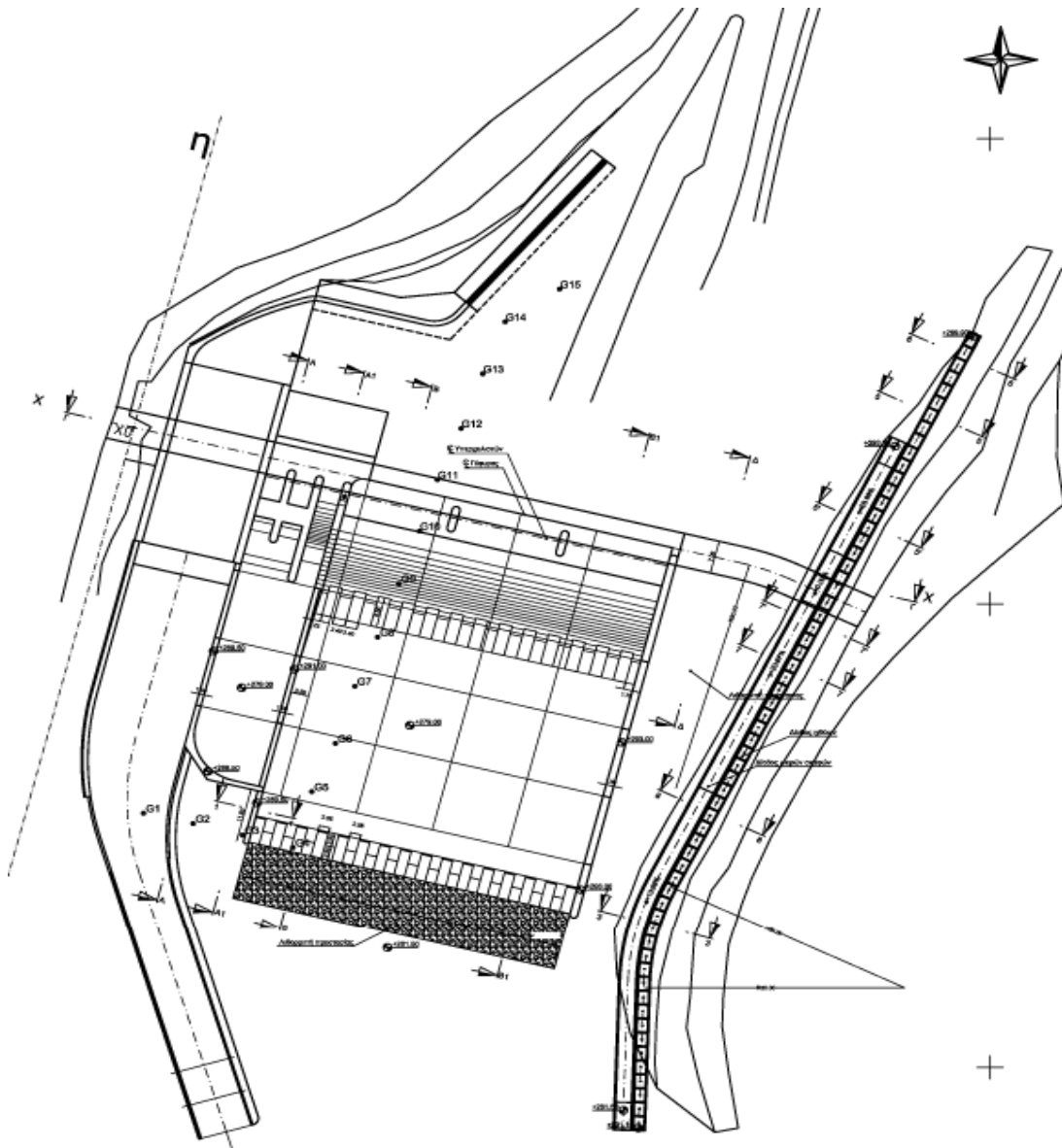
### **ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ**

<b>3.1</b> Γενικά.....	30
<b>3.2</b> Υποσταθμός Ανύψωσης Τάσης 150 kv/M.T.....	31
<b>3.3</b> Μετασχηματιστής Υποσταθμού.....	31
<b>3.4</b> Προστασίες Μετασχηματιστή.....	35
<b>3.5</b> Συντήρηση Μετασχηματιστή.....	37
<b>3.6</b> Ζυγοί.....	41
<b>3.7</b> Αποζεύκτες.....	42
<b>3.8</b> Διακόπτες Ισχύος.....	43
<b>3.9</b> Βοηθητικά Μηχανήματα-Εξαρτήματα.....	45
<b>3.10</b> Κυματοπαγίδες-Σύστημα Φερέσυχνων.....	46
<b>3.11</b> Μετασχηματιστές Μετρήσεων.....	46
<b>3.12</b> Αντιστάθμιση Έργου Ισχύος.....	48
<b>3.13</b> Υποσταθμός Ανύψωσης 6.3KV/20KV.....	49
Βιβλιογραφία.....	51

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες αποτελούν μια τελείως διαφορετική κατηγορία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της ενεργειακής μορφής που εκμεταλλεύονται. Η λειτουργία τους βασίζεται στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας που εκδηλώνεται με την ροή νερού από χαμηλότερα προς υψηλότερα υψόμετρα.

Η ενέργεια αυτή μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ισχύ και εν συνεχεία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των μηχανημάτων που αποτελούν ένα σταθμό παραγωγής.



Σχέδιο 1: Γενική διάταξη έργων – Κάτοψη

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

#### 1.1 Γενικά

Το μικρό υδροηλεκτρικό έργο Δαφνοζωνάρας-Σανιδίου είναι κατασκευασμένο στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας, πάνω στον κύριο ρου του ποταμού Αχελώου. Σκοπός του έργου είναι αποκλειστικά η ενεργειακή παραγωγή, η οποία είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική -περίπου 40 GWh το έτος, με ισχύ 8.5 MW(δύο μονάδες των 4,25 MW) και μέγιστη παροχή σταθμού παραγωγής 80m<sup>3</sup>/s (40m<sup>3</sup>/s ανά μονάδα).



Τμήμα του ταμιευτήρα – Διακρίνονται επίσης τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα πράσινου χρώματος και ένα μεγάλο τμήμα της στέψης του φράγματος.

Το έργο ξεχωρίζει αφενός γιατί είναι το πρώτο μικρό υδροηλεκτρικό που έχει κατασκευαστεί πάνω στην κύρια ροή μεγάλου ποταμού στην Ελλάδα και αφετέρου για τον περιβαλλοντολογικό σχεδιασμό του. Στον υπερχειλιστή του, ο οποίος βρίσκεται πάνω στην κύρια ροή του ποταμού, τοποθετούνται εννέα βαθμιαία ανατρεπόμενα θυροφράγματα

συνολικού πλάτους 60 m και ύψους 3,5 m, αυξάνοντας έτσι σημαντικά την αντιπλημμυρική προστασία.

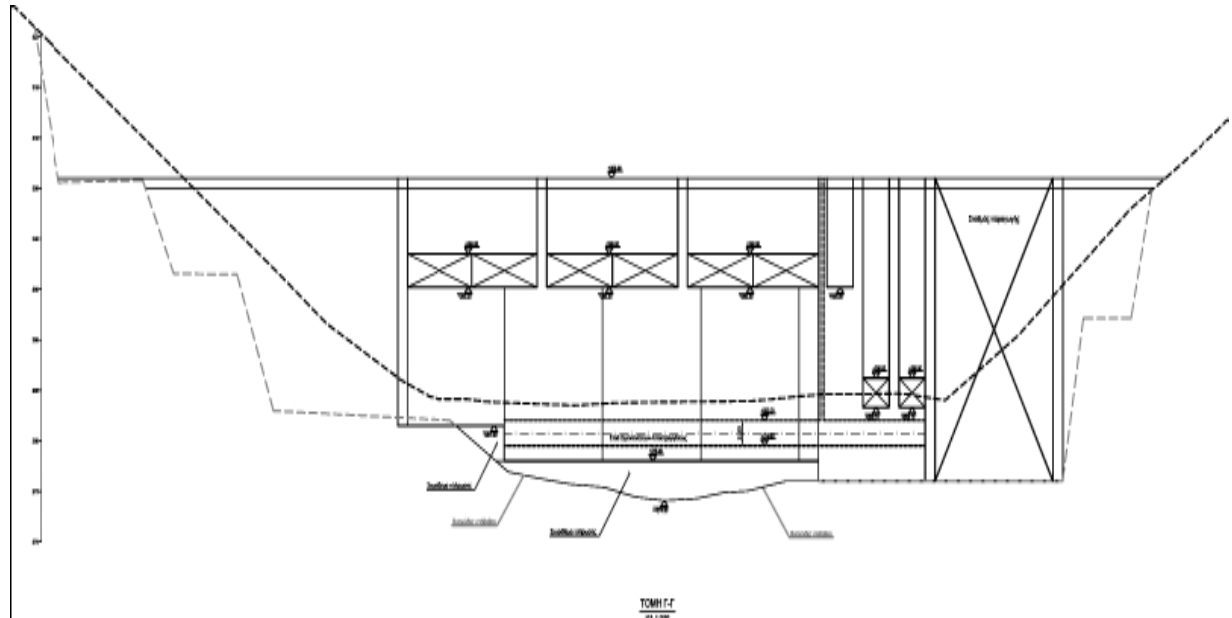
## 1.2 Γεωγραφική Θέση

Το μικρό ηλεκτρικό έργο Δαφνοζωνάρας-Σανιδίου τοποθετείται στους Νομούς Αιτωλοακαρνανίας και Ευρυτανίας, πάνω στην κύρια ροή του ποταμού Αχελώου και πάνω από τον ταμιευτήρα του υδροηλεκτρικού έργου των Κρεμαστών, λίγο πιο κάτω από το υδροηλεκτρικό έργο του Αυλακίου. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου στην θέση του φράγματος έχει έκταση 1.350Km<sup>2</sup> και μέση ετήσια απορροή 1.630 hm<sup>3</sup>.

## 1.3 Γενική Μηχανολογική Περιγραφή του Φράγματος

Το υδροηλεκτρικό αποτελείται από φράγμα βαρύτητας. Επίσης περιλαμβάνει την δίοδο ιχθύων, την διώρυγα μικρών σκαφών, τον υπερχειλιστή, την διώρυγα έκπλυσης φερτών και τον σταθμό παραγωγής.

Το ονομαστικό υψόμετρο στέψης του υπερχειλιστή είναι +295m και της γέφυρας +306m. Το πλάτος της γέφυρας είναι 7m και το μήκος της στέψης 150 m. Το ύψος του φράγματος είναι περίπου 12m από το υψόμετρο της κοίτης του ποταμού.



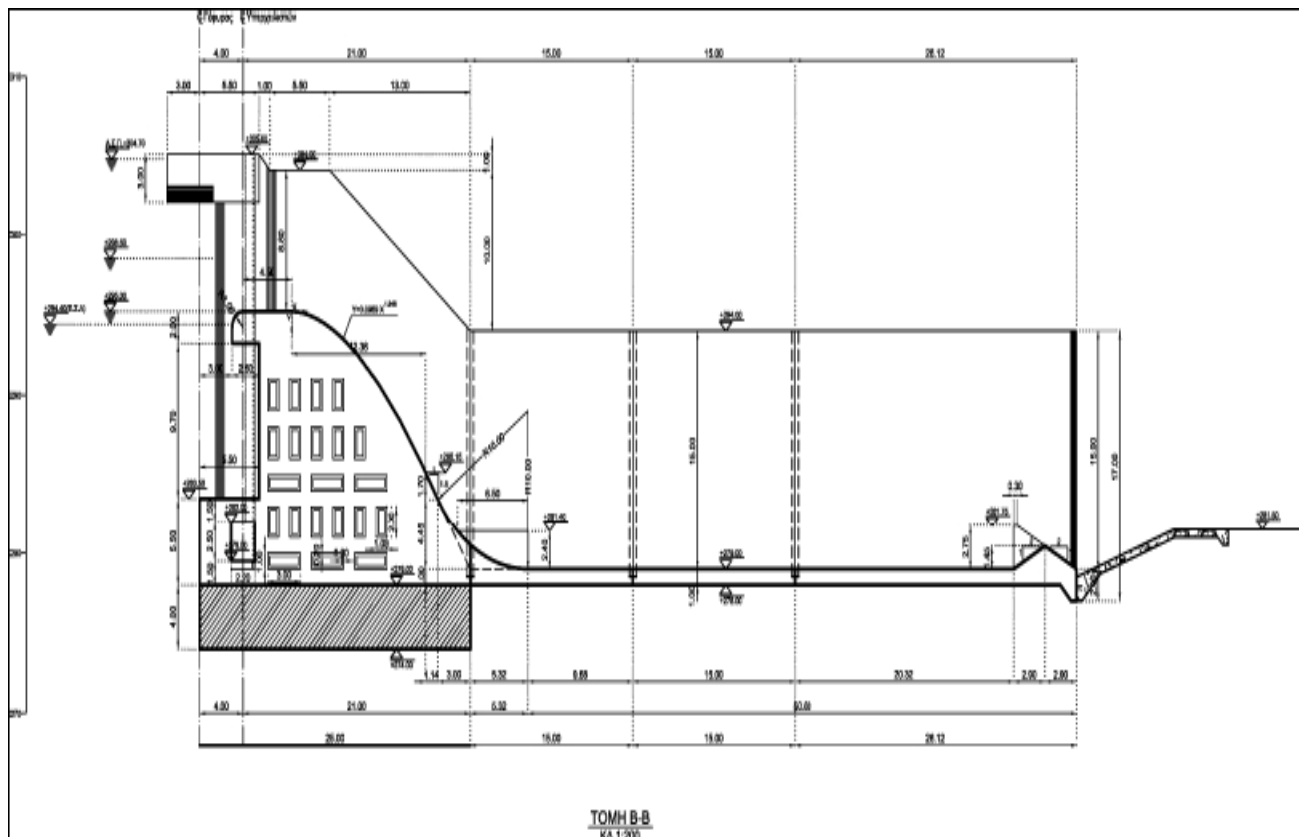
Σχεδιο 2: Μηκοτομή στον άξονα του φράγματος

Ο ταμιευτήρας που δημιουργείται έχει κανονική στάθμη λειτουργίας +295m και ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +294,4m. Οι μονάδες του σταθμού παραγωγής έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν με κατάλληλο χειρισμό των ρυθμιστικών περυγίων, προκειμένου να μην ξεπερνιέται το όριο της αδειοδοτημένης ισχύος (όταν η στάθμη του



ταμιευτήρα έχει ανέβει σε μεγαλύτερα υψόμετρα λόγω πλημμυρικών εισροών και μέχρι το υψόμετρο των +298,5m).

Το ίδιο το σώμα του φράγματος λειτουργεί και ως μετωπικός υπερχειλιστής, ελεύθερης υπερχείλισης με στέγη στο υψόμετρο των +295m. Το μήκος της στέγης είναι 60m. Το έργο υπερχείλισης ακολουθεί πτώση και λεκάνη ηρεμίας για τον έλεγχο του υδραυλικού άλματος, και την αποτόνωση της ενέργειας του νερού που υπερχειλίζει. Επί του φράγματος υπερχειλιστή, και σε όλο του μήκος του, τοποθετούνται ανατρεπόμενα θυροφράγματα ύψους 3,5m, αυξάνοντας έτσι σημαντικά την αντιπλημμυρική προστασία και κυρίως την ελεγχόμενη διόδευση των πλημμυρών από το αριστερό – κατά την ροή – αντέρεισμα, αντιδιαμετρικά του σταθμού παραγωγής, της εξόδου της διώρυγας φυγής και της διώρυγας έκπλυσης φερτών.

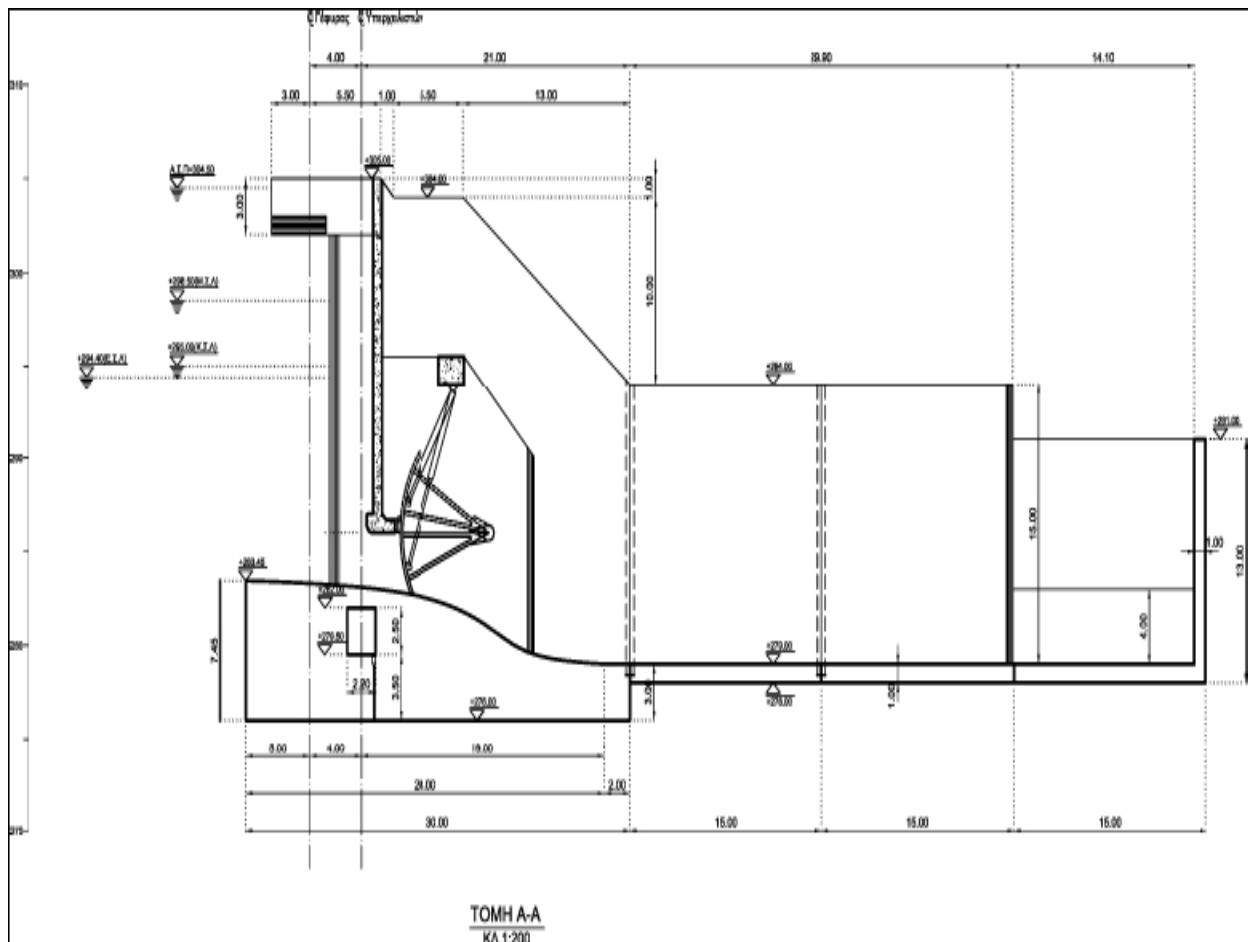


Σχεδιο 3: Μηκτομή υπερχειλιστή

Στο αριστερό αντέρεισμα τοποθετούνται η δίοδος ιχθών και η διώρυγα μικρών σκαφών.

#### 1.4 Διαχείριση των Φερτών

Ο ταμιευτήρας της Δαφνοζωνάρας, έχοντας πολύ μικρό συνολικό όγκο, θα κινδύνευε να γεμίσει σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα με φερτά του ποταμού, αν δεν προβλεπόταν κατασκευή έκπλυσης τους και διοχέτευσης τους με κατεύθυνση προς τα κατω. Για το λόγο αυτό έχουν εγκατασταθεί δυο τοξωτά θυροφράγματα διαστάσεων 3×4 μέτρα το κάθε ένα, με κατώφλι το υψόμετρο της κοίτης του ποταμού +283m και ανώφλιο στα +286m. Η παροχή μέσω και των δυο θυροφραγμάτων στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας τους θα ανέρχεται στα 280 m<sup>3</sup>/s.



Σχέδιο 4: Μηκτομή κατασκευής έκπλυσης φερτών

Στην κάτω πλευρά των τοξωτών θυροφραγμάτων υπάρχει λεκάνη ηρεμίας, μήκους 50 μέτρων περίπου, για την αποτόνωση της ενέργειας του νερού. Μέσω ενός ανοίγματος 14 μέτρων και ύψους 4 και κατάλληλα διαμορφωμένου καθοδηγητικού τοίχου, η ροή με τα φερτά εκτρέπεται αριστερά προς την λεκάνη ηρεμίας του υπερχειλιστή, για να απομακρυνθούν έτσι από την περιοχή της εξόδου της διώρυγας φυγής του σταθμού παραγωγής.

Στην ίδια κατασκευή και μεταξύ των θυροφραγμάτων έκπλυσης και του υπερχειλιστή υπάρχει άνοιγμα πλάτους τεσσάρων μέτρων, με κατώφλιο στα +295m για το πέρασμα των παροχών του ποταμού προς τα κάτω, αλλά και έλεγχο της στάθμης του ταμιευτήρα όταν ο σταθμός παραγωγής δεν λειτουργεί.

### 1.5 Ανατρεπόμενα θυροφράγματα ασφαλείας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πάνω στο φράγμα-υπερχειλιστή και σε όλο το μήκος του (60m) τοποθετούνται εννέα βαθμιαία ανατρεπόμενα θυροφράγματα ασφαλείας, ύψους 3,5m, αυξάνοντας έτσι σημαντικά την αντιπλημμυρική προστασία.

Οι μικρές πλημμύρες περνούν πάνω από τα θυροφράγματα και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση αρχίζει η σταδιακή ανατροπή τους όταν η αιχμή της πλημμύρας ξεπεράσει τα

1550m<sup>3</sup>/s, με το πρώτο θυρόφραγμα να ανατρέπεται για στάθμη νερού στον ταμιευτήρα στο υψόμετρο +304,1m και το τελευταίο για στάθμη +304,43m (δηλαδή, ανά 4 εκατοστά ανύψωσης της στάθμης ανατρέπεται και ένα επιπλέον θυρόφραγμα). Έτσι δημιουργείται μια μέση αύξηση της εκροής από τον υπερχειλιστή κατά 190m<sup>3</sup>/s περίπου, ανά ανατροπή θυροφράγματος.

Το τελευταίο θυρόφραγμα, που είναι και το πλησιέστερο στο σταθμό παραγωγής, θα ανατραπεί όταν η εισροή στον ταμιευτήρα ξεπεράσει τα 3.040m<sup>3</sup>/s. Όταν ένα θυρόφραγμα ανατραπεί θα πρέπει να αντικατασταθεί με ένα νέο. Για αυτό τον λόγο υπάρχουν εφεδρικά θυροφράγματα στον χώρο του έργου.

## 1.6 Δίοδος Ιχθύων

Για το πέρασμα των ψαριών, και προς τις δύο κατευθύνσεις, έχει κατασκευαστεί στο αριστερό αντέρεισμα μια διάταξη η οποία αποτελείται από 61 συνεχόμενες δεξαμενές διαστάσεων 2x2,75x1,2m, συνολικού μήκους 182m. Το υψομετρικό βήμα μεταξύ δύο διαδοχικών δεξαμενών είναι 0,4m και η απαιτούμενη συνεχής παροχή για την λειτουργία του πέρασματος είναι 0,35m<sup>3</sup>/s.

## 1.7 Δίοδος μικρών σκαφών

Για το πέρασμα μικρών σκαφών και προς τις δύο κατευθύνσεις έχει κατασκευαστεί, στο αριστερό αντέρεισμα και δίπλα από την δίοδο των ιχθύων, συνεχής κεκλυμένη διώρυγα καθαρού πλάτους 3m και συνολικού μήκους 160m.

## 1.8 Υδροστρόβιλος

Ένας υδροστρόβιλος είναι μια περιστρεφόμενη μηχανή, που μετατρέπει την δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια. Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι στρόβιλων, γνωστοί ως στρόβιλοι ώσης και αντίδρασης. Ο στρόβιλος ώσης μετατρέπει την δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια μιας δέσμης νερού, η οποία εκρέει από ένα ακροφύσιο και προσπίπτει επάνω στους κάδους ή τα πτερύγια του δρομέα.

Ο στρόβιλος αντίδρασης χρησιμοποιεί την πίεση αλλά και την ταχύτητα του νερού, για να αναπτύξει μηχανική ισχύ. Ο δρομέας κατακλύζεται πλήρως και τόσο η πίεση όσο και η ταχύτητα μειώνονται από την είσοδο προς την έξοδο. Οι περισσότεροι στρόβιλοι μπορεί να ταξινομηθούν ως εξής:

- Στρόβιλοι τύπου Kaplan και έλικας
- Στρόβιλοι τύπου Francis
- Στρόβιλοι τύπου Pelton και άλλοι στρόβιλοι ώσης

Οι στρόβιλοι Kaplan και οι τύπου έλικας, είναι αξονικής ροής στρόβιλοι αντίδρασης που γενικά χρησιμοποιούνται για μικρά ύψη πτώσης(συνήθως κάτω από 16 μέτρα). Ο στρόβιλος Kaplan έχει ρυθμιζόμενα πτερύγια δρομέα και μπορεί να διαθέτει ρυθμιζόμενα οδηγία πτερύγια. Εάν είναι ρυθμιζόμενα και τα πτερύγια του δρομέα και τα οδηγία πτερύγια, ο στρόβιλος ονομάζεται διπλής ρύθμισης, ενώ αν είναι σταθερά τα οδηγία πτερύγια, τότε ονομάζεται απλής ρύθμισης.



Εντός του σωλήνα βρίσκεται ο υδροστρόβιλος και τα οδηγιά πτερύγια

Στη συμβατική του έκδοση, Ο στρόβιλος Kaplan έχει σπειροειδές περίβλημα(είτε από χάλυβα είτε από σιδηροπαγές σκυρόδεμα). Η ροή εισάγεται ακτινικά προς το εσωτερικό και εκτελεί μια στροφή ορθής γωνίας προτού εισέλθει στον δρομέα με αξονική κατεύθυνση. Όταν ο δρομέας έχει σταθερά πτερύγια, ο στρόβιλος είναι γνωστός ως τύπου έλικας. Οι στρόβιλοι έλικας μπορεί να έχουν σταθερά ή κινητά οδηγιά πτερύγια. Οι μη ρυθμιζόμενοι στρόβιλοι τύπου έλικας χρησιμοποιούνται μόνο όταν, τόσο η παροχή, όσο και το ύψος πτώσης παραμένουν πρακτικώς σταθερά.

Από τους στρόβιλους τύπου έλικας και Kaplan έχουν προκύψει οι βολβοειδείς και οι σωληνωτές μονάδες, όπου η ροή εισέρχεται και εξέρχεται με ελάχιστες αλλαγές στην διεύθυνση.

### **1.9 Μελέτες**

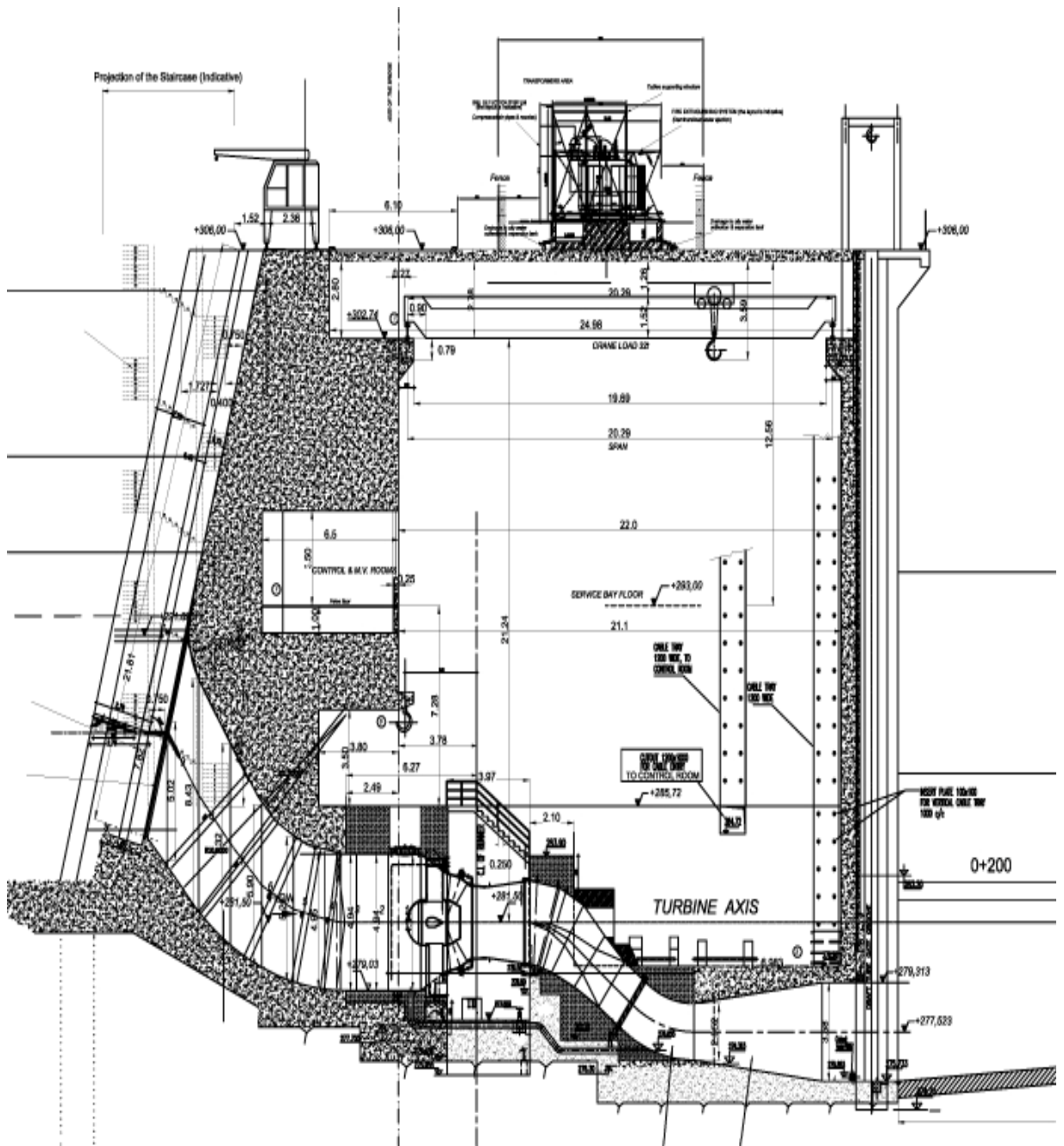
**A. ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Β.Ε.Τ.Ε 2003, ΜΥΗΕ Δαφνοζωνάρα-Σανίδι, Μελέτη για την αίτηση άδειας παραγωγής, Αθήνα.**

**B. ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Β.Ε.Τ.Ε 2007, ΜΥΗΕ Δαφνοζωνάρα-Σανίδι, Προμελέτη Α και Β Φάσεις, Αθήνα.**

**Γ. ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Β.Ε.Τ.Ε 2008, ΜΥΗΕ Δαφνοζωνάρα-Σανίδι, Οριστική μελέτη, Αθήνα.**

### **1.10 Κόστος Έργου**

Το συνολικό κόστος του έργου ανέρχεται στα 41,3 εκατομμύρια ευρώ. Τα 36 εκατομμύρια ευρώ προέρχονται από ιδιωτικά κεφάλαια, 2,65 εκατομμύρια ευρώ δόθηκαν από το τρίτο κοινοτικό πλαίσιο στήριξης, ενώ τα υπόλοιπα 2,65 εκατομμύρια ευρώ προέρχονται από κοινοτικούς πόρους. Η κατασκευάστρια εταιρία είναι η ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Β.Ε.Τ.Ε .



Σχεδιο 5: Μηκοτομή του σταθμού παραγωγής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

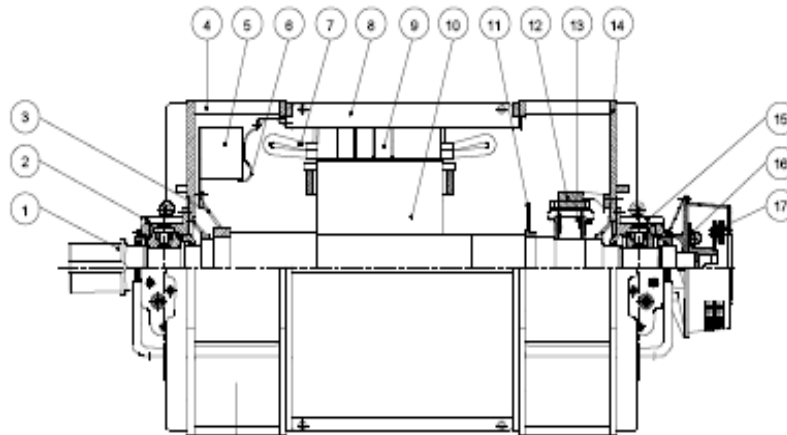
#### 2.1 Γενική περιγραφή

Οι γεννήτριες μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Οι πρώτοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ήταν συνεχούς ρεύματος, ώστε να συνδυάζονται με τα πρώιμα εμπορικά ηλεκτρικά συστήματα. Σήμερα χρησιμοποιούνται στην πράξη μόνο τριφασικές γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου δικτύου, ο παραγωγός έχει δυο επιλογές:

- Σύγχρονες γεννήτριες, εξοπλισμένες με σύστημα διέγερσης συνεχούς ρεύματος (περιστρεφόμενο ή στατικό). Αυτό το σύστημα είναι συνδεδεμένο με ένα ρυθμιστή τάσης, για τον έλεγχο της τάσης, της συχνότητας και της γωνίας φάσης πριν από την σύνδεση της γεννήτριας με το δίκτυο. Με την διακοπή της παράλληλης σύνδεσης, η σύγχρονη γεννήτρια θα συνεχίσει να παράγει, σε τάση και συχνότητα που καθορίζονται από τον εξοπλισμό ελέγχου της. Οι σύγχρονες γεννήτριες μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα από το δίκτυο, και να παράγουν ισχύ δεδομένου ότι η ισχύς διέγερσης δεν εξαρτάται από το δίκτυο.
- Ασύγχρονες γεννήτριες, που είναι απλοί ηλεκτρικοί επαγωγικοί κινητήρες κλωβού, χωρίς δυνατότητα ρύθμισης της τάσης, οι οποίοι λειτουργούν σε ταχύτητα άμεσα σχετιζόμενη με τη συχνότητα του συστήματος. Αντλούν το ρεύμα διέγερσης τους από το δίκτυο, απορροφώντας άεργο ισχύ, η οποία μπορεί να αντισταθμιστεί με την προσθήκη συστοιχίας πυκνωτών. Οι ασύγχρονες γεννήτριες δεν μπορούν να παράγουν όταν αποσυνδέονται από το δίκτυο, αφού δεν είναι ικανές να παρέχουν το δικό τους ρεύμα διέγερσης.

### 10.1.3 Machine type A56 ; A58

1	Rotor	10	Polar wheel
2	Bearing (drive end)	11	Balancing disc
3	Fan hub	12	Exciter field
4	Drive end shield	13	Exciter armature
5	Fan	14	Non drive end shield
6	Fan screen	15	Bearing (non drive end)
7	Stator winding	16	Rotating resistances
8	Stator ribs	17	Rotating diodes
9	Stator lamination	18	Diode bridge cover



Οι σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος είναι ακριβότερες από τις ασύγχρονες, τουλάχιστον για τις ισχύεις μέχρι τα 2MW. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα ισχύος, όπου η παραγωγή της γεννήτριας αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό του φορτίου του συστήματος ισχύος.

## 2.2 Στάτης Γεννήτριας

Ο στάτης της μηχανής αποτελείται από ελάσματα χάλυβα, χαμηλών απωλειών, συναρμολογημένα υπό πίεση. Τα κομμάτια αυτά του χάλυβα είναι μπλοκαρισμένα αξονικά από ένα συγκολλημένο δακτύλιο. Τα πηνία του στάτη μπαίνουν και μπλοκάρονται σε σχισμές, στην συνέχεια εμποτίζονται με βερνίκι και πολυμερίζονται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί τέλεια διηλεκτρική ακαμψία, πολύ καλή μηχανική σύνδεση και αντοχή στην υγρασία.

## 2.3 Δρομέας Γεννήτριας

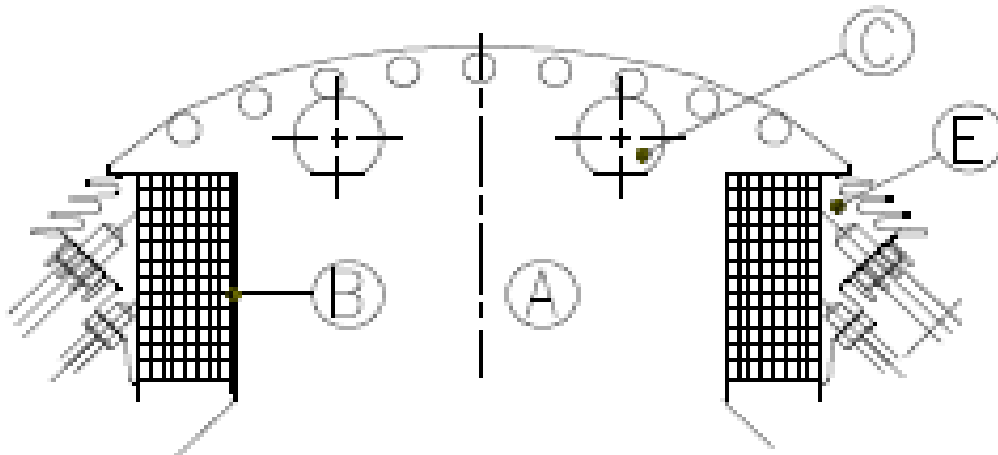
Ο δρομέας της γεννήτριας αποτελείται από μια στοίβα χαλύβδινων ελασμάτων. Τα ελάσματα αυτά έχουν καλουπωθεί και κοπεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργούν την οδόντωση των έκτυπων πόλων.

Δίσκοι αλουμινίου υψηλής αγωγιμότητας συνδέονται σε κάθε σημείο που η στοίβα των χαλύβδινων ελασμάτων τερματίζει.

Για να υπάρχει δυνατότητας παράλληλης λειτουργίας μεταξύ δύο ή περισσότερων μηχανών, αλλά και για να εξασφαλίσουμε σταθερότητα, μπάρες υψηλής αγωγιμότητας τοποθετούνται



σε οπές και διαπερνούν τους πόλους από την μία πλευρά έως την άλλη. Αυτές οι μπάρες συγκολλούνται με την στοίβα και τα ελάσματα, έτσι ώστε να δημιουργήσουν έναν κλωβό.



C: μπάρα υποστήριξης    E: τυλίγματα

Τα τυλίγματα τοποθετούνται γύρω από τους πόλους, και στην συνέχεια εμποτίζονται με εποξική ρυτίνη ή με βερνίκι κατάλληλο για μόνωση μηχανών. Τα τυλίγματα είναι φτιαγμένα από μονωμένο επιπεδοποιημένο χαλκό υψηλής αγωγιμότητας.

Οι αλουμινένιοι δίσκοι πρεσάρονται αντίθετα στα τυλίγματα και απάγουν θερμότητα, καθώς και συσφίγγουν τα πηνία. Οι μπάρες υποστήριξης, σε κάθε πόλο, προστατεύουν τα τελειώματα των τυλιγμάτων από την φυγόκεντρο δύναμη.

Εξαερισμός της Γεννήτριας: Οι σύγχρονες μηχανές έχουν σαν χαρακτηριστικό τους ένα σύστημα αυτοεξαερισμού, όπου ένας φυγόκεντρικός ανεμιστήρας -που είναι τοποθετημένος μεταξύ του ρότορα και του μπροστινού ρουλεμάν- παίρνοντας αέρα από το πίσω μέρος της μηχανής, πραγματοποιεί τον εξαερισμό της μηχανής. Ο αέρας εξάγεται από το μπροστινό μέρος της μηχανής.

## 2.4 Διέγερση Γεννήτριας

Το σύστημα της διέγερσης είναι τοποθετημένο στην αντίθετη πλευρά του σημείου που γίνεται η σύζευξη. Το κύκλωμα της διέγερσης αποτελείται από δύο επί μέρους τμήματα:

- τον οπλισμό της διέγερσης και
- μια τριφασική ανορθωτική γέφυρα.

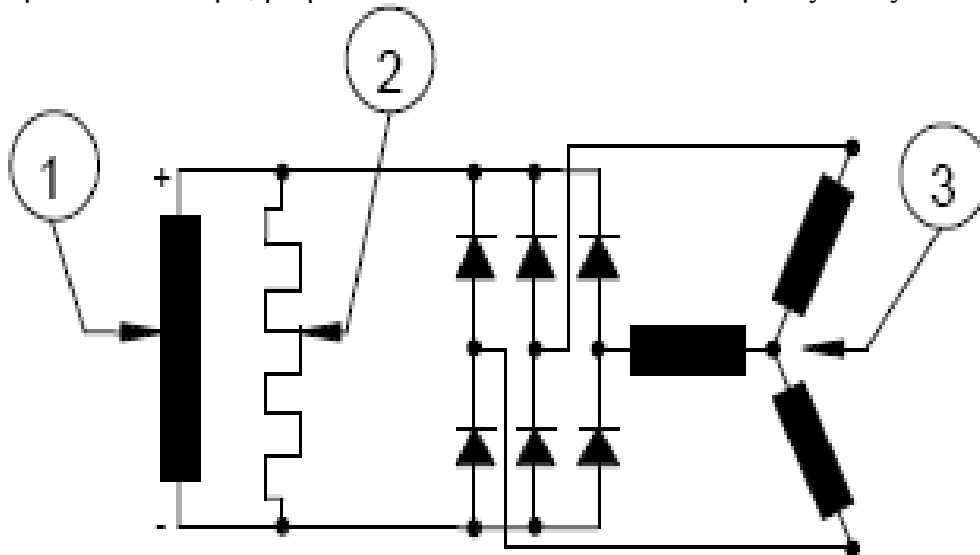
Ο οπλισμός της διέγερσης παράγει ένα τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα και μέσω μιας τριφασικής ανορθωτικής γέφυρας (αποτελούμενης από έξι διόδους), τροφοδοτεί ένα συνεχές ρεύμα διέγερσης στο περιστρεφόμενο πεδίο της γεννήτριας.

Ο οπλισμός της διέγερσης και η ανορθωτική γέφυρα είναι τοποθετημένα στον άξονα του ρότορα της σύγχρονης γεννήτριας, και διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά με το περιστρεφόμενο πεδίο της μηχανής.

Τύλιγμα Διέγερσης : το τύλιγμα της διέγερσης αποτελείται από ένα σταθερό στοιχείο και από το τύλιγμα. Η διέγερση είναι φλαντζαρισμένη στο πίσω προστατευτικό κάλυμμα της μηχανής. Το τύλιγμα είναι φτιαγμένο από εμαγέ χάλκινο σύρμα.

Οπλισμός της διέγερσης: ο οπλισμός της διέγερσης είναι κατασκευασμένος από μαγνητικά ελάσματα χάλυβα. Τα ελάσματα αυτά συγκρατούνται στην θέση τους από ειδικά πιρτσίνια. Το πηνίο της διέγερσης έχει θερμοσυσταλεί και είναι τοποθετημένο πάνω στον άξονα. Τα τυλίγματα αποτελούνται από εμαγέ χάλκινα σύρματα.

Περιστρεφόμενη Ανορθωτική Γέφυρα : η ανορθωτική γέφυρα αποτελούμενη από έξι διόδους είναι τοποθετημένη στο πίσω μέρος της μηχανής. Μία πλάκα πυριτίου, πάνω στην οποία είναι τυπωμένο το κύκλωμα, βοηθάει στο να συνδέονται οι διόδοι μεταξύ τους.



1: Πεδίο 2: Περιστρεφόμενες αντιστάσεις 3: Οπλισμός διέγερσης

Η γέφυρα τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα από τον οπλισμό της διέγερσης και τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα το περιστρεφόμενο πεδίο της γεννήτριας. Οι διόδοι της γέφυρας προστατεύονται από υπερτάσεις, από περιστρεφόμενες αντιστάσεις ή βαρίστορ. Αυτές οι αντιστάσεις είναι τοποθετημένες παράλληλα με το περιστρεφόμενο πεδίο.

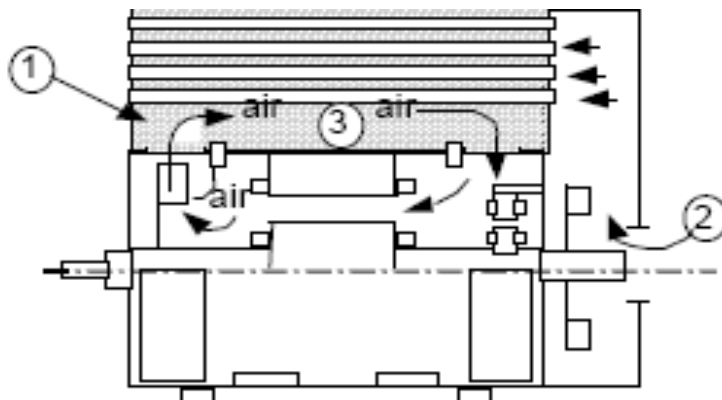


Η περιστρεφόμενη ανορθωτική γέφυρα – με τις έξι διόδους – της γεννήτριας

## 2.5 Σύστημα Ψύξης Γεννήτριας

Ο σκοπός του συστήματος ψύξης της γεννήτριας είναι να απομακρύνει την θερμότητα που δημιουργείται στο εσωτερικό της μηχανής, λόγω κυρίως μηχανικών και ωμικών απωλειών.

Σύστημα ψύξης με αέρα: Η εσωτερική ροή του αέρα δημιουργείται από έναν ανεμιστήρα, ο οποίος βρίσκεται πάνω στον άξονα της μηχανής. Ο εσωτερικός ψυχρός αέρας κυκλοφορεί μέσα στην μηχανή και στον ψύκτη του αέρα σε κλειστό κύκλωμα. Η εξωτερική ροή του αέρα δημιουργείται είτε από φυσικό εξαερισμό, είτε από ξεχωριστό σύστημα εξαερισμού.



- 1 - Air to Air cooler
- 2 - Ambient air
- 3 - Internal air

Το σύστημα ψύξης με αέρα αποτελείται από ένα τμήμα που περιλαμβάνει τις σωληνώσεις και από ένα άλλο τμήμα το οποίο λειτουργεί σαν οδηγός για τον αέρα.

## 2.6 Προστασίες Γεννήτριας

Αισθητήρας Δονήσεων του Στάτη : το επίπεδο δονήσεων των μηχανών είναι άμεσα συνδεδεμένο με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε εργοταξίου, στο οποίο δουλεύει η μηχανή. Οι προτεινόμενες ρυθμίσεις για τον αισθητήρα δονήσεων είναι οι εξής:

- το alarm ρυθμίζεται στο +50% από το υψηλότερο επίπεδο δονήσεων του εργοταξίου
- η μηχανή βγαίνει εκτός λειτουργίας όταν το επίπεδο των δονήσεων είναι στο +50% από αυτό της ρύθμισης για το alarm.

Οι τιμές των παραπάνω ρυθμίσεων δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τις παρακάτω τιμές :

Αισθητήρας Δονήσεων του Ρότορα : υπάρχει αισθητήρας δονήσεων του ρότορα, όπως υπάρχει και για τον στάτη. Οι προτεινόμενες ρυθμίσεις για τον αισθητήρα είναι οι εξής:

- το alarm ρυθμίζεται στο +50% από το κενό στο δακτύλιο του ρουλεμάν
- η μηχανή βγαίνει εκτός λειτουργίας όταν έχουμε +75% από το κενό στο δακτύλιο του ρουλεμάν.

Ο αισθητήρας αντιλαμβάνεται τις εκάστοτε δονήσεις με την βοήθεια ειδικών σεισμικών ακροδεκτών.

Αισθητήρας θερμοκρασίας του αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται της μηχανής: η θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται στη μηχανή μετρίεται με ένα RTD ή ένα θερμοστάτη. Οι ρυθμίσεις των θερμοκρασιών έχουν ως εξής:

- για την εισαγωγή αέρα η θερμοκρασία του alarm ρυθμίζεται στους +5K από την ονομαστική θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στο στάτη
- η θερμοκρασία στην οποία η μηχανή βγαίνει εκτός λειτουργίας ρυθμίζεται στους 80°C
- για την εξαγωγή του αέρα η θερμοκρασία του alarm ρυθμίζεται στους +35K από την ονομαστική θερμοκρασία αέρα που εισέρχεται στον στάτη
- η θερμοκρασία στην οποία η μηχανή βγαίνει εκτός λειτουργίας ρυθμίζεται στους +40K από την ονομαστική θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στον στάτη

Αισθητήρας θερμοκρασίας τυλίγματος στάτη: οι αισθητήρες θερμοκρασίας βρίσκονται στο ενεργό μέρος της μηχανής, στην ζώνη δηλαδή που θεωρείται το πιο θερμό μέρος της γεννήτριας. Όπως και η θερμοαντική αντίσταση, ο αισθητήρας θερμοκρασίας τυλίγματος στάτη καταλήγει στον κεντρικό τερματικό πίνακα προστασιών της μηχανής.

Παρακάτω βλέπουμε τις θερμοκρασίες για τις οποίες αρχίζει να χτυπάει το alarm, αλλά και να βγαίνει εκτός λειτουργίας η μηχανή.

Οι προτεινόμενες ρυθμίσεις για τον αισθητήρα είναι:

- η θερμοκρασία στην οποία ενεργοποιείται το alarm ρυθμίζεται στους +10K από την υψηλότερη καταγεγραμμένη θερμοκρασία (χωρίς όμως να υπερβαίνει τις προαναφερόμενες τιμές)

- η θερμοκρασία στην οποία η μηχανή βγαίνει εκτός λειτουργίας ρυθμίζεται στους +5K από την θερμοκρασία που έχουμε ρυθμίσει το alarm

Θερμαντική Αντίσταση: με την βοήθεια του θερμαντικού στοιχείου αποφεύγουμε την συσσώρευση υγρασίας στο εσωτερικό της μηχανής κατά τις περιόδους που η μηχανή μένει κλειστή. Η αντίσταση αυτή συνδέεται και καταλήγει στον κεντρικό τερματικό πίνακα προστασιών της μηχανής. Ενεργοποιείται δε όταν η μηχανή κλείσει και είναι τοποθετημένη στο πίσω μέρος της γεννήτριας.

## 2.7 Συντήρηση Γεννήτριας

Στην συντήρηση γίνεται έλεγχος και αντικατάσταση κάποιων υλικών στα ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά μέρη της γεννήτριας. Τα προγράμματα συντήρησης είναι τα παρακάτω τέσσερα:

- Τρίμηνη συντήρηση: γίνεται τρεις μήνες μετά την παράδοση της γεννήτριας, αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά και μηχανικά μέρη της γεννήτριας. Επαναλαμβάνεται κάθε τρεις μήνες.
- Εξάμηνη συντήρηση: γίνεται έξι μήνες μετά την παράδοση της γεννήτριας και επαναλαμβάνεται κάθε έξι μήνες. Αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά και μηχανικά μέρη της γεννήτριας, γρασάρισμα στα ρουλεμάν, έλεγχο στην πίεση της υδραυλικής.
- Ετήσια συντήρηση: γίνεται ένα χρόνο μετά την παράδοση της γεννήτριας. Επαναλαμβάνονται οι εργασίες που γίνονται στην εξάμηνη συντήρηση και επιπλέον γίνεται αλλαγή κάποιων υλικών, όπως φίλτρα, ενώ ελέγχονται όλοι οι πιεσοστάτες.
- Τετραετής συντήρηση: γίνεται τέσσερα χρόνια μετά την παράδοση της γεννήτριας και περιλαμβάνει την τρίμηνη και την ετήσια συντήρηση μαζί.

Η τρίμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη περιλαμβάνει:

- Έλεγχο στην αντικεραυνική προστασία
- Έλεγχο και συσφίξεις στον κύριο άξονα
- Έλεγχο στο σύστημα συγκράτησης του σασμάν
- Έλεγχο στο σασμάν, έλεγχο στην στάθμη λαδιού και στο φίλτρο αέρα του σασμάν
- Έλεγχο του συνδέσμου γεννήτριας-σασμάν. Γίνεται έλεγχος για ρωγμές καθώς και έλεγχος στις βίδες σύνδεσης με δυναμόκλειδο.
- Έλεγχο της γεννήτριας. Γίνεται έλεγχος στα κιβώτια σύνδεσης των καλωδίων στην γεννήτρια, ελέγχονται επίσης τα ρουλεμάν της γεννήτριας.
- Έλεγχο στο σύστημα υδραυλικής αντλίας

Η εξάμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη εκτός από τις εργασίες της τρίμηνης συντήρησης περιλαμβάνει:

- Γρασάρισμα και ακουστικός έλεγχος των ρουλεμάν στον κύριο άξονα
- Συμπλήρωση ψυκτικού υγρού εάν χρειάζεται

Η ετήσια συντήρηση στα μηχανικά μέρη, εκτός από τις εργασίες της τρίμηνης και της εξάμηνης συντήρησης, περιλαμβάνει:

- Αλλαγή του on line φίλτρου, του off line φίλτρου και του φίλτρου αέρα του σασμάν

- Αλλαγή των φίλτρων αέρα και λαδιού της υδραυλικής, ανάλυση του λαδιού της υδραυλικής αλλά και ρύθμιση των πιεσοστατών της

Η συντήρηση στα ηλεκτρικά μέρη της γεννήτριας περιλαμβάνει διάφορα τεστ και εργασίες που πραγματοποιούνται, έτσι ώστε να αποφευχθούν μελλοντικές βλάβες, αλλά και να εντοπιστούν ελαττωματικά εξαρτήματα.



Τμήμα των τυλιγμάτων της γεννήτριας

Τεστ στην περιστρεφόμενη ανορθωτική γέφυρα: Το τεστ αυτό γίνεται για να ελεγχθούν οι διόδους που αποτελούν την ανορθωτική γέφυρα. Αφού αποσυνδέσουμε τις διόδους από το κύκλωμα διέγερσης, με την βοήθεια μιας πηγής συνεχούς τάσης(μπαταρίας), συνδέουμε την κάθε δίοδο ξεχωριστά στην μπαταρία, πολώνοντας τις διόδους ορθά και παρατηρούμε αν έχουμε ορθή λειτουργία της διόδου. Ορθή λειτουργία σημαίνει ότι η δίοδος επιτρέπει την διέλευση του ρεύματος από την άνοδο προς την κάθοδο και αυτό επιβεβαιώνεται μέσω μιας ενδεικτικής λυχνίας που θα ανάψει όταν η δίοδος λειτουργεί σωστά. Στην συνέχεια οι διόδους επανασυνδέονται στο κύκλωμα.

Έλεγχος μόνωσης της γεννήτριας: Αφού πρώτα αποσυνδεθεί η σύζευξη μεταξύ γεννήτριας και σασμάν, γίνεται η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης της γεννήτριας, με την βοήθεια ειδικού οργάνου. Η μέτρηση που κάνουμε είναι μεταξύ του άξονα της γεννήτριας και της γης. Για να είναι αποδεκτή η μετρούμενη τιμή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.1ΜΩ μετρούμενη υπό συνεχή τάση 500 Volt.

Μέτρηση μόνωσης των τυλιγμάτων της γεννήτριας: Η μέτρηση αυτή γίνεται για να διαπιστώσουμε την κατάσταση της μόνωσης των τυλιγμάτων της γεννήτριας. Η μέτρηση δεν

προκαλεί ζημιά στο μονωτικό υλικό των τυλιγμάτων. Η μέτρηση γίνεται με την γεννήτρια εκτός λειτουργίας. Αν έχουμε χαμηλές τιμές της αντίστασης μόνωσης των τυλιγμάτων, θα πρέπει να γίνει καθαρισμός και απομάκρυνση της υγρασίας από την μόνωση και τα τυλίγματα.

Μέτρηση της μόνωσης του τυλίγματος οπλισμού της γεννήτριας: Η μέτρηση γίνεται μεταξύ κάθε μιας φάσης και της γης, αφού πρώτα αποσυνδεθούν οι τρεις φάσεις από το κουτί συνδέσεων. Η μετρούμενη τιμή σε ΜΩ θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $3 \times (UN + 1)$ . Αν δηλαδή έχουμε μια γεννήτρια με ονομαστική τάση 6.6KV τότε η αντίσταση μόνωσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 22.8ΜΩ. Η μέτρηση γίνεται υπό συνεχή τάση 1000 Volt.

Μέτρηση της μόνωσης του τυλίγματος πεδίου: Αφού αποσυνδέσουμε τα δυο άκρα του τυλίγματος πεδίου από τα σημεία που ενώνεται με την περιστρεφόμενη ανορθωτική γέφυρα, μετράμε μεταξύ του ενός άκρου του πεδίου και της γης. Η μέτρηση γίνεται υπό συνεχή τάση 500 Volt. Η μετρούμενη τιμή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 20ΜΩ.

Μέτρηση της μόνωσης του τυλίγματος διέγερσης: Η μέτρηση γίνεται μεταξύ του ενός άκρου του τυλίγματος και της γης, αφού πρώτα αποσυνδεθεί το τυλίγμα διέγερσης από το τερματικό κουτί συνδέσεων αλλά και από την ανορθωτική γέφυρα. Η μέτρηση γίνεται υπό συνεχή τάση 500 Volt, ενώ η μέτρηση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 20ΜΩ.

## **2.8 Πολλαπλασιαστής Ταχύτητας**

Όταν ο στρόβιλος και η γεννήτρια λειτουργούν με την ίδια ταχύτητα, και μπορούν να τοποθετηθούν έτσι ώστε οι αξονές τους να είναι σε ευθεία, η ενδεδειγμένη λύση είναι η άμεση σύζευξη τους. Τότε, ουσιαστικά δεν υφίστανται απώλειες ισχύος και είναι ελάχιστη η συντήρηση. Οι κατασκευαστές των στροβίλων προτείνουν τον τύπο της σύζευξης που πρέπει να χρησιμοποιείται (άκαμπτη ή εύκαμπτη), αν και συνήθως συστήνεται μια εύκαμπτη σύζευξη που μπορεί να ανεχθεί οπισμένη απόκλιση στην ευθυγράμμιση. Σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά στις μικρότερες ισχείς, οι στρόβιλοι περιστρέφονται με λιγότερες από 400 στροφές, οπότε απαιτείται ένας πολλαπλασιαστής ταχύτητας, για να καλυφθούν οι 1000-1500 στροφές των τυποποιημένων γεννητριών εναλλασσομένου ρεύματος.





Ο πολλαπλασιαστής ταχύτητας(σασμάν) του σταθμού παραγωγής

Για τα εύρη ισχύος που απαντώνται στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, η λύση αυτή είναι συνήθως πιο οικονομική απ'ότι η χρήση μιας γεννήτριας ειδικής κατασκευής. Ο πολλαπλασιαστής ταχύτητας μπορεί να επιλεγεί από τους κάτωθι εμπορικά διαθέσιμους τύπους:

- Κιβώτιο ταχυτήτων παράλληλου άξονα
- Επικυκλικό κιβώτιο ταχυτήτων
- Κιβώτιο ταχυτήτων ορθής γωνίας με κωνικά γρανάζια
- Μετάδοση κίνησης με ιμάντα

Τα κιβώτια ταχυτήτων απαιτούν πρόσθετη συντήρηση, και αυξάνουν αισθητά το επίπεδο θορύβου στο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, οι απώλειες τριβής μπορεί να ανέλθουν στο 2% της παραγόμενης ισχύος.

## 2.9 Πίνακας οργάνων του εξοπλισμού διανομής και εξοπλισμός προστασίας

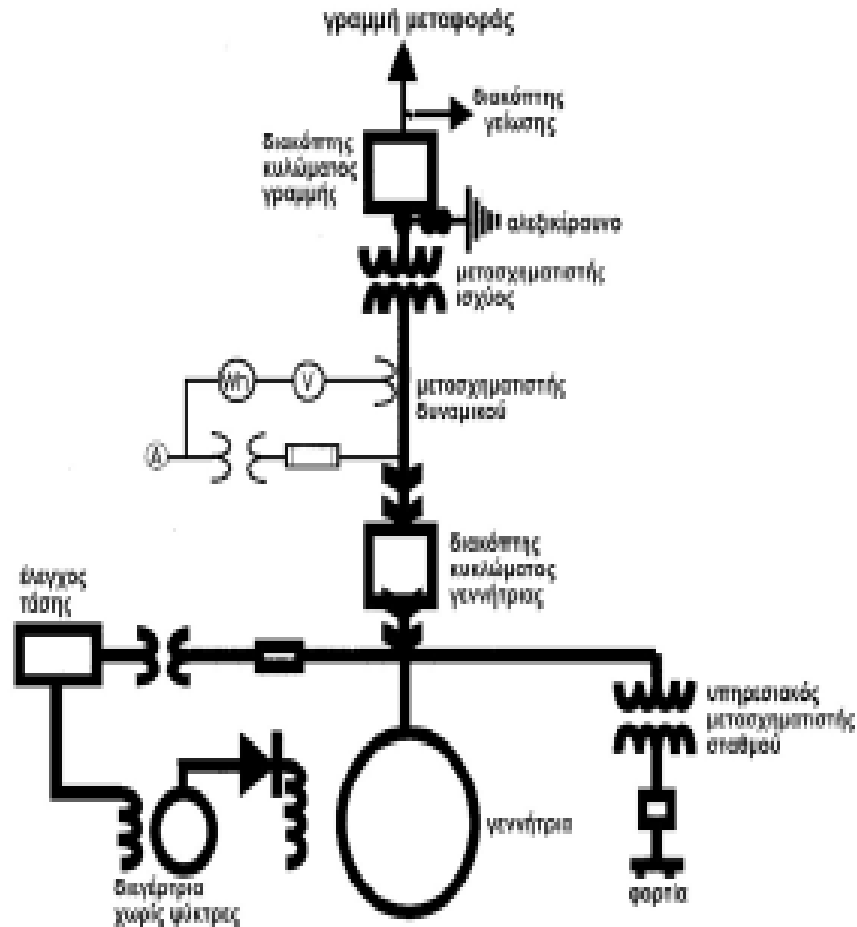
Για την ασφάλεια και την προστασία του εξοπλισμού, απαιτείται η ύπαρξη διαφόρων σχετικών ηλεκτρικών διατάξεων μέσα στο σταθμό ισχύος. Ο εξοπλισμός διανομής είναι αναγκαίος για τον έλεγχο των γεννητριών και για την σύζευξη τους με το δίκτυο. Πρέπει να



παρέχει προστασία για τις γεννήτριες, τον κύριο μετασχηματιστή και τον υπηρεσιακό μετασχηματιστή του σταθμού.

Ο πίνακας οργάνων του εξοπλισμού διανομής συνήθως περιλαμβάνει έναν διακόπτη για την γεννήτρια, μετασχηματιστές δυναμικού, μετασχηματιστές ρεύματος, διατάξεις ελέγχου της γεννήτριας, έναν αποζεύκτη τήξης και τους χάλκινους διακόπτες κυκλώματος.

Ο ανεξάρτητος παραγωγός είναι υπεύθυνος για την διάταξη της γείωσης εντός της εγκαταστάσης του. Αυτή πρέπει να σχεδιαστεί κατόπιν συνεννόησης με την δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού. Η διάταξη της γείωσης εξαρτάται από τον αριθμό των εν λειτουργία μονάδων, καθώς και από την διαμόρφωση και την μέθοδο λειτουργίας του συστήματος του ίδιου του ανεξάρτητου παραγωγού.



Διάγραμμα ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με μια μονάδα

## 2.10 Έλεγχος Υδροστροβίλου

Ο στρόβιλος συνήθως ελέγχεται από έναν ρυθμιστή στροφών, ο οποίος είναι ένας συνδυασμός συσκευών και μηχανισμών που ανιχνεύουν την απόκλιση της ταχύτητας, και την μετατρέπουν σε μια μεταβολή της θέσης του σερβοκινητήρα. Ένας αισθητήρας ταχύτητας ανιχνεύει την απόκλιση από το καθορισμένο σημείο, και το σήμα απόκλισης μετατρέπεται και ενισχύεται, ώστε να διεγείρει έναν ενεργοποιητή (υδραυλικό ή ηλεκτρικό), για τον έλεγχο της παροχής του στροβίλου.

Οι ρυθμιστές στροφών μπορεί να είναι μηχανικοί ή ηλεκτρονικοί. Στο μηχανικό τύπο, ο αισθητήρας ταχύτητας είναι ένας μηχανισμός βαριδίων σφονδύλου, που ελέγχει ένα υδραυλικό σύστημα ελαίου για την ενεργοποίηση μέσω σερβοκινητήρων των οδηγών περυγίων ή και των περυγίων του δρομέα. Οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές στροφών ελέγχουν τον στρόβιλο μέσω σταδίων ενίσχυσης της ισχύος, τα οποία κανονικά περιλαμβάνουν μια υδραυλική μονάδα ισχύος.



Η υδραυλική μονάδα που ελέγχει την θέση των περυγίων του υδροστροβίλου

Η ρύθμιση της θέσης των περυγίων του στροβίλου αλλά και των οδηγών περυγίων, εξαρτάται από κάποιες παραμέτρους όπως το μανομετρικό, η επιθυμητή ισχύς, η παροχή του νερού καθώς και η στάθμη του στον ταμιευτήρα.

## 2.11 Room Control

Εντός του κτιρίου του σταθμού παραγωγής βρίσκεται το Room Control ή Δωμάτιο Ελέγχου. Μέσα από το Room Control μπορούμε να παρακολουθούμε, μέσω αισθητήρων και οργάνων, διάφορα δεδομένα που έχουν σχέση με την λειτουργία του σταθμού παραγωγής. Μπορούμε ακόμη να ελέγχουμε διάφορα μηχανήματα, διακόπτες, κυκλώματα και συστήματα μέσω υπολογιστή.



Οι κεντρικοί πίνακες του Room Control

Ο έλεγχος της γεννήτριας αλλά και της παραγωγής, γίνεται με βάση τρεις βασικές παραμέτρους. Οι τρεις τρόποι ελέγχου είναι:

- *Λειτουργία με σταθερή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:* Σε αυτή την λειτουργία μας ενδιαφέρει, να έχουμε σταθερή παραγωγή σε MW(μεγαβάτ), ανεξαρτήτως της στάθμης του ταμιευτήρα και της παροχής νερού σε  $m^3/s$ .
- *Λειτουργία με σταθερή την στάθμη στον ταμιευτήρα:* Σε αυτή την λειτουργία μας ενδιαφέρει να παραμένει σταθερή η στάθμη στον ταμιευτήρα, οπότε για να το πετύχουμε ρυθμίζεται αυτόματα η παραγωγή των γεννητριών και η παροχή του νερού στον υδροστρόβιλο.
- *Λειτουργία με σταθερή την παροχή του νερού:* Σε αυτή την λειτουργία μας ενδιαφέρει να μένει σταθερή η παροχή του νερού στον υδροστρόβιλο. Δεν μας απασχολεί η στάθμη στον ταμιευτήρα, ενώ η παραγωγή θα είναι ανάλογη της παροχής του νερού.

Μέσω του Room Control, παρακολουθούνται δεδομένα και μετρήσεις διαφόρων μεγεθών. Μερικά από αυτά τα δεδομένα είναι τα εξής:

- Δονήσεις στον στάτη
- Δονήσεις στον δρομέα
- Θερμοκρασία τυλιγμάτων γεννήτριας
- Θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στην γεννήτρια
- Θερμοκρασία του αέρα που εξέρχεται της γεννήτριας
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος

- Θερμοκρασία εντός του κτιρίου του σταθμού παραγωγής
- Στάθμη στον ταμιευτήρα
- Στάθμη στην κάτω πλευρά του φράγματος
- Ποσότητα του νερού που διοχετεύεται στον υδροστρόβιλο
- Ποσότητα του νερού που διοχετεύεται στον ταμιευτήρα
- Ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας
- Τάση διέγερσης της γεννήτριας
- Τάση εξόδου της γεννήτριας
- Παραγόμενη ισχύς
- Συχνότητα παραγόμενου ρεύματος
- Θέση των πτερυγίων του υδροστροβίλου
- Θέση των οδηγών πτερυγίων
- Στροφές του άξονα της γεννήτριας
- Στροφές του υδροστροβίλου

Για την συλλογή αυτών των δεδομένων χρησιμοποιούνται διάφορα όργανα και αισθητήρες όπως:

- Αισθητήρες δονήσεων
- Αισθητήρες θερμοκρασίας
- Αισθητήρες στάθμης
- Αισθητήρες θέσης
- Αμπερόμετρα
- Βολτόμετρα
- Βαττόμετρα
- Συχνόμετρα
- Στροφόμετρα

Μέσα από το Room Control μπορούμε να παρέμβουμε σε κυκλώματα, συστήματα και μηχανήματα του σταθμού παραγωγής, χειριζόμενοι απλά έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μερικές από αυτές τις παρεμβάσεις είναι:

- Εκκίνηση της γεννήτριας
- Διακοπή της λειτουργίας της γεννήτριας
- Ενεργοποίηση του διακόπτη απομόνωσης της γραμμής
- Μεταβολή της ποσότητας του νερού που τροφοδοτούμε στον υδροστρόβιλο
- Αλλαγή της θέσης των πτερυγίων, αλλά και των οδηγών πτερυγίων του υδροστροβίλου

## 2.12 Σύστημα Deif

Το σύστημα Deif είναι ένα σύστημα προστασίας της γεννήτριας. Η παρακολούθηση του συστήματος γίνεται μέσω του Room Control. Το σύστημα αυτό διαθέτει έναν αριθμό προστασιών, έτσι ώστε να παρακολουθεί ηλεκτρικά την γεννήτρια, και να μπορεί να επέμβει σε περίπτωση σφάλματος. Οι πιο σημαντικές από αυτές τις προστασίες είναι:

- Προστασία της γεννήτριας από υπερένταση
- Προστασία της γεννήτριας από υπέρταση
- Προστασία της γεννήτριας από υπερδιέγερση

- Προστασία της γεννήτριας από σφάλμα προς την γη

Το σύστημα Deif, μέσω των οργάνων που διαθέτει για να επιβλέπει την ορθή λειτουργία της γεννήτριας, καταγράφει ανώτατες και κατώτατες τιμές, ενώ το πιο σημαντικό είναι ότι μπορεί να βγάλει την γεννήτρια εκτός λειτουργίας, σε περίπτωση σοβαρού σφάλματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

### ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ

#### 3.1 Γενικά

Υποσταθμός γενικά ονομάζεται η ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία γίνεται μετασχηματισμός της τάσης, καθώς και κατανομή ή διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Τους υποσταθμούς τους χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την τάση που τροφοδοτούνται:

- A. Σε Υποσταθμούς Διανομής
- B. Σε Υποσταθμούς Μεταφοράς



Άποψη του υποσταθμού της Δαφνοζωνάρας

Οι Υποσταθμοί Μεταφοράς ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν διακρίνονται σε:

- Υποσταθμούς Ανύψωσης
- Υποσταθμούς Υποβιβασμού
- Υποσταθμούς Ζεύξης

Οι Υποσταθμοί Ανύψωσης βρίσκονται κοντά στο σταθμό παραγωγής και σκοπός τους είναι η ανύψωση της τάσης παραγωγής στην τάση μεταφοράς.

Στον σταθμό παραγωγής του Δαφνοζωναρίου, για να ανυψωθεί η τάση παραγωγής στην τάση μεταφοράς, έχουν κατασκευαστεί δύο υποσταθμοί ανύψωσης της τάσης. Ο πρώτος υποσταθμός ανύψωσης βρίσκεται εντός του κτιρίου του σταθμού παραγωγής και ανυψώνει την τάση που παράγουν οι γεννήτριες, η οποία είναι της τάξης των 6,3KV στα 20KV. Από αυτό το σημείο η παραγόμενη ενέργεια μεταφέρεται στον δεύτερο υποσταθμό ανύψωσης μέσω μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς μέσης τάσης. Το μήκος αυτής της γραμμής είναι περίπου δύο χιλιόμετρα. Ο δεύτερος υποσταθμός ανυψώνει την τάση των 20KV στα 150KV.

### **3.2 Υποσταθμός Ανύψωσης Τάσης 150 kV/M.T**

Ο υποσταθμός ανύψωσης απέχει δύο περίπου χιλιόμετρα από τον σταθμό παραγωγής. Προορισμός του είναι η ανύψωση της τάσης παραγωγής, στην τάση μεταφοράς. Μέσα στον χώρο του υποσταθμού ανύψωσης βρίσκονται και οι εγκαταστάσεις για την εξασφάλιση των 6KV, 3KV και 230/400V που χρειάζονται για την τροφοδότηση των βοηθητικών κυκλωμάτων του σταθμού παραγωγής, αλλά και του ίδιου του υποσταθμού. Οι εγκαταστάσεις αυτές αποτελούν τον υποσταθμό εσωτερικής υπηρεσίας.

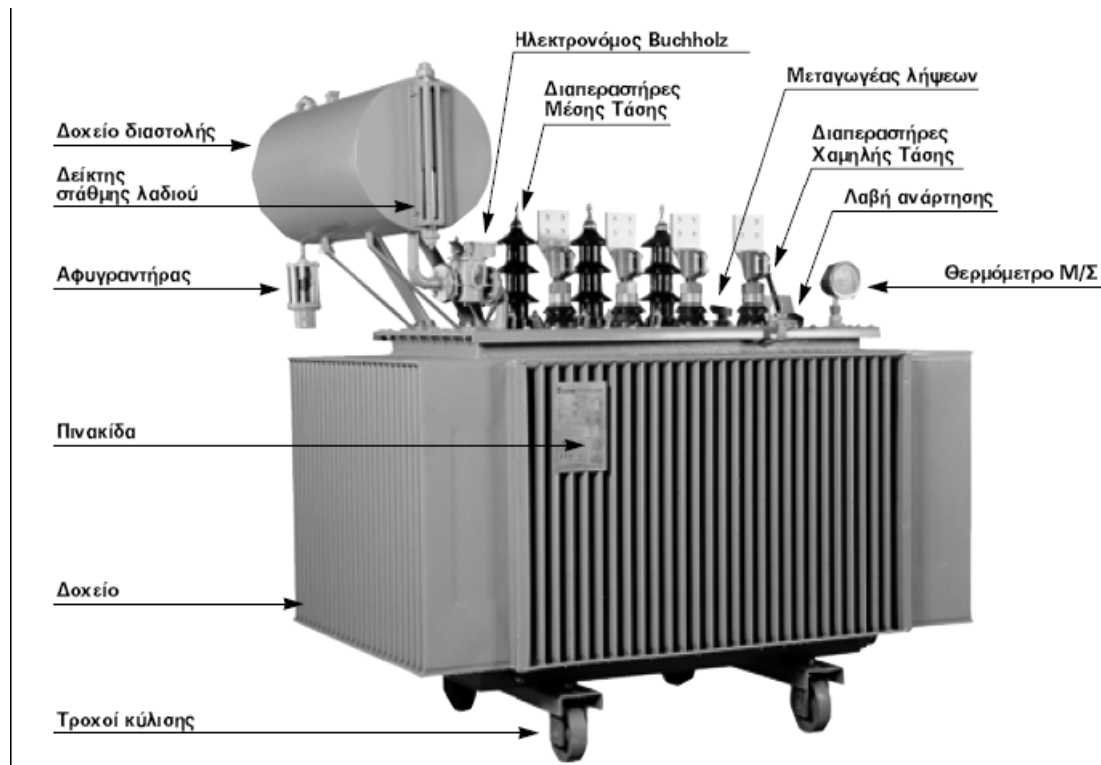
Ο υποσταθμός αυτός τροφοδοτείται και από τις γεννήτριες του σταθμού παραγωγής, αλλά και από τις γραμμές μεταφοράς με μετασχηματιστή υποβιβασμού 150/20KV, έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης της γεννήτριας να υπάρχει ρεύμα στον σταθμό για την τροφοδότηση των βοηθητικών εγκαταστάσεων.

Τα κύρια μηχανήματα του υποσταθμού ανύψωσης είναι τα εξής:

- ο μετασχηματιστής, ο οποίος ανυψώνει την τάση παραγωγής στην τάση μεταφοράς
- οι διακόπτες ισχύος και οι αποζεύκτες, που χρειάζονται για την διακοπή της ηλεκτρικής συνέχειας των γραμμών
- οι ζυγοί, για την διακλάδωση των γραμμών
- διάφορα βοηθητικά μηχανήματα (μετασχηματιστές μετρήσεων, αλεξικέραυνα κ.τ.λ)

### **3.3 Μετασχηματιστής Υποσταθμού**

Η σημαντικότερη ηλεκτρική μηχανή στον υποσταθμό είναι ο μετασχηματιστής. Ο μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Έχει δύο πηνία για κάθε φάση, τα οποία είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα αλλά και μαγνητικά συζευγμένα. Στον συγκεκριμένο υποσταθμό ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται για την ανύψωση της τάσης. Το τύλιγμα που τροφοδοτείται ονομάζεται πρωτεύον, ενώ αυτό από το οποίο παίρνουμε την ηλεκτρική ενέργεια –με μετασχηματισμένη τάση- το ονομάζουμε δευτερεύον.



Αν στο πρωτεύον η τάση είναι  $V_1$  , η ένταση του ρεύματος  $I_1$  και ο αριθμός των σπειρών  $N_1$  και τα αντίστοιχα μεγέθη του δευτερεύοντος είναι  $V_2, I_2, N_2$  τότε ισχύει ότι :

$$V_1 / V_2 = I_2 / I_1 = N_1 / N_2 = K \quad K: \text{λόγος μετασχηματισμού}$$

Ο πυρήνας και τα τυλίγματα του μετασχηματιστή που περικλείουν τον πυρήνα, τοποθετούνται μέσα στο δοχείο του μετασχηματιστή, που γεμίζεται με λάδι. Το λάδι, είναι ειδικό λάδι μετασχηματιστών, και μπορεί να είναι ορυκτέλαιο ή συνθετικό.





Ο μετασχηματιστής του υποσταθμού – Διακρίνονται επίσης το δοχείο διαστολής, οι μονωτήρες μέσης και υψηλής τάσης καθώς και τα ψυγεία του

Τα κατασκευαστικά μέρη ενός μετασχηματιστή είναι:

- το δοχείο του μετασχηματιστή, που περικλείει τον πυρήνα, τα τυλίγματα και το λάδι του μετασχηματιστή
- οι μονωτήρες υψηλής και μέσης τάσης, που χρησιμοποιούνται για την ασφαλή διέλευση του ρεύματος
- το δοχείο διαστολής, που χρησιμεύει για να δέχεται την αύξηση του όγκου του λαδιού, όταν αυτό θερμαίνεται κατά την διάρκεια λειτουργίας του μετασχηματιστή
- το ψυγείο του λαδιού, που χρησιμεύει για την ψύξη του λαδιού

Όταν τα τυλίγματα του μετασχηματιστή διαρρέονται από ρεύμα, εκλύεται -λόγω του φαινομένου JOULE- θερμότητα (απώλειες χαλκού). Θερμότητα επίσης εκλύεται και από τον πυρήνα, λόγω κυκλοφορίας μέσα σε αυτόν δινορευμάτων (απώλειες σιδήρου). Κατά συνέπεια πρέπει η εκλυόμενη θερμότητα να αποβάλλεται στο περιβάλλον για να μην ανεβαίνει η θερμοκρασία του μετασχηματιστή σε επικίνδυνα επίπεδα. Σε αυτό βοηθά το ίδιο το μονωτικό λάδι, που χρησιμεύει και ως ψυκτικό μέσο. Για την καλύτερη απαγωγή της

παραγόμενης θερμότητας τοποθετούνται, εξωτερικά του δοχείου του μετασχηματιστή, τα ψυγεία που διαθέτουν εκτεταμένες επιφάνειες εναλλαγής της θερμότητας.

Στους μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος με λάδι, όπως στην περίπτωση μας, η ψύξη του λαδιού στα ψυγεία διευκολύνεται ακόμη περισσότερο με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα, που την πετυχαίνουμε χρησιμοποιώντας ανεμιστήρες.

### **Βασικά Ονομαστικά Μεγέθη Μετασχηματιστή**

Η επιλογή ενός μετασχηματιστή γίνεται με βάση τα ονομαστικά του μεγέθη. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

1. Η ονομαστική λειτουργία ενός μετασχηματιστή καθορίζεται από τα μεγέθη τα οποία δίνονται επί της πλάκας του κατασκευαστή
2. Η ονομαστική ικανότητα ενός μετασχηματιστή, είναι η ισχύς στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος, η οποία φαίνεται στην πλάκα και εκφράζεται σε kilovoltampere (KVA).
3. Η ονομαστική πρωτεύουσα τάση είναι η τάση στους ακροδέκτες του πρωτεύοντος. Εάν το πρωτεύον είναι εφοδιασμένο με ενδιάμεσες λήψεις (taps), τότε οι ονομαστικές ενδιάμεσες τάσεις διακρίνονται στην πλάκα του μετασχηματιστή.
4. Η ονομαστική δευτερεύουσα τάση είναι η τάση στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, όταν αυτός δεν έχει φορτίο. Εάν το δευτερεύον τύλιγμα είναι εφοδιασμένο με ενδιάμεσες λήψεις (taps), τότε οι ονομαστικές ενδιάμεσες τάσεις διακρίνονται στην πλάκα του μετασχηματιστή.
5. Τα ονομαστικά ρεύματα του μετασχηματιστή, πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, φαίνονται επί της πλάκας του μετασχηματιστή και υπολογίζονται με βάση τις ονομαστικές τιμές της ισχύος και της τάσης.

Πινακίδα Μετασχηματιστή: Η πινακίδα ενός μετασχηματιστή δίνει σημαντικές πληροφορίες για την σωστή λειτουργία και συντήρηση του. Τα βασικά τεχνικά στοιχεία που αναγράφονται στην πινακίδα είναι:

- Ο σχετικός κανονισμός
- Όνομα κατασκευαστή
- Αριθμός σειράς
- Έτος κατασκευής
- Αριθμός φάσεων
- Ο τύπος του πυρήνα του μετασχηματιστή
- Ονομαστική ισχύς
- Ονομαστική συχνότητα
- Ονομαστικές τάσεις και εύρος λήψεων
- Ονομαστικά ρεύματα
- Κλάση ψύξεως
- Είδος μονωτικού λαδιού
- Στάθμη μόνωσης
- Πολικότητα
- Σύνθετη αντίσταση βραχυκύκλωσης

### 3.4 Προστασίες Μετασχηματιστή

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

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

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

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

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

Συσκευή Ανακούφισης Πίεσης: Όλοι οι μετασχηματιστές είναι εφοδιασμένοι με την συσκευή ανακούφισης πίεσης ή ανακουφιστική βαλβίδα. Η συσκευή αυτή χρησιμεύει στην εκτόνωση των μεταβολών της πίεσης, που οφείλονται σε εσωτερικά σφάλματα. Αποτελείται από ένα διάφραγμα που επανέρχεται στη θέση του μέσω ελατηρίων και μια μηχανικά κινούμενη ενδεικτική ράβδος. Όταν η πίεση ξεπερνά μια προκαθορισμένη τιμή, το διάφραγμα κινείται

προς τα επάνω και επιτρέπει την εκτόνωση των αερίων. Όταν η πίεση επανέλθει στα φυσιολογικά επίπεδα το διάφραγμα επιστρέφει στην αρχική του θέση, σφραγίζοντας το μετασχηματιστή. Κατά την ενεργοποίηση ανυψώνεται η ενδεικτική ράβδος στο πάνω τμήμα της συσκευής και επανέρχεται στην αρχική θέση μόνο μετά από χειροκίνητο χειρισμό. Το όργανο μπορεί να διαθέτει επαφές για το άνοιγμα του διακόπτη του μετασχηματιστή.

Ηλεκτρονόμος Ξαφνικής Εκτόνωσης: Ο ηλεκτρονόμος ξαφνικής εκτόνωσης ανιχνεύει τις ξαφνικές αιχμές στην πίεση, που παράγονται κατά την λειτουργία του μετασχηματιστή. Αυτό πραγματοποιείται με την ανίχνευση του ρυθμού μεταβολής της πίεσης κατά την διάρκεια εσωτερικών σφαλμάτων. Αν η εσωτερική πίεση υπερβεί τα όρια ασφαλείας, ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιεί το κύκλωμα προστασίας του μετασχηματιστή, ο οποίος τίθεται εκτός λειτουργίας.

Αφυγραντής: Οι αφυγραντές χρησιμοποιούνται για να εμποδίζουν την υγρασία του περιβάλλοντος να έρθει σε επαφή με το λάδι του μετασχηματιστή. Είναι δηλαδή απαραίτητοι, για την μείωση της υποβάθμισης του λαδιού και για την διατήρηση της ακεραιότητας της μόνωσης. Οι αφυγραντές διατίθενται σε διάφορα μεγέθη ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις μπορούν να συνδεθούν παράλληλα, αυξάνοντας το ποσοστό απορρόφησης της υγρασίας. Περιέχουν υγροσκοπικούς κρυστάλλους που ονομάζονται silica gel, οι οποίοι μπορούν να απορροφήσουν υγρασία ίση με το 20% του βάρους τους.



Ο αφυγραντής του μετασχηματιστή

### 3.5 Συντήρηση Μετασχηματιστή

Ο μετασχηματιστής αποτελεί το σημαντικότερο από τα μηχανήματα ενός υποσταθμού, οπότε η συντηρησή του είναι από τις βασικότερες εργασίες που πραγματοποιούνται σε έναν υποσταθμό. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικοί έλεγχοι και εργασίες, που πραγματοποιούνται κατά την συντήρηση ενός μετασχηματιστή ισχύος.

#### ▼ Έλεγχος του μονωτικού λαδιού

Η προληπτική συντήρηση συμπεριλαμβάνει δοκιμές στο μονωτικό λάδι, ανά εξάμηνο ή χρόνο, ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν υγρασία, οξείδωση ή και εύφλεκτα αέρια στο λάδι. Ο Αμερικάνικος οργανισμός ASTM καθορίζει τις δοκιμές λαδιού στον κανονισμό D117.

Το ορυκτέλαιο υψηλής διύλισης είναι το ευρύτερα διαδεδομένο μονωτικό υγρό στους μετασχηματιστές ισχύος. Για να γίνουν οι απαραίτητοι έλεγχοι στο λάδι, θα πρέπει να γίνει δειγματοληψία του. Κατά την δειγματοληψία, η θερμοκρασία του λαδιού θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε να αποτρέπεται εισχώρηση τυχόν υγρασίας στο δείγμα. Η θερμοκρασία λαδιού, περιβάλλοντος καθώς επίσης και η σχετική υγρασία θα πρέπει να καταγράφονται. Αν η σχετική υγρασία υπερβαίνει το 50% (συνθήκες βροχής ή χιονιού), η δειγματοληψία θα πρέπει να προγραμματίζεται για άλλη χρονική στιγμή.

Δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής: Η διηλεκτρική αντοχή ενός υγρού είναι δείκτης της μονωτικής του ικανότητας. Χαμηλές τιμές είναι αποτέλεσμα ύπαρξης υγρασίας ή και αιωρούμενων σωματιδίων. Η δοκιμή εκτελείται με συσκευή η οποία αυξάνει την τάση βαθμιαία, μέχρις ότου επέλθει διάσπαση του λαδιού. Οι ρυπαντές οι οποίοι προκαλούν χαμηλή διηλεκτρική αντοχή είναι δυνατόν να αφαιρεθούν με διατάξεις καθαρισμού λαδιών. Τυπικές τιμές της τάσης διάσπασης είναι 30-40KV/mm. Όταν οι τιμές βρίσκονται κάτω από τα 26 KV/mm απαιτείται προσεκτικός έλεγχος.

Δοκιμή επιφανειακής τάσης: Το δείγμα λαδιού τοποθετείται σε δοχείο, σε θερμοκρασία 25°C. Επειδή το λάδι έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το νερό, επιπλέει δημιουργώντας μια διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα δυο υγρά. Επιφανειακή τάση μονωτικού λαδιού είναι η δύναμη σε δύνες ανά εκατοστό, η οποία απαιτείται για να διασπαστεί η διαχωριστική μεμβράνη μεταξύ αποσταγμένου νερού και λαδιού. Για την δοκιμή χρησιμοποιείται δακτυλιοειδής αγωγός, ο οποίος κινείται προς τα πάνω(διαμέσω της διαχωριστικής μεμβράνης). Όταν στο λάδι υπάρχουν ρυπαντές όπως βερνίκια, χρώματα και προϊόντα οξείδωσης, η διαχωριστική μεμβράνη εξασθενεί, και απαιτείται μικρότερη δύναμη για να διασπαστεί. Δυο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή τάση είναι, η έκθεση του μονωτικού λαδιού στο φως αλλά και η παρουσία σωματιδίων.

Μέτρηση βαθμού εξουδετέρωσης: Ο βαθμός εξουδετέρωσης αποτελεί μέτρο της οξύτητας του λαδιού. Μαζί με την επιφανειακή τάση δείχνει εάν το μονωτικό λάδι χρειάζεται αναγέννηση. Η μέτρηση, η οποία εκτελείται τόσο σε εργαστήριο όσο και επιτόπου, προσδιορίζει το περιοχόμενο mg KOH/gr λαδιού. Τιμές μεγαλύτερες από 0,3 υποδηλώνουν την παρουσία οργανικών οξέων, τα οποία είναι επιβλαβή για το μονωτικό σύστημα. Τα οξέα μπορούν να δημιουργήσουν διάβρωση, ενώ αυξάνουν και την διαλυτότητα του νερού στο λάδι.

Μέτρηση συντελεστή ισχύος: Ο συντελεστής ισχύος αναπαριστά τις διηλεκτρικές απώλειες του λαδιού, λόγω του ρεύματος διαρροής διαμέσω αυτού. Υψηλή τιμή του συντελεστή ισχύος είναι ένδειξη μόλυνσης ή ύπαρξης προϊόντων υποβάθμισης όπως νερό, άνθρακας, μεταλλικοί σάπωνες και προϊόντα οξειδωσης. Τα εργαστήρια πραγματοποιούν την μέτρηση στους 25°C και 100°C. Η μέτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και επιτόπου με χρήση φορητού οργάνου. Αν ο συντελεστής ισχύος είναι μεγαλύτερος από 2%, το λάδι πρέπει να απομακρύνεται και να αναγεννάται.

Προσθήκη επιβραδυντών οξειδωσης: Τα οξέα που σχηματίζονται χειροτερεύουν την μόνωση και τα διάφορα μέταλλα, παράγοντας ακόμα περισσότερα οξέα. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την προσθήκη αντιοξειδωτικών. Τα αντιοξειδωτικά είναι ουσίες που προστίθενται στο λάδι και δρουν σαν ασπίδα. Έτσι το οξυγόνο καταστρέφει το αντιοξειδωτικό αντί για την μόνωση κυτταρίνης. Τα αντιοξειδωτικά χρησιμοποιούνται και σταδιακά εξαφανίζονται, οπότε και θα πρέπει να αντικαθιστούνται.

Ανάλυση φουρανίων: Η θερμική γήρανση στην οποία υπόκεινται τα υλικά της κυτταρίνης, προκαλεί την παραγωγή χημικών ενώσεων στο λάδι. Οι κυριότερες ενώσεις που παράγονται είναι τα φουράνια, το CO και το CO<sub>2</sub>. Με την μέθοδο της χρωματογραφίας υγρής φάσης μπορούν να ανιχνευθούν τα φουράνια εντός του λαδιού.

Δοκιμή χρώματος: Το μονωτικό λάδι πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ανοιχτόχρωμο και καθαρό. Η μεταβολή του χρώματος του λαδιού κατά την διάρκεια του χρόνου υποδηλώνει υποβάθμιση ή ρύπανση του μονωτικού λαδιού. Κατά την δοκιμή γίνεται σύγκριση με έγχρωμα τυποποιημένα γυαλιά, τα οποία έχουν αρίθμηση από 0,5 έως 8. Ο αριθμός 0,5 αντιστοιχεί στο διαφανές λάδι, ενώ ο αριθμός 8 στο σχεδόν μαύρο (άχρηστο).

## ✓ Έλεγχος συστήματος μόνωσης

Αντίσταση μόνωσης: Η μέτρηση της αντίστασης μόνωσης προσδιορίζει την ποιότητα της μόνωσης του μετασχηματιστή. Η μέτρηση πραγματοποιείται με μεγγόμετρο (Megger). Με την μέτρηση εφαρμόζεται μια συνεχής τάση μεταξύ τυλιγμάτων και γης. Είναι σημαντικό να γειώνονται σωστά όλα τα τυλίγματα, εκτός εκείνου που μετράται η αντίσταση. Είναι βασικό να γειώνονται όλοι οι ακροδέκτες μετά την μέτρηση, έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν αποθηκευμένα φορτία. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται είναι οι εξής:

- Μέτρηση μεταξύ τυλίγματος υψηλής τάσης και γειωμένου τυλίγματος χαμηλής τάσης
- Μέτρηση μεταξύ τυλίγματος χαμηλής τάσης και γειωμένου τυλίγματος υψηλής τάσης
- Μέτρηση μεταξύ τυλίγματος υψηλής – χαμηλής τάσης και γης
- Μέτρηση μεταξύ τυλίγματος υψηλής και χαμηλής τάσης

Μετρήσεις ρευμάτων: Υπάρχουν τρεις μέθοδοι μέτρησης ανάλογα με την συνδεσμολογία του οργάνου. Το όργανο μέτρησης διαθέτει τρεις ακροδέκτες, τον ακροδέκτη υψηλής τάσης, τον ακροδέκτη μέτρησης, και τον ακροδέκτη γείωσης. Οι τρεις θέσεις συνδεσης των ακροδεκτών είναι:

- UST - Σε αυτή την διαμορφωση μετράται το ρεύμα που διαρρέει την μόνωση ανάμεσα στους ακροδέκτες υψηλής τάσης και μέτρησης του οργάνου. Ο ακροδέκτης



μέτρησης συνδέεται στην είσοδο του οργάνου. Ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στην θέση guard, με αποτέλεσμα τα ρεύματα που τον διαρρέουν να μην μετρώνται.

- GST - Σε αυτή την διαμόρφωση μετρώνται όλα τα ρεύματα που διαρρέουν την μόνωση ανάμεσα στον ακροδέκτη υψηλής τάσης του οργάνου και της γης. Ο ακροδέκτης μέτρησης και ο ακροδέκτης γείωσης συνδέονται στην είσοδο του οργάνου.
- GSTg - Σε αυτή την διαμόρφωση μετράται μόνο το ρεύμα διαρροής ανάμεσα στον ακροδέκτη υψηλής τάσης και την γη. Ο ακροδέκτης μέτρησης συνδέεται στην θέση guard. Ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στην είσοδο του οργάνου.

## ✓ Θερμογραφικός έλεγχος

Η θερμογραφική ανάλυση είναι μια μέθοδος ελέγχου του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού, μέσω απεικόνισης της κατανομής θερμότητας. Βασίζεται στην αρχή ότι τα περισσότερα εξαρτήματα ενός συστήματος παρουσιάζουν αύξηση της θερμοκρασίας τους σε περίπτωση δυσλειτουργίας. Τυχόν τοπικά προβλήματα που οφείλονται σε μεταβολή της ωμικής αντίστασης, καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν θερμότητα. Παρατηρώντας τα θερμογραφήματα του εξοπλισμού, εντοπίζονται χαλαρές συνδέσεις, ασύμμετρη φόρτιση, συνθήκες υπερφόρτισης, φθορά και άλλα προβλήματα υλικού. Το όργανο που χρησιμοποιείται είναι η θερμογραφική κάμερα ή αλλιώς θερμοκάμερα.

## ✓ Εξωτερικός οπτικός έλεγχος

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

- Λάδια χυμένα στο εξωτερικό της δεξαμενής
- Παρουσία θερμών σημείων/αποχρωματισμός μετάλλων
- Ζημιές σε μονωτήρες διέλευσης, αλεξικέραυνα αλλά και στο σύστημα ψύξης
- Επαλήθευση σωστής στάθμης λαδιού
- Οπτικός έλεγχος αφυγραντή
- Φυσιολογική ένδειξη θερμοκρασίας
- Ύπαρξη αερίων στον ηλεκτρονόμο Buchholz
- Επαλήθευση των σημάτων ελέγχου και διακοπής
- Επαλήθευση σωστής λειτουργίας ανεμιστήρων και αντλιών
- Ακουστικός έλεγχος για ασυνήθιστους θορύβους

Όταν μια επιφάνεια παρουσιάζει φθορά στο χρώμα, πρέπει να βάφεται αφού προηγουμένως έχει καθαριστεί από σκουριά, ρύπανση, γράσο και στη συνέχεια έχει επικαλυφθεί με αστάρι.

Φαινόμενο Corona: Μερικοί από τους παραπάνω ελέγχους ενδέχεται να απαιτούν μεγενθυντικό φακό, αφού η οπτική παρατήρηση μπορεί να μην είναι επαρκής. Το φαινόμενο Corona (ιονισμός του αέρα) μπορεί να είναι ορατό κατά τις βραδυνές ώρες, ιδιαίτερα τις μέρες με βροχή, ομίχλη ή υψηλή υγρασία. Η Corona συνήθως συμβαίνει στο πάνω μέρος του

μονωτήρα. Ομως όταν η ρύπανση του μονωτήρα αυξάνεται, εμφανίζεται ερπυσμός όλο και πιο χαμηλά. Έτσι ο μονωτήρας θα πρέπει να ελέγχεται και να καθαρίζεται. Το όργανο μέσω του οποίου μπορούν να παρατηρηθούν χαμηλά επίπεδα του φαινομένου, ονομάζεται Corona-σκόπιο.

#### **✓ Έλεγχος μονωτήρων διέλευσης**

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

#### **✓ Έλεγχος εναλλάκτη θερμότητας**

Ο πυρήνας και τα τυλίγματα του μετασχηματιστή εκλύουν θερμότητα μέσα στο λάδι, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία του. Η λειτουργία του εναλλάκτη καθορίζει την ανύψωση της θερμοκρασίας. Η μείωση της απόδοσης σε έναν εναλλάκτη μπορεί να προέλθει από την ρυπαρότητα των επιφανειών ψύξεως. Οι εναλλάκτες πρέπει να καθαρίζονται τακτικά. Όταν διαθέτουν περύγια, συνήθως καθαρίζονται με πεπιεσμένο αέρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης νερό, νερό με διάλυμα, νερό υψηλής πίεσης και ατμός.

Μια συνηθισμένη βλάβη στους εναλλάκτες εξαναγκασμένης ψύξης λαδιού, είναι οι φραγμένες σωληνώσεις. Αυτό το πρόβλημα αυξάνει το φορτίο του κινητήρα, προκαλώντας πτώση του θερμικού του. Η λύση είναι ο καθαρισμός των σωληνώσεων.

Η επισκευή των εναλλακτών είναι σχετικά δύσκολη. Οι μικρές διαρροές μπορούν να επισκευαστούν προσωρινά με καθαρισμό και χρήση εποξικής ρητίνης. Οι μεγαλύτερες διαρροές μπορεί να απαιτούν την απομάκρυνση του εναλλάκτη.

#### **✓ Έλεγχος προστασιών μετασχηματιστή**

Το θερμόμετρο ελαίου πρέπει να ελέγχεται ετησίως. Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- Φθορά του σπινάλ και του γραναζιού του εδεικτικού
- Σύνδεση του σωλήνα με το εδεικτικό
- Η κίνηση του δείκτη
- Ύπαρξη σκουριάς ή υγρασίας στο εσωτερικό του οργάνου
- Ηλεκτρικός έλεγχος των επαφών

Το θερμόμετρο τυλιγμάτων πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη. Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- Καλιμπράρισμα, μέσω σύνδεσης ωμικών αντιστάσεων στον πίνακα ελέγχου



- Σύνδεση του τριχοειδούς σωλήνα μεταξύ υποδοχής βολβού και ενδεικτικού
- Σύγκριση με υδραργυρικό φαινόμενο σε λουτρό λαδιού
- Έλεγχος για διαρροή
- Ηλεκτρικός έλεγχος των επαφών

Το ενδεικτικό στάθμης λαδιού πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη. Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- Απομάκρυνση του ενδεικτικού και έλεγχος της κίνησης του δείκτη, με την χρήση μαγνήτη
- Έλεγχος για διαρροή λαδιού
- Ύπαρξη υγρασίας
- Ηλεκτρικός έλεγχος των επαφών σήμανσης και χαμηλής στάθμης

Ο ηλεκτρονόμος άμεσης εκτόνωσης πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη. Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- Έλεγχος με μανόμετρο και βολβό συμπίεσεων
- Έλεγχος του κυκλώματος διέγερσης με την βοήθεια πολυμέτρου

Ο ηλεκτρονόμος Buchholz πρέπει να ελέγχεται κάθε 3-5 έτη. Τυπικά σημεία ελέγχου και συντήρησης είναι:

- Έλεγχος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου κατά την παραγωγή αερίων από το παράθυρο παρακολούθησης
- Έλεγχος των επαφών με τη βοήθεια πολυμέτρου

### 3.6 Ζυγοί

Ένας υποσταθμός ηλεκτρικής ισχύος αποτελείται από εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν την ροή της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα. Ένας υποσταθμός μπορεί να συνδυαστεί με έναν σταθμό γεννήτριας ή μετασχηματιστές ισχύος ή να συνδέσει έναν αριθμό οδών παροχής στο ίδιο επίπεδο τάσης. Μία ή και περισσότερες από αυτές τις δυνατότητες μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα υποσταθμό όταν εισερχόμενα ή εξερχόμενα κυκλώματα συνδέονται σε έναν ζυγό.

Τα κύρια μέρη ενός κυκλώματος είναι οι γραμμές, οι κόμβοι, οι διακόπτες, οι μετασχηματιστές και οι απομονωτές. Ο πιο απλός τρόπος για να ενωθούν τέτοια κυκλώματα είναι η σύνδεση τους σε ένα ζυγό.

Για να βελτιωθεί η ασφάλεια, να διευκολυνθεί η συντήρηση και να μπορούν να πραγματοποιηθούν ευκολότερα χειρισμοί στο σύστημα ηλεκτρικής ισχύος χρησιμοποιούνται κάποιες βασικές δομές ζυγών, οι οποίες είναι:

- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγός μεταγωγός
- Κύριοι και μεταγωγικοί ζυγοί
- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγός μεταγωγός
- Διπλοί ζυγοί με διπλούς διακόπτες

- Τριπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Ζυγοί σε σχήμα δακτυλίου

### Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ζυγών

Διαστάσεις των ζυγών: οι διατομές στις χάλκινες σωλήνες(μπάρες) που χρησιμοποιούνται για ζυγούς είναι Φ 20/16mm, Φ 30/24mm, Φ 60/52mm, Φ 80/70mm, ενώ το μήκος τους είναι περίπου 6 μέτρα. Στην πλευρά των 150KV χρησιμοποιούνται μπάρες Φ 30/24mm, που επαρκούν από ηλεκτρικής άποψης όταν η απόσταση μεταξύ δύο στηριγμάτων είναι ίση ή μικρότερη των 6 μέτρων. Αν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 8,5m χρησιμοποιούνται μπάρες Φ 60/52mm. Στην πλευρά των 20KV χρησιμοποιούνται για τους βοηθητικούς ζυγούς μπάρες Φ 30/24mm, ανεξαρτήτως του μεγέθους του μετασχηματιστή. Για όλους τους υπόλοιπους ζυγούς μεταξύ μετασχηματιστή και κεντρικού διακόπτη, αλλά και για τους κύριους ζυγούς των 20KV χρησιμοποιούνται μπάρες Φ ανάλογα με το μέγεθος του μετασχηματιστή.

Σφικτήρες: Υπάρχουν δύο είδη σφικτήρων που χρησιμοποιούνται για τις μπάρες των ζυγών, σταθεροί και ελαστικοί ή ολισθαίνοντες. Η χρήση τους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπουν την διαστολή των μπαρών. Μεταξύ δύο σταθερών σφικτήρων τοποθετείται ελαστικός σφικτήρας, ενώ στα ελεύθερα άκρα των μπαρών τοποθετούνται πάντα ελαστικοί σφικτήρες.

Σε μερικούς υποσταθμούς οι ζυγοί των 150KV φτιάχνονται με χάλκινο αγωγό. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούμε διατομή αγωγού 240mm<sup>2</sup>.

### **3.7 Αποζεύκτες**

Οι αποζεύκτες μέσης τάσης μπορεί να είναι είτε τριπολικής, είτε μονοπολικής αποζεύξεως. Η τριπολικής αποζεύξεως χειρίζονται με κατάλληλο μηχανισμό, οπότε η κίνηση μεταδίδεται ταυτόχρονα και στις τρεις φάσεις. Οι αποζεύκτες μονοπολικής αποζεύξεως χειρίζονται με κατάλληλο μονωτικό κοντάρι. Οι επαφές του αποζεύκτη στηρίζονται σε μονωτήρες με κατάλληλο μήκος ερπυσμού και μορφής, ανάλογα της τάσης λειτουργίας και του χώρου στον οποίο θα εγκατασταθεί (εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου).



Οι αποζεύκτες του υποσταθμού

Η κινητή επαφή του αποζεύκτη είναι κατασκευασμένη από χάλκινη ορθογωνική ράβδο, κατάλληλης διατομής, ανάλογα με την ονομαστική ένταση του αποδέκτη.

Στην κατηγορία των αποζευκτών υπάρχουν και οι ασφαλειαποζεύκτες. Αυτοί τοποθετούνται μπροστά από μικρούς μετασχηματιστές ισχύος (μέχρι 250 KVA) ή μετασχηματιστές οργάνων για την προστασία τους. Αντί της λεπίδας του αποζεύκτη, υπάρχει η αποζευκτική ασφάλεια που μπορεί να χειριστεί, όπως και η λεπίδα του αποζεύκτη, για απομόνωση του μηχανήματος με κατάλληλο μονωτικό κοντάρι. Σε περίπτωση σφάλματος θα λιώσει το εσωτερικό τηκτό της ασφάλειας και θα διακοπεί το κύκλωμα.

### 3.8 Διακόπτες Ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος, ή αυτόματοι διακόπτες, είναι τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η διακοπή των βραχυκύκλωμάτων στα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Χρησιμοποιούνται επίσης για χειρισμούς του δικτύου, δηλαδή για τις ζεύξεις και τις αποζεύξεις των γραμμών, των μετασχηματιστών κ.τ.λ.

Το μέγεθος της ισχύος βραχυκύκλωσης, την οποία μπορεί να διακόψει ο διακόπτης, καθώς και ο χρόνος διακοπής αποτελούν τα δύο βασικά χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος. Ο χρόνος λειτουργίας του διακόπτη είναι πολύ σημαντικός, ειδικά σε μεγάλα δίκτυα, γιατί όταν προστεθεί στον χρόνο λειτουργίας της προστασίας από την οποία παίρνει την εντολή, μας δίνει τον χρόνο αποκατάστασης του σφάλματος ή τον χρόνο διατήρησης του.

Η σημαντικότερη λειτουργία του διακόπτη ισχύος είναι να διακόπτει το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο η ικανότητα διακοπής του διακόπτη θα πρέπει

να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με την ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου στην θέση του διακόπτη.

Ένας αυτόματος διακόπτης περιλαμβάνει ένα ζεύγος επαφών, μια σταθερή και μια κινητή. Ένας μηχανισμός κινεί την κινητή επαφή για να κλείσει ή να ανοίξει το κύκλωμα. Ο μηχανισμός μπορεί να είναι ένα σωληνοειδές, ένας μηχανισμός φορτισμένου ελατηρίου, υδραυλικός, πνευματικός ή μικτός υδροπνευματικός.



Οι διακόπτες ισχύος με εξαφθοριούχο θείο του υποσταθμού

Όταν απαιτείται διακοπή του κυκλώματος ο μηχανισμός απομακρύνει τις επαφές, μεταξύ των οποίων σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό τόξο. Βασικός σκοπός του διακόπτη είναι να σβήσει το τόξο αυτό για να διακοπεί το ηλεκτρικό κύκλωμα.

Η σβέση του τόξου επιτυγχάνεται με διάφορα μέσα. Έτσι οι διακόπτες ισχύος χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για την σβέση του τόξου.

Οι βασικότερες κατηγορίες διακοπών είναι:

- Διακόπτες ελαίου
- Διακόπτες πτωχού ελαίου
- Διακόπτες πεπιεσμένου αέρα
- Διακόπτες εξαφθοριούχου θείου SF6
- Διακόπτες κενού

Ο υποσταθμός του σταθμού παραγωγής της Δαφνοζωνάρας χρησιμοποιεί αυτόματους διακόπτες εξαφθοριούχου θείου SF<sub>6</sub>. Το εξαφθοριούχο θείο είναι ένα αδρανές αέριο οπότε και δεν επηρεάζει τα μεταλλικά, πλαστικά και συνθετικά εξαρτήματα από τα οποία κατασκευάζεται ένας διακόπτης υψηλής τάσης.

Το εξαφθοριούχο θείο έχει καλές διηλεκτρικές ιδιότητες και για μικρές τάσεις λειτουργεί και σαν μονωτικό του διακόπτη. Οι διακόπτες εξαφθοριούχου θείου χρησιμοποιούνται στην μέση αλλά και στην υψηλή τάση, είναι αθόρυβοι και αντέχουν σε περισσότερα ανοιγοκλεισίματα σε σχέση με άλλους διακόπτες. Είναι, ωστόσο, υψηλότερου κόστους σε σχέση με τους άλλους διακόπτες ισχύος εξαιτίας της υψηλής τιμής του εξαφθοριούχου θείου.

### 3.9 Βοηθητικά Μηχανήματα-Εξαρτήματα

Αλεξικέραυνα: Τα αλεξικέραυνα προστατεύουν τις γραμμές μεταφοράς και τα μηχανήματα των υποσταθμών από υπερτάσεις που προκαλούνται, είτε από κεραυνούς είτε από διάφορους χειρισμούς στα μηχανήματα του συστήματος.

Για την αποτελεσματική προστασία των μηχανημάτων πρέπει να υπάρχουν οι παρακάτω βασικές απαιτήσεις:

A) Η στάθμη προστασίας που παρέχεται από τα αλεξικέραυνα σε κρουστικές τάσεις πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντίστοιχη αντοχή των μονώσεων του προστατευόμενου μηχανήματος. Η επιλογή της ονομαστικής κρουστικής έντασης των αλεξικέραυνων αποτελεί οικονομικό πρόβλημα που εξαρτάται από την ένταση των κεραυνών και από την σπουδαιότητα του μηχανήματος που πρέπει να προστατευθεί. Σε περίπτωση που περάσει μεγαλύτερο ρεύμα μέσα από το αλεξικέραυνο, αυτό θα καταστραφεί.

B) Η στάθμη προστασίας, σε υπερτάσεις από χειρισμούς, που παρέχεται από τα αλεξικέραυνα πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντίστοιχη αντοχή των μονώσεων του προστατευόμενου μηχανήματος. Η ονομαστική τάση ενός αλεξικέραυνου είναι η τάση στην οποία είναι υπολογισμένο να αντέχει αυτό συνεχώς. Όταν ο ουδέτερος είναι γειωμένος, επιτρέπεται η χρήση αλεξικέραυνων που έχουν μικρότερη ονομαστική τάση από την ονομαστική πολιτική.

Γ) Τα αλεξικέραυνα πρέπει να διατηρούν την μόνωση τους σε υπερτάσεις βιομηχανικής συχνότητας.

Τα χρησιμοποιούμενα στους υποσταθμούς αλεξικέραυνα είναι τύπου βαλβίδας και διακόπτουν το τόξο από μόνα τους. Αποτελούνται από αντίσταση μεταβαλλόμενης τιμής σε σειρά με εσωτερικά πολλαπλά διάκενα. Αντίσταση εξομάλυνσης, μεγάλης τιμής, συνδέεται παράλληλα και χρησιμεύει στην κατανομή της τάσης κατά μήκος των κύριων στοιχείων.

Το συγκρότημα τοποθετείται μέσα σε μονωτήρα από πορσελάνη και κλείνεται στεγανά. Η είσοδος υγρασίας μέσα στον χώρο του μονωτήρα είναι καταστρεπτική για το αλεξικέραυνο.

Μονωτήρες: Τα διάφορα μηχανήματα των υποσταθμών για να απομονωθούν ηλεκτρικά από τα γειωμένα στοιχεία τοποθετούνται πάνω σε ειδικές μονωτικές διατάξεις που ονομάζονται μονωτήρες. Οι μονωτήρες διακρίνονται σε εξωτερικού και εσωτερικού χώρου.

*Μονωτήρες εξωτερικού χώρου*: Οι μονωτήρες που θα χρησιμοποιηθούν για την στήριξη των μηχανημάτων εξωτερικού χώρου κατασκευάζονται από μονωτικό υλικό που δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες. Τέτοια υλικά είναι η πορσελάνη και το γυαλί.

Η τάση διάσπασης των μονωτήρων δεν προσδιορίζεται μόνο από την βασική στάθμη μονώσεως τους, αλλά και από την διηλεκτρική αντοχή της εξωτερικής επιφάνειας τους. Η διηλεκτρική αντοχή πρέπει να είναι αυξημένη για να αντιμετωπίζεται και η κατάσταση της ρύπανσης. Μια μέση τιμή για χρησιμοποίηση του υπολογισμού του μήκους ερπύσμου σε περιοχές που υπάρχει πιθανότητα μόλυνσης είναι 25 χιλ/KV φασικής τάσης ή 31 χιλ/KV πολικής τάσης.

Η μορφή της εξωτερικής επιφάνειας των μονωτήρων διαμορφώνεται έτσι ώστε, αφενός μεν να υπάρχουν τμήματα που να προστατεύονται από την ρύπανση, αφετέρου δε να διευκολύνεται ο καθαρισμός της επιφάνειας τους από την βροχή.

*Μονωτήρες εσωτερικού χώρου:* Οι μονωτήρες που θα χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς χώρους είναι πιο απλοί στην κατασκευή τους, γιατί δεν υπάρχουν σοβαρά προβλήματα ρύπανσης. Μπορούν να κατασκευαστούν και από άλλα μονωτικά υλικά που δεν απορροφούν εύκολα υγρασία. Το μήκος ερπυσμού των μονωτήρων αυτών είναι πολύ μικρότερο από το μήκος ερπυσμού των μονωτήρων εξωτερικού χώρου αντίστοιχης τάσης.

### 3.10 Κυματοπαγίδες-Σύστημα Φερέσυχνων

Για την επικοινωνία του Κέντρου Κατανομής Φορτίου με τους σταθμούς παραγωγής και τους υποσταθμούς μεταφοράς του συστήματος, υπάρχει ειδικό τηλεφωνικό σύστημα που ονομάζεται σύστημα φερέσυχνων (CARRIER). Ο τρόπος λειτουργίας του σε γενικές γραμμές είναι ο εξής: Σε σημείο της γραμμής μεταφοράς διαβιβάζεται ρεύμα χαμηλής τάσης και υψηλής συχνότητας, από ειδικές ηλεκτρονικές συσκευές, ενώ αντίστοιχοι δέκτες που βρίσκονται στους σταθμούς και στους υποσταθμούς μπορούν να το δεχτούν.

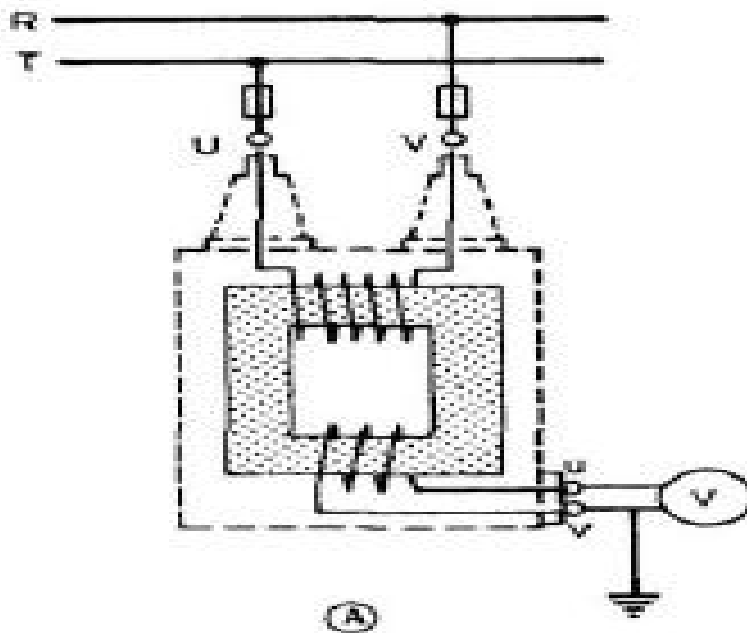
Για την παρεμπόδιση της εισόδου του ρεύματος φερέσυχνων στα μηχανήματα του υποσταθμού, τοποθετούνται κυματοπαγίδες(φίλτρα), που ενώ επιτρέπουν το πέρασμα του ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας(50Hz), εμποδίζουν το πέρασμα του ρεύματος υψηλής συχνότητας(έως 350 Hz) των φερέσυχνων.

Οι κυματοπαγίδες αυτές πρέπει να παρουσιάζουν μηδενική αντίσταση στην συχνότητα των 50Hz, να επιτρέπουν το πέρασμα του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος της γραμμής και να μπορούν να συντονιστούν σε μια ή δύο ή και ολόκληρο φάσμα υψηλών φερέσυχνων συχνοτήτων. Η υψηλή συχνότητα επικοινωνίας φτάνει μέχρι την κυματοπαγίδα χωρίς να μπορεί να περάσει από αυτή. Πριν την κυματοπαγίδα οδηγείται μέσω αγωγού σε πυκνωτή ζεύξεως, ή σε μετασχηματιστή τάσης τύπου χωρητικού καταμεριστή όπου υποβιβάζεται η τάση. Στο άλλο άκρο του πυκνωτή ή του μετασχηματιστή λαμβάνεται η υψηλή συχνότητα με χαμηλή τάση η οποία οδηγείται σε ειδική συσκευή που την μετατρέπει σε ακουστική.

### 3.11 Μετασχηματιστές Μετρήσεων

Εκτός από τους μετασχηματιστές ισχύος που έχουν εξεταστεί μέχρι τώρα, αυτοί που χρησιμοποιούνται στην προστασία είναι οι μετασχηματιστές μετρήσεων. Αυτοί χρησιμοποιούνται για να υποβιβάζουν κατά ένα γνωστό λόγο μια τάση ή ένα ρεύμα που πρέπει να μετρηθεί. Ανάλογα με τον προορισμό τους οι μετασχηματιστές μετρήσεων διακρίνονται σε μετασχηματιστές τάσης και μετασχηματιστές έντασης.

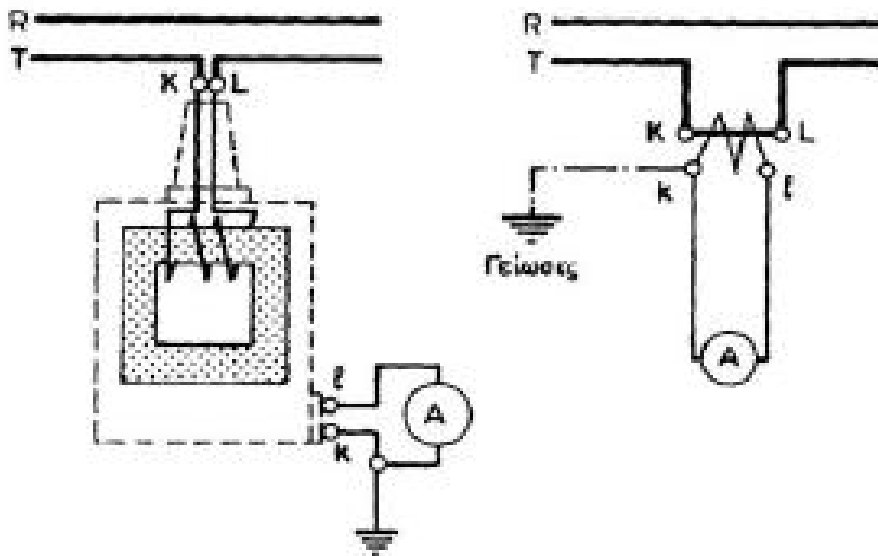
Μετασχηματιστές Τάσης: Το πρωτεύον τύλιγμα συνδέεται στους ακροδέκτες της προς μέτρηση υψηλής τάσης, ενώ στο δευτερεύον συνδέονται οι ακροδέκτες του βολτομέτρου, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Συνδεσμολογία μονοφασικού Μ/Σ τάσης

Οι μετασχηματιστές αυτοί εργάζονται με πολύ μικρό φορτίο, σχεδόν στο κενό, διότι πρέπει να τροφοδοτήσουν μόνο το πολύ μικρό ρεύμα του βολτομέτρου, το οποίο έχει πολύ μεγάλη αντίσταση. Πρέπει να διατηρούν αυστηρά σταθερή σχέση μεταφοράς σε όλη την κλίμακα της μέτρησης. Ένας ακροδέκτης χαμηλής τάσης γειώνεται και πάντα τοποθετούνται ασφάλειες στην σύνδεση πρωτεύοντος με την υψηλή τάση.

Μετασχηματιστές Έντασης: Το πρωτεύον των μετασχηματιστών έντασης συνδέεται σε σειρά στο κύκλωμα του οποίου απαιτείται η μέτρηση της έντασης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Συνδεσμολογία Μ/Σ έντασης



Στο δεξί μέρος του σχήματος φαίνεται η συμβολική παράσταση του μετασχηματιστή έντασης. Η σύνθετη αντίσταση του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή έντασης πρέπει να είναι πολύ μικρή, οπότε το πρωτεύον έχει λίγες σπείρες με διατομή τέτοια έτσι ώστε να μπορεί να περνά το μετρούμενο ρεύμα. Σε περιπτώσεις μεγάλων υπερεντάσεων το πρωτεύον αποτελείται μόνο από έναν αγωγό που φέρει το προς μέτρηση ρεύμα, ενώ το δευτερεύον έχει την μορφή κυλινδρικού δακτυλίου ή αποτελείται από δυο μισά που ανοίγουν σαν αρπάγη, μέσα από τα οποία περνά ο αγωγός και γίνεται η μέτρηση του ρεύματος που διαπερνά τον αγωγό. Το δευτερεύον τύλιγμα δεν πρέπει ποτέ να μένει ανοικτό όταν το πρωτεύον διαρέεται από ρεύμα, γιατί στα άκρα του δευτερεύοντος δημιουργείται επικίνδυνα μεγάλη τάση.

### 3.12 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος

Το πρόβλημα της διατήρησης της τάσης, μεταξύ των επιτρεπόμενων ορίων, περιπλέκεται από το γεγονός ότι το σύστημα τροφοδοτείται από πολλές πηγές, ενώ τροφοδοτεί φορτία σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος. Άρα η τάση θα πρέπει να μένει σταθερή σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος.

Για το λόγο αυτό η ρύθμιση της τάσης δεν μπορεί να γίνεται μόνο από τις γεννήτριες, που είναι οι πηγές αέργου αλλά και ενεργής ισχύος, αλλά πρέπει να γίνεται και με άλλα μέσα σε περισσότερες θέσεις του δικτύου. Το πρόβλημα επομένως δεν αφορά μόνο τις μονάδες παραγωγής, αλλά ολόκληρο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτεί την διάθεση ειδικού εξοπλισμού για τον σκοπό αυτό.

Τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση ή ο έλεγχος της τάσης είναι:

- Τα συστήματα διέγερσης των γεννητριών
- Τα συστήματα αλλαγής της τάσης υπό φορτίο και των μετασχηματιστών ισχύος
- Οι μετασχηματιστές ρύθμισης της τάσης
- Οι σύγχρονοι και στατοί εγκάρσιοι πυκνωτές
- Η χωρητική αντιστάθμιση σειράς και η εγκάρσια επαγωγική αντιστάθμιση των γραμμών μεταφοράς

Το μεγαλύτερο ποσοστό των φορτίων, τα οποία τροφοδοτούνται από ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι επαγωγικού χαρακτήρα και συνεπώς απαιτείται η χορήγηση αέργου ισχύος από το σύστημα. Επιπλέον αυτής, πρόσθετη άεργος ισχύς καταναλίσκεται ως απώλειες αέργου ισχύος του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Μερικές από τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας της αέργου ισχύος στο σύστημα είναι:

- Πρόσθετες απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές και τον εξοπλισμό
- Αυξημένη εγκατεστημένη ισχύς γραμμών και εξοπλισμού
- Πτώση τάσης από την παραγωγή προς τις θέσεις των φορτίων

Για αυτό το λόγο καταβάλλεται προσπάθεια να κατανεμηθεί η άεργος ισχύς στο σύστημα, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενεργού ισχύος. Με την μέθοδο της έγχυσης αέργου ισχύος στο σύστημα και με πυκνωτές συνδεδεμένους παράλληλα σε αυτό, πετυχαίνουμε την βελτίωση της τάσης του δικτύου. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου, για την βελτίωση της τάσης, έχει γενικότερα σαν αποτέλεσμα και την βελτίωση της οικονομίας του συστήματος.

Χαρακτηριστικά πυκνωτών και πηνίων: Η ανάπτυξη στατών πυκνωτών κατάλληλης ποιότητας είχε σαν αποτέλεσμα την ευρεία εφαρμογή τους σαν πηγές αέργου ισχύος, λόγω των πλεονεκτημάτων, τα οποία παρουσιάζουν. Οι στατοί πυκνωτές είναι φθηνότεροι και με



χαμηλότερες απώλειες από τους σύγχρονους πυκνωτές, είναι όμως λιγότερο ευέλικτοι στην λειτουργία τους. Με τους στατούς πυκνωτές η άεργος ισχύς δεν μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς, παρά μόνο κατά βήματα. Επίσης οι στατοί πυκνωτές δεν μπορούν να απορροφήσουν επαγωγική άεργο ισχύ, όπως οι σύγχρονοι. Σε περίπτωση βύθισης της τάσης του ζυγού η άεργος ισχύς που παράγεται από στατούς πυκνωτές τείνει να μειωθεί. Οι στατοί πυκνωτές δεν μπορούν να υπερφορτιστούν, όχι μόνο επειδή είναι πιο ευαίσθητοι, αλλά επειδή η άεργος ισχύς τους καθορίζεται από την χωρητικότητα τους και την τάση του ζυγού. Η διακοπή των στατών πυκνωτών από το σύστημα συνοδεύεται πολλές φορές από υπερτάσεις, ενώ η επανασύνδεση τους στο σύστημα προκαλεί μεγάλα κρουστικά ρεύματα.

Εν τούτοις, οι στατοί πυκνωτές έχουν το πλεονέκτημα της εύκολης μετακίνησης τους από μια θέση του δικτύου σε μια άλλη, όπως επίσης και της εύκολης αύξησης της ισχύος τους με την ανάπτυξη του συστήματος. Επίσης σημαντικό είναι το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν οικονομικά, σε μικρές μονάδες και στις θέσεις ακριβώς που απαιτείται παροχή αέργου ισχύος στα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης.

Στα δίκτυα μεταφοράς, για λόγους καλύτερης απόδοσης και οικονομίας, οι πηγές αέργου ισχύος θα πρέπει να εγκαθίστανται κοντά στις θέσεις όπου χρειάζονται μεγάλες ποσότητες αέργου ισχύος.

Τέτοιες θέσεις είναι τα πέρατα των μεγάλων γραμμών μεταφοράς και οι μεγάλοι υποσταθμοί. Στις θέσεις αυτές απαιτείται πολλές φορές ενίσχυση της τάσης. Αυτή την ενίσχυση μπορούν να την κάνουν και οι στατοί πυκνωτές.

Κατά τις ώρες του ελάχιστου φορτίου χρειάζεται πολλές φορές η μείωση της τάσης, αλλά και η απορρόφηση αέργου ισχύος. Το πρόβλημα αυτό οφείλεται στην περίσσεια παραγωγή αέργου ισχύος των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης –λόγω του μικρού φορτίου- η οποία έχει σαν συνέπεια την ανύψωση της τάσης στο τέλος των γραμμών. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την εγκατάσταση εγκάρσιων επαγωγικών πηνίων ισχύος στις θέσεις αυτές, συνδεδεμένα μέσω των τριτεύοντων τριγωνικών τυλιγμάτων των μετασχηματιστών ισχύος των υποσταθμών στους οποίους καταλήγουν οι γραμμές.

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται παράλληλα χωρητική και επαγωγική αντιστάθμιση στη θέση του φορτίου, με εναλλάξ σύνδεση των πυκνωτών ή των πηνίων στην γραμμή, ανάλογα με το φορτίο. Η ρύθμιση αυτή είναι συνήθως αυτόματη.

### **3.13 Υποσταθμός Ανύψωσης 6.3KV/20KV**

Η τάση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από την γεννήτρια, είναι της τάξης των 6.3KV, οπότε θα πρέπει να ανυψωθεί στα 20KV για να καταλήξει στον υποσταθμό ανύψωσης 20KV/150KV. Η ανύψωση αυτή γίνεται σε έναν ξεχωριστό υποσταθμό, ο οποίος βρίσκεται εντός του σταθμού παραγωγής. Ο υποσταθμός αυτός διαθέτει δυο μετασχηματιστές ανύψωσης, έναν για κάθε γεννήτρια.



Φωτογραφία του υποσταθμού

Οι μετασχηματιστές αυτοί είναι τύπου ελαίου. Οι διακόπτες ισχύος του υποσταθμού είναι διακόπτες που χρησιμοποιούν κενό αέρα για την σβέση του τόξου. Ο υποσταθμός διαθέτει επίσης γενικό διακόπτη ισχύος, για την απομόνωση της γραμμής. Αφού η παραγόμενη ενέργεια μετασχηματιστεί στην τάση των 20KV, στην συνέχεια μεταφέρεται στον υποσταθμό ανύψωσης στην υψηλή τάση, μέσω γραμμής μεταφοράς μέσης τάσης, μήκους δυο περίπου χιλιομέτρων.

## Βιβλιογραφία

- Μανώλης Κάλφας, *Παραγωγή, Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδ. Ίων, Αθήνα, 1997
- Πέτρος Ντοκόπουλος, *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης*, Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1992
- Βασίλης Ξάνθος, *Παραγωγή-Μεταφορά-Διανομή-Μέτρηση και Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2003
- Λάμπρος Οικονόμου, Φώτης Γεωργίου, *Εισαγωγή στις Υψηλές Τάσεις*, Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2010
- B.M.Weedy, B.J Cory, (Επιμέλεια Νίκος Κολλιόπουλος), *Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδ. Ίων, 2001
- Ι.Π Στεφανάκος, Ν.Η Κυριακόπουλος, Ε.Ε Ράμπιας, *Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο Δαφνοζωνάρα-Σανίδι στον ποταμό Αχελώο. Υπόδειγμα μικρού ΥΗΕ στον κύριο ρου μεγάλο ποταμού. Περιβαλλοντικές και Ενεργειακές Παράμετροι (Επιστημονική Εισήγηση)*, 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, 2008
- Δημήτριος Γιαννόπουλος, *Συντήρηση Μετασχηματιστών Μεταφοράς*, Διπλωματική εργασία υποβληθείσα στο Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010
- Δέσποινα Μητροπούλου, *Συγκριτική μελέτη διατάξεων Υποσταθμών Μεταφοράς Υ.Τ/Μ.Τ και ΚΥΤ*, Διπλωματική εργασία υποβληθείσα στο Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010
- *Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής*, Εκδ. ΚΑΠΕ( Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), Αθήνα, 2001
- *Alternator Service and Operating Manual*, Εκδ. LEROY SOMER

