

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1486



**Μεταφορά Ηλεκτρικής ενέργειας από το
Ατμοηλεκτρικό εργοστάσιο Μεγαλόπολης σε
υποσταθμό Μ.Τ.**

ΚΑΤΣΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από το ατμοηλεκτρικό εργοστάσιο Μεγαλόπολης σε υποσταθμό Μ.Τ.

Αρχικά γίνεται περιγραφή των διαφορετικών σταθμών και τρόπων παραγωγής ενέργειας (συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας). Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας και παραγωγής ενέργειας στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Το δίκτυο μεταφοράς, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς. Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε υψηλή τάση, μέσω του δικτύου υψηλής τάσης (150kV). Γίνεται περιγραφή της μετατροπής της χαμηλής τάσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή, περιγραφή του υποσταθμού υψηλής τάσης και του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της διαδικασίας. Επίσης γίνεται περιγραφή του μετασχηματισμού της Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) σε Μέση Τάση (Μ.Τ.) και περιγραφή του υποσταθμού Μέσης Τάσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος / Περίληψη.....	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	1
1.2 Βασικές λειτουργίες και δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	5
2.1 Γενικά.....	5
2.2 Αεριοστροβιλικοί σταθμοί.....	5
2.3 Σταθμοί συνδυασμένου κύκλου.....	6
2.4 Ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί.....	8
2.5 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί.....	8
2.6 Πυρηνικοί σταθμοί.....	10
2.7 Μαγνητούδροδυναμική παραγωγή (ΜΥΔ).....	13
2.8 Αιολική ενέργεια.....	13
2.9 Ηλιακή ενέργεια.....	15
2.10 Ενέργεια από βιομάζα.....	16
2.11 Γεωθερμική ενέργεια.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (ΑΗΣ).....	18
3.1 Αρχή λειτουργίας ατμοηλεκτρικών σταθμών.....	18
3.2 Βαθμός Απόδοσης.....	19
3.3 Βελτιστοποίηση Συστήματος.....	24
3.4 Εξοπλισμός ατμοηλεκτρικών σταθμών.....	24
3.5 Τεχνολογίες δέσμευσης CO ₂ σε Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς.....	26

3.6 ΑΗΣ Μεγαλόπολης.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	31
4.1 Γενικά.....	31
4.2 Υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης 150kV/M.T.....	32
4.3 Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	32
4.3.1 Θεμέλια.....	33
4.3.2 Πυλώνες.....	34
4.3.3 Αγωγοί.....	38
4.3.4 Μονωτήρες.....	43
4.4 Υποσταθμοί υποβιβασμού τάσης 150/20kV.....	48
4.5 Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Τ.).....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Μέχρι το 1800, οι γνώσεις σχετικά με τον ηλεκτρισμό αφορούσαν τη μελέτη ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων. Παρόλο που νέες μελέτες που έγιναν τα επόμενα έτη εμπλούτιζαν συνεχώς τη γνώση γύρω από τον ηλεκτρισμό, τεχνολογίες ικανές να αξιοποιήσουν αυτή τη γνώση αναπτύχθηκαν πολύ αργότερα.

Το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό σύστημα, αποτελούμενο από γεννήτρια, καλώδιο, ασφάλεια, μετρητή και φορτία, ήταν αυτό που εγκαταστάθηκε από τον Thomas Edison στη πόλη της Νέας Υόρκης, ο ιστορικός σταθμός της Pearl Street που ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1882. Ήταν ένα σύστημα συνεχούς ρεύματος (DC) που χρησιμοποιώντας μια ατμομηχανή έδινε κίνηση σε μια γεννήτρια και τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ενέργεια 59 καταναλωτές σε μια περιοχή ακτίνας 1.5km. Σε μικρό χρονικό διάστημα το μεγαλύτερος μέρος μεγάλων πόλεων στον κόσμο ξεκίνησαν να λειτουργούν τέτοια συστήματα. Το γεγονός, ωστόσο, ότι ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια υπήρχε μόνο κατά τις βραδινές ώρες, όποτε υπήρχε και ανάγκη για φωτισμό, προκαλούσε προβλήματα. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των κινητήρων και είχε ως αποτέλεσμα η ηλεκτρική κινητήρια ισχύς να γίνει ευρέως γνωστή και να χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις επιλύοντας το πρόβλημα της έλλειψης ζήτησης. [1]

Αρχικά, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιούνταν ευρέως συστήματα παραγωγής συνεχούς ρεύματος (DC). Η ανάγκη ωστόσο να γίνεται μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις είχε ως αποτέλεσμα την αντικατάσταση των συστημάτων συνεχούς ρεύματος (DC) με συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Τα συστήματα συνεχούς ρεύματος ήταν αδύνατο να μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις καθώς προκειμένου να μην υπάρχουν μεγάλες απώλειες και η πτώση τάσης να είναι μικρή η τάση έπρεπε να είναι αρκετά υψηλή, γεγονός που αφενός απαιτούσε τεχνολογία που δεν ήταν διαθέσιμη εκείνη την εποχή και αφετέρου έθετε σε κίνδυνο την ασφάλεια των καταναλωτών. Έτσι η ηλεκτρική ενέργεια θα έπρεπε να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις υπό υψηλή τάση και στη συνέχεια να διανέμεται υπό χαμηλή τάση στους καταναλωτές. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη των μετασχηματιστών οι οποίοι με τη σειρά τους οδήγησαν στην ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος. [1]

Αφού επικράτησε το εναλλασσόμενο ρεύμα ξεκίνησε η δημιουργία τοπικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι χρησιμοποιώντας ο καθένας δικά του συστήματα μεταφοράς και παραγωγής ενέργειας εξυπηρετούσαν καταναλωτές

εντός μικρών γεωγραφικών ορίων. Άμεσα αναπτύχθηκε η διασύνδεση γειτονικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να αλληλοστηρίζονται σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ρεύματος από τους καταναλωτές. [1]

Η ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις οδήγησε στη χρήση υψηλότερων επιπέδων τάσεων. Προκειμένου να αποφευχθεί η χρήση ενός άπειρου αριθμού από επίπεδα τάσης, γεγονός που θα δυσκόλευε την τυποποίηση του εξοπλισμού, η βιομηχανία επέλεξε κάποια επίπεδα τάσης ως στάνταρ. Αυτά είναι 115, 132, 138, 150, 161, 220, 230 και 275kV για τις Υψηλές Τάσεις (ΥΤ) και 345,400,500 και 765 για τις Υπερυψηλές Τάσεις (ΥΥΤ). [1]

1.2 Βασικές λειτουργίες και δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται το σύνολο του εξοπλισμού (γεννήτριες, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς, διακόπτες, διατάξεις αντιστάθμισης) που είναι απαραίτητο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή της στους καταναλωτές. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από:

- Σταθμούς παραγωγής οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε τοποθεσίες τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η παραγωγή όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας
- Γραμμές μεταφοράς, οι οποίες μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στα φορτία
- Δίκτυο διανομής, το οποίο διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια στα επιμέρους φορτία, από τα οποία αξιοποιείται με διάφορες μορφές όπως ήχος, φως, θερμότητα κλπ.

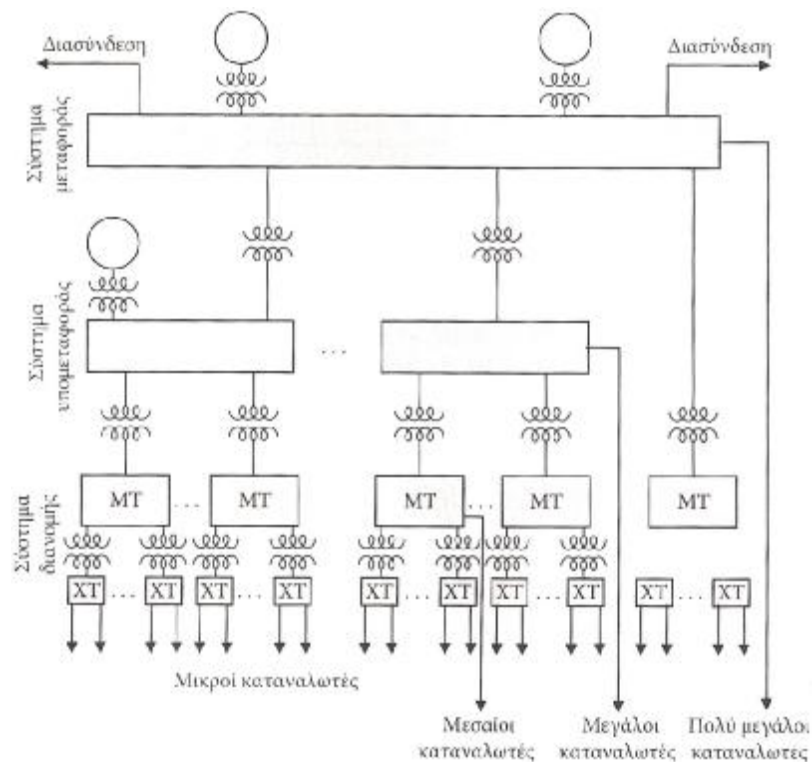
Το κάθε σύστημα δομείται με βάση τις ιδιαιτερότητες που καλείται να εξυπηρετήσει. Ωστόσο όλα τα συστήματα εργάζονται σε διάφορα επίπεδα τάσης που χωρίζονται μεταξύ τους με μετασχηματιστές. Είναι κοινή πρακτική να διαιρούμε, με βάση την τάση λειτουργίας το σύστημα σε τρία υποσυστήματα. Ξεκινώντας από το χαμηλότερο επίπεδο τάσης διακρίνονται σε:

- Σύστημα διανομής
- Σύστημα υπομεταφοράς
- Σύστημα μεταφοράς

Στο Σχήμα 1.1 απεικονίζεται η τυπική δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης και τους μετασχηματιστές διανομής με τους οποίους η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης στις αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές είναι κατά κανόνα υπόγεια, ενώ στις άλλες περιοχές είναι εναέρια. Το σύστημα υπομεταφοράς διανέμει ηλεκτρική ενέργεια σε έναν αριθμό υποσταθμών διανομής που βρίσκονται σε κάποια γεωγραφική απόσταση σε

ένα επίπεδο τάσης που τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 23kV και 150kV. Το σύστημα μεταφοράς αφενός χειρίζεται μεγαλύτερα ποσά ισχύος από τα δύο προηγούμενα συστήματα και αφετέρου διασυνδέει όλους τους σταθμούς παραγωγής και όλα τα σημεία μεγάλης κατανάλωσης του συστήματος. Η ενέργεια μπορεί να διακινηθεί προς κάθε επιθυμητή κατεύθυνση μέσω των διάφορων γραμμών του συστήματος μεταφοράς και μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη οικονομικά λειτουργία του συστήματος. Το σύστημα μεταφοράς δέχεται την ενέργεια κατευθείαν από σταθμούς παραγωγής μέσω μετασχηματιστών ανύψωσης της τάσης και είναι δυνατόν να εξυπηρετεί κατευθείαν πολύ μεγάλους καταναλωτές και να ανταλλάσσει, μέσω διασυνδεδετικών γραμμών, ενέργεια με άλλα γειτονικά ενεργειακά συστήματα. [1]



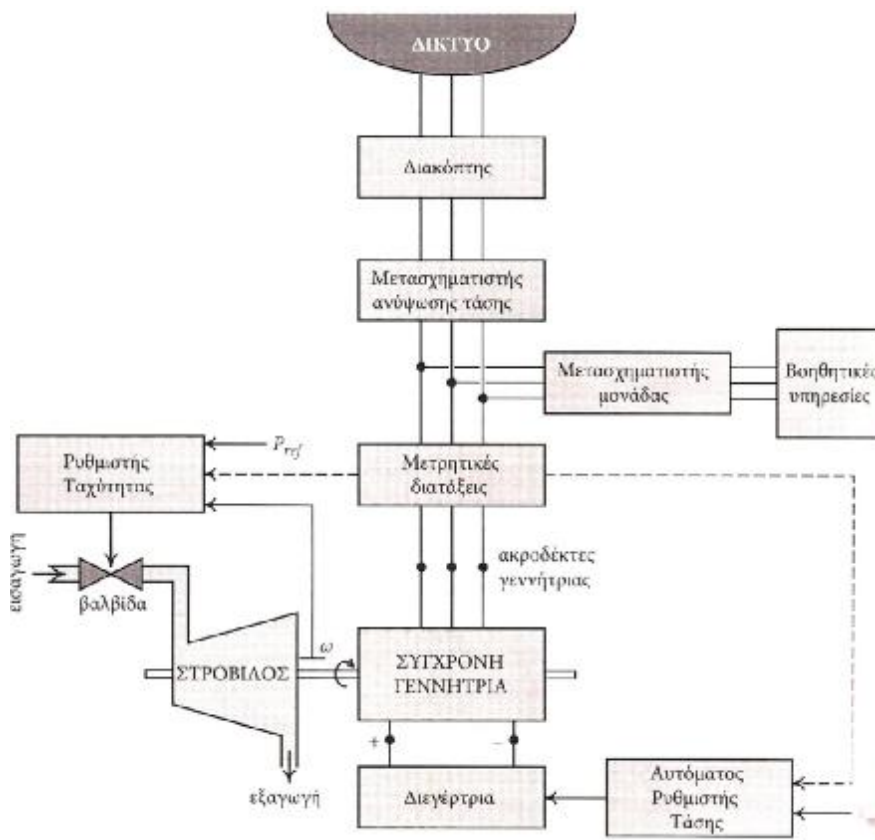
Σχήμα 1.1 Δομή ΣΗΕ

Η βασική διαφορά στο σκοπό που εξυπηρετεί το σύστημα μεταφοράς, συγκρινόμενο με τα συστήματα διανομής και υπομεταφοράς, φαίνεται στον τρόπο δόμησης των δικτύων. Ενώ τα δύο τελευταία έχουν συνήθως ακτινική δομή, λόγω του ότι έχουν ως βασικό στόχο τη διοχέτευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, το σύστημα μεταφοράς έχει δομή βρόχου και επομένως δύναται να παρέχει ενέργεια σε μεγαλύτερο συνδυασμό κατευθύνσεων διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο τη μεταφορά. [1]

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιούν για να παράγουν ενέργεια διακρίνονται σε ατμοηλεκτρικούς (ΑΗΣ), υδροηλεκτρικούς (ΥΗΣ) και πυρηνικούς (ΠΣ). Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς το καύσιμο (κάρβουνο, λιγνίτης, φυσικό αέριο,

πετρέλαιο) έχει αποθηκευμένη χημική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Συγκεκριμένα από την καύση απελευθερώνεται θερμική ενέργεια με την οποία παράγεται ατμός στο λέβητα. Ο ατμός εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο όπου ένα τμήμα της ενέργειάς του μετατρέπεται σε μηχανική και στη συνέχεια με την περιστροφή της γεννήτριας από το στρόβιλο η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς γίνεται μετατροπή της δυναμικής ενέργειας των υδάτων σε ηλεκτρική. Στους πυρηνικούς σταθμούς αντί για λέβητα χρησιμοποιείται ελεγχόμενος πυρηνικός αντιδραστήρας. Ηλεκτρική ενέργεια παράγεται, σε μικρότερες ποσότητες βέβαια, και από τον άνεμο, τη γεωθερμία ή τον ήλιο. [1]

Στο Σχήμα 1.2 απεικονίζεται η δομή μιας μονάδας παραγωγής ενέργειας. Ο στρόβιλος περιέχει ένα ρυθμιστή ο οποίος ελέγχει είτε την ταχύτητα περιστροφής είτε την ισχύ εξόδου σύμφωνα με συγκεκριμένη χαρακτηριστική ισχύος - συχνότητας. Το δίκτυο τροφοδοτείται με την ισχύ που παράγεται μέσω ενός μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Η διεγέρτρια προσφέρει το συνεχές ρεύμα διέγερσης που χρησιμοποιείται για να σχηματιστεί το μαγνητικό πεδίο στη γεννήτρια. Ο αυτόματος ρυθμιστής τάσης ελέγχει το ρεύμα διέγερσης και κατ' επέκταση την τερματική τάση της γεννήτριας. Ο μετασχηματιστής μονάδας τροφοδοτεί τα βοηθητικά φορτία του σταθμού παραγωγής. [1]



Σχήμα 1.2 Δομή μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

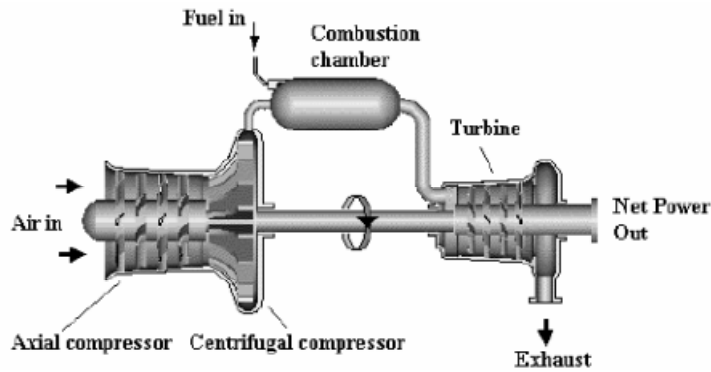
2.1 Γενικά

Οι διαθέσιμες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει πηγές ενέργειας βασισμένες σε αποθέματα που βρίσκονται μέσα στο φλοιό της Γης και έχουν πεπερασμένο κύκλο ζωής και η δεύτερη περιλαμβάνει άφθονες και ανεξάντλητες πηγές ενέργειας.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας), γνωστά και ως συμβατικά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια. Η δεύτερη κατηγορία ως βασικό στοιχείο έχει τον ήλιο. Ο ήλιος εκτός από το ότι αποτελεί το βασικότερο στοιχείο δημιουργίας, ανάπτυξης και διατήρησης της ζωής στη Γη, προσφέρει συνεχώς και αδιαλείπτως ενέργεια, η οποία δύναται να εκμεταλλευτεί με διάφορους τρόπους. Προκαλεί κίνηση στις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας, το οποίο έχει ως άμεσο αποτέλεσμα το σχηματισμό αιολικής ενέργειας, σχηματίζει τα κύματα και ως εκ τούτου την ενέργεια κυμάτων και όταν απορροφηθεί από ημιαγώγιμα υλικά παράγεται ηλεκτρισμός, το γνωστό και ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Σημαντική είναι και η συμβολή της στο σχηματισμό χλωρίδας όπου με την καύση φυτικών προϊόντων παράγεται ενέργεια(βιομάζα). Στη συνέχεια γίνεται σύντομη περιγραφή των βασικών αρχών λειτουργίας και μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2 Αεριοστροβιλικοί σταθμοί

Ο αεριοστρόβιλος αποτελεί μια θερμική μηχανή εσωτερική καύσης η οποία μετατρέπει την παραγόμενη από την καύση ενός καυσίμου θερμότητα σε μηχανική ισχύ η οποία μέσω του κεντρικού άξονα ο οποίος είναι συνδεδεμένος με μια γεννήτρια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ. Το εργαζόμενο μέσο ενός αεριοστρόβιλου είναι τα καπναέρια που σχηματίζονται από την καύση του μείγματος καυσίμου αέρα. Προκειμένου να παράγει μηχανική ισχύ ο αεριοστρόβιλος αποτελείται από τρία μέρη όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.1 Αεριοστρόβιλος

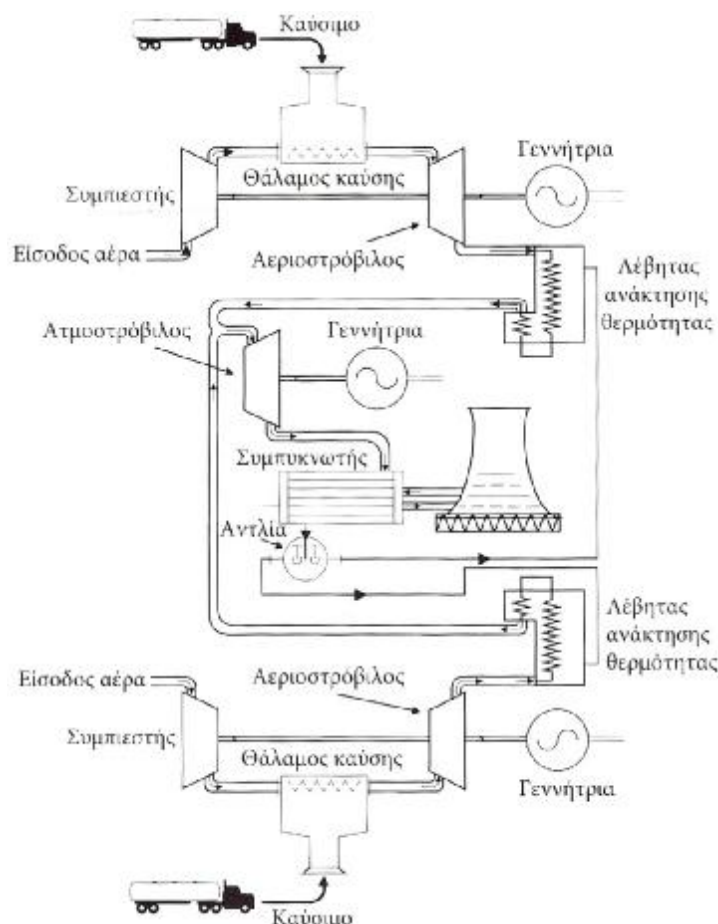
Το πρώτο μέρος του αεριοστρόβιλου είναι ο συμπιεστής, ο οποίος είναι ένα δοχείο υψηλής πίεσως που συμπιέζει τον αέρα και δημιουργεί ένα συνεχές ρεύμα αέρα το οποίο προκαλεί κίνηση στον στρόβιλο. Το δεύτερο μέρος είναι θάλαμος καύσης στον οποίο εισέρχεται ο συμπιεσμένος αέρας και αφού αναμειχθεί με το καύσιμο πραγματοποιείται η καύση. Τα παραγόμενα αέρια εισέρχονται στο στρόβιλο. Το τρίτο μέρος αποτελείται από τον στρόβιλο όπου από την εκτόνωση των καυσαερίων προκύπτει η μηχανική ισχύς η οποία αποτελεί τη διαφορά της απορροφώμενης από τον συμπιεστή ισχύος από την αποδιδόμενη ισχύ στο στρόβιλο.

Παρά το χαμηλό βαθμό απόδοσής τους έχουν ως βασικά προτερήματα τον μικρό χρόνο εκκίνησης και τον υψηλό ρυθμό ανάληψης φορτίου. Ως εκ τούτου, λόγω της χαμηλής του απόδοσης δεν χρησιμοποιούνται ως μονάδες βάσης αλλά ως πηγή τροφοδοσίας σε περιπτώσεις μεγάλης ζήτησης ή σε περιπτώσεις μεγάλων διακυμάνσεων του φορτίου. Επίσης οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται στην εκκίνηση ή στην εφεδρική τροφοδοσία της ίδιας κατανάλωσης ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού. Άλλα προτερήματα των αεριοστρόβιλων είναι ότι καταλαμβάνουν μικρό χώρο και έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής. [1]

2.3 Σταθμοί συνδυασμένου κύκλου

Οι μεγάλες απώλειες θερμικής ενέργειας στους αεριοστρόβιλικούς σταθμούς κατέστησε αναγκαία τη δημιουργία των σταθμών συνδυασμένου κύκλου. Τα θερμά αέρια που εξέρχονται από τους αεριοστρόβιλους εισέρχονται σε ειδικούς λέβητες ανάκτησης θερμότητας στους σταθμούς συνδυασμένου κύκλου από τους οποίους παράγεται ατμός, τον οποίο χρησιμοποιεί ατμοστρόβιλος. Με αυτό τον τρόπο ο βαθμός απόδοσης των σταθμών συνδυασμένου κύκλου αγγίζει το 60% και το κόστος κατασκευής τους είναι αρκετά μικρό σε σύγκριση με άλλους σταθμούς. Ωστόσο είναι αρκετά αρνητικό το γεγονός ότι ως καύσιμο χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Επίσης λόγω της χρήσης ατμοστρόβιλου, η εκκίνηση και ανάληψη του φορτίου τους γίνεται πιο αργά σε σχέση με τους αεριοστρόβιλικούς σταθμούς. Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζεται η λειτουργία του σταθμού συνδυασμένου κύκλου.

Ο σταθμός συνδυασμένου κύκλου Μικρό Λαύριο αποτελείται από δύο αεριοστρόβιλους που ήταν εγκατεστημένοι από το 1980 και τώρα έχουν τη δυνατότητα να κάνουν χρήση και φυσικού αερίου, ονομαστικής ισχύος 57MW έκαστος με τις ηλεκτρογεννήτριές τους, από δύο νέους λέβητες ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων και από έναν ατμοστρόβιλο με την ηλεκτρογεννήτριά του, ο οποίος βρισκόταν στην έβδομη μονάδα του ατμοηλεκτρικού σταθμού Αγίου Γεωργίου. Ο σταθμός Μεγάλο Λαύριο 570MW αποτελείται από τρεις αεριοστρόβιλους ονομαστικής ισχύος 122MW έκαστος, οι οποίοι έχουν ως καύσιμο φυσικό αέριο, τρεις λέβητες ανάκτησης θερμότητας καυσαερίων και έναν ατμοστρόβιλο 204MW. Από το 1995 και ύστερα το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων παραγωγής συνδυασμένου κύκλου είναι μεγαλύτερη από αυτή των ατμοηλεκτρικών σταθμών και ξεκίνησε να αποτελεί την καινούργια κυρίαρχη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Σ' αυτό το γεγονός οδήγησε τόσο το μικρό κόστος κατασκευής σταθμών συνδυασμένου κύκλου όσο και ο μεγάλος βαθμός απόδοσης. [1]



Σχήμα 2.2 Λειτουργία σταθμού συνδυασμένου κύκλου

2.4 Ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί

Στους ντιζελοηλεκτρικούς σταθμούς οι γεννήτριες περιστρέφονται χρησιμοποιώντας εμβολοφόρους ντιζελοκινητήρες, οι οποίοι αναλόγως το μέγεθός τους χρησιμοποιούν και τον ανάλογο τύπο πετρελαίου. Παρόλο που ο βαθμός απόδοσης τους αγγίζει το 50% στην Ελλάδα υπάρχουν εγκατεστημένοι ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί μόνο σε αυτόνομα δίκτυα κάποιων νησιών όπως για παράδειγμα στην Κρήτης. [1]

2.5 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί

Τα ύδατα έχουν δυναμική ενέργεια, η οποία μάλιστα αποτελεί μία από τις πρώτες μορφές ενέργειας που μετατράπηκε σε άλλη μορφή προκειμένου να γίνει κατάλληλη εκμετάλλευσή της και όπως ήταν αναμενόμενο αξιοποιήθηκε και στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα βασικότερα προτερήματα των υδροηλεκτρικών σταθμών (ΥΗΣ) είναι το χαμηλό λειτουργικό κόστος και η φιλικότητα προς το περιβάλλον. Ωστόσο τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα αυτών των σταθμών είναι ο μεγάλος χρόνος κατασκευής. Οι ΥΗΣ εκτελούν παράλληλα πολλές ενέργειες όπως είναι για παράδειγμα ελέγχουν τη ροή των ποταμιών και αποθηκεύουν νερό για άρδευση και πόση. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου η μορφολογία της περιοχής δεν ενδείκνυται για την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών. Ανασταλτικούς παράγοντες στην κατάλληλη εκμετάλλευση υδάτινων πηγών για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να αποτελέσουν, σε μερικές περιπτώσεις, οικολογικά και βιολογικά στοιχεία. Στις αναπτυγμένες χώρες οι υδάτινες πηγές έχουν εκμεταλλευτεί πλήρως σε αντίθεση με τις υπανάπτυκτες χώρες όπου υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω εκμετάλλευσης,

Η γεννήτρια περιστρέφεται από τον υδροστρόβιλο ο οποίος κινείται λόγω της κινητικής ενέργειας που μεταφέρεται στο νερό. Η κινητική ενέργεια δημιουργείται λόγω της διαφοράς ύψους h μεταξύ του στροβίλου και της επιφάνειας του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς χρησιμοποιείται μία δεξαμενή για να εκτονώνει τα κύματα καθώς γρήγορες μεταβολές της ηλεκτρικής ισχύος των ΥΗΣ έχουν ως αποτέλεσμα γρήγορες αλλαγές στη ροή του νερού στους σωλήνες προσαγωγής νερού, οι οποίες με τη σειρά τους σχηματίζουν κρουστικά κύματα τα οποία δύνανται να καταστρέψουν τους σωλήνες.

Οι ΥΗΣ διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Μεγάλου h ή μεγάλης δεξαμενής αποθήκευσης. Σε αυτή τη περίπτωση η δεξαμενή χρειάζεται περισσότερες από τετρακόσιες ώρες για να γεμίσει
- Μέσου h ή μικρής δεξαμενής αποθήκευσης. Σε αυτή τη περίπτωση η δεξαμενή χρειάζεται από διακόσιες έως τετρακόσιες ώρες για να γεμίσει

· Ροής ποταμών. Σε αυτή τη περίπτωση οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί αξιοποιούν τη ροή των ποταμών και δημιουργείται h από τρία έως πέντε μέτρα και μικρές δεξαμενές που χρειάζονται λιγότερο από δύο ώρες για να γεμίσουν.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι στροβίλων που χρησιμοποιούν οι ΥΗΣ ανάλογα με την υψομετρική διαφορά h :

· Pelton: Βασικό μέρος του συγκεκριμένου στροβίλου είναι ο υδραυλικός τροχός με σκαφίδια, προς τον οποίο φθάνει το νερό με εξαιρετικά μεγάλη ταχύτητα με ρυθμιζόμενης ροής ακροφύσια. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα υδροστρόβιλο δράσης στον οποίο το νερό κατευθύνεται με κινητική ενέργεια μόνο μέσω αγωγών πίεσης. Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που η υψομετρική διαφορά είναι από 184-1840 μέτρα.

· Francis: Πρόκειται για έναν υδροστρόβιλο αντίδρασης στον οποίο το νερό κατευθύνεται με χαμηλή ταχύτητα και υψηλή πίεση και κατά τη ροή του νερού από τον τροχό η πίεση μικραίνει και η ταχύτητα μεγαλώνει. Αυτή η αλλαγή στην ταχύτητα προκαλεί την αντίδραση λόγω της οποίας περιστρέφεται ο τροχός. Περιμετρικά του τροχού βρίσκεται ο ακίνητος μεριστής, ουσιαστικά ένας αριθμός πτερυγίων, που οδηγούν το νερό από τα πλάγια στα πτερύγια του τροχού. Χρησιμοποιείται για υψομετρική διαφορά από 37-490 μέτρα.

· Kaplan: Πρόκειται για έναν στρόβιλο ο οποίος αποτελείται από ένα στροφέιο, το οποίο κάνει χρήση της αξονικής ροής του νερού και μεταβλητού βήματος πτερυγίων. Ενδείκνυται για χρήση για υψομετρική διαφορά μέχρι 61 μέτρα και λειτουργεί με τη φυσική ροή ποταμών και μικρές δεξαμενές αποθήκευσης.

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου η ποσότητα του νερού είναι μικρή ή το ηλεκτρικό φορτίο είναι μικρό και η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς βάσης χαμηλού κόστους, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει χρήση της γεννήτριας του υδροηλεκτρικού σταθμού ως κινητήρα έτσι ώστε να αντληθεί το νερό από την έξοδο του υδροστροβίλου και να μεταφερθεί στη δεξαμενή αποθήκευσης. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί βέβαια η ύπαρξη μιας δεξαμενής στην έξοδο του υδροστροβίλου και να υπάρχει η δυνατότητα ο υδροστρόβιλος να αξιοποιηθεί ως αντλιοστρόβιλος, έτσι ώστε αναλόγως της φοράς περιστροφής του να αντλεί νερό ή να κινείται από το νερό. Ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει αυτή η μεταβολή είναι περίπου τέσσερα λεπτά ενώ ο βαθμός απόδοσης αγγίζει το 60-70%. Αυτή η κατηγορία υδροηλεκτρικών σταθμών καλούνται υδροαντλητικοί σταθμοί. Σε αυτές τις περιπτώσεις σύγχρονη μηχανή χρησιμοποιείται και σαν σύγχρονος αντισταθμιστής αέργου ισχύος του συστήματος παραγωγής ενέργειας. [1]

Η ισχύς σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$P = n_t 9.81 q h \text{ KW (2.1)}$$

όπου:

n_t η συνολική απόδοση του υδροηλεκτρικού σταθμού

q η ροή νερού στο στρόβιλο

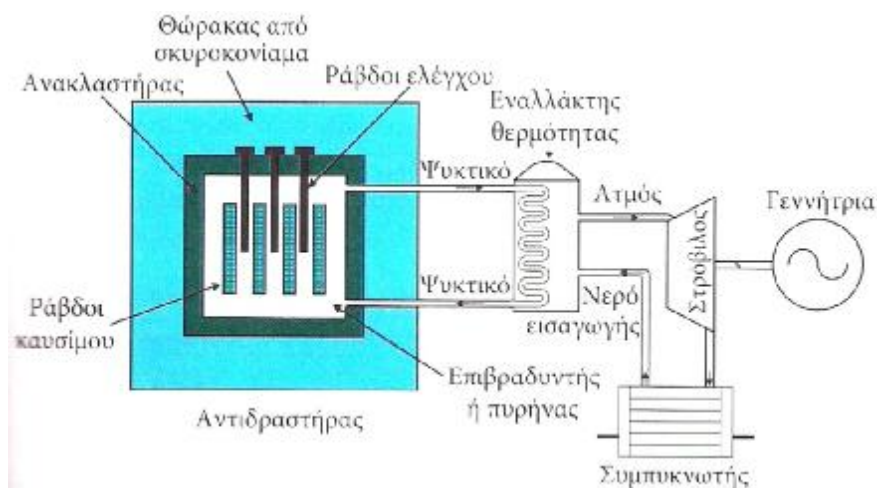
h η υψομετρική διαφορά μεταξύ του στρόβιλου και της επιφάνειας του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης

2.6 Πυρηνικοί σταθμοί

Γνωρίζοντας ότι μέσα στις επόμενες δεκαετίες τα αποθέματα πετρελαίου και στη συνέχεια των γαιανθράκων θα αδειάσουν, η μοναδική πρακτική πηγή ενέργειας που θα είναι στη διάθεσή μας, προκειμένου να είμαστε σε θέση να παράγουμε μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος, θα είναι η πυρηνική. Μέχρι ώρα, η παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω της πυρηνικής σχάσης, αλλά το πρόβλημα θα εξαλειφθεί πλήρως όταν θα είναι δυνατή η παραγωγή της ενέργειας μέσω της πυρηνικής σύντηξης. Κατά το βομβαρδισμό του ουρανίου (U) 235 με βραδέως κινούμενα νετρόνια, γίνεται διάσπαση του πυρήνα του ουρανίου σε δύο μεγάλα και περίπου ίσα μέρη, και την ίδια στιγμή σχηματίζονται και κάποια δευτερογενή νετρόνια και $3 \cdot 10^{-11} J$ κινητική ενέργεια. Τα νεοσύστατα δευτερογενή νετρόνια επιβραδύνονται ώσπου η ταχύτητά τους να φτάσει τη θερμική τους κίνηση και από εκείνη τη στιγμή και έπειτα ενδέχεται να προκαλέσουν κι άλλες σχάσεις, σχηματίζοντας έτσι μια αλυσιδωτή αντίδραση.

Στην περίπτωση που η ποσότητα του υλικού είναι *κρίσιμη*, ύστερα από κάθε σχάση έστω και ένα δευτερογενές νετρόνιο προκαλεί νέα σχάση και η αντίδραση αυτοσυντηρείται δίχως να απαιτείται βομβαρδισμός με εξωτερικά νετρόνια. Οι συμβατικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούν για να επιβραδύνουν τα νετρόνια επιβραδυντή ή πυρήνα, με υλικό που έχει μικρό ατομικό βάρος όπως είναι ο γραφίτης ή ακόμα και το κοινό νερό. Ο ρυθμός που εκτελούνται διασπάσεις εντός του αντιδραστήρα ελέγχεται με κινητές πλάκες καδμίου ή βορείου, οι οποίες απορροφούν μέρος των νεοσύστατων νετρονίων. Γύρω από τον αντιδραστήρα βρίσκεται ο ανακλαστήρας ο οποίος έχει μικρό ατομικό βάρος και βασική του λειτουργία είναι να μειώνει τις διαφυγές νετρονίων στο περιβάλλον, επαναφέροντας στον αντιδραστήρα μεγάλο μέρος των νετρονίων που εξέρχονται. Γύρω από τον ανακλαστήρα βρίσκεται ένα χοντρό στρώμα σκυροκονιάματος το οποίο ουσιαστικά θωρακίζει τον αντιδραστήρα προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των ανθρώπων που τον χειρίζονται. Μέσα στο ουράνιο γίνεται μετατροπή της κινητικής ενέργειας που σχηματίζεται λόγω της σχάσης σε θερμότητα, η οποία μέσω του πρωτεύοντος ψυκτικού οδηγείται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια ο εναλλάκτης θερμότητας παράγει ατμό, ο οποίος μεταφέρεται σε έναν ατμοστρόβιλο στον οποίο παράγεται ηλεκτρική ισχύς. Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται η λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού. Το φυσικό ουράνιο αποτελείται από δύο ισότοπα, το ^{238}U (99,3% σε βάρος) και το ^{235}U (0,7%). Στη σχάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο το δεύτερο με αποτέλεσμα όταν το καύσιμο είναι φυσικό ουράνιο λόγω της πολύ

μικρής ποσότητας του σχάσιμου μέρους, χρησιμοποιείται ένας καλός επιβραδυντής, προκειμένου να γίνεται όσο το δυνατόν πιο αποδοτική εκμετάλλευση της μικρής ποσότητας των νετρονίων που είναι στη διάθεσή μας. Στην περίπτωση όμως όπου το καύσιμο είναι εμπλουτισμένο ουράνιο, λόγω του ότι το ^{235}U βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα, μπορεί να γίνει χρήση κοινού νερού, το οποίο μάλιστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ψυκτικό υλικό. Όταν η μεταφορά της θερμότητας από τον αντιδραστήρα έχει μεγάλες απαιτήσεις, γίνεται χρήση υγρών μετάλλων. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να έχουν κατασκευαστεί διάφοροι αντιδραστήρες αναλόγως του καυσίμου και του ψυκτικού υλικού που χρησιμοποιούν.



Σχήμα 2.3 Διάγραμμα πυρηνικού σταθμού

Ο αντιδραστήρας Magnox έχει ως καύσιμο το φυσικό ουράνιο υπό μορφή ράβδων οι οποίες βρίσκονται μέσα σε δοχεία κράματος μαγνησίου και ο επιβραδυντής είναι φτιαγμένος από τούβλα καθαρού γραφίτη. Η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται με διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο μεταφέρεται σε κατακόρυφους στον πυρήνα αγωγούς. Ένας πιο εξελιγμένος αντιδραστήρας έχει για καύσιμο εμπλουτισμένο διοξείδιο του ουρανίου υπό μορφή δισκίων, τα οποία είναι σφραγισμένα μέσα σε ανοξείδωτα δοχεία και για ψυκτικό υλικό χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα το οποίο όμως βρίσκεται σε υψηλότερη πίεση από αυτό του αντιδραστήρα Magnox.

Στην Αμερική χρησιμοποιούνται δύο τύποι αντιδραστήρων. Ο πρώτος είναι ο αντιδραστήρας πεπιεσμένου νερού ο οποίος έχει ως καύσιμο το διοξείδιο του ουρανίου υπό μορφή δισκίων το οποίο βρίσκεται σε δέσμες ανοξείδωτων σωλήνων και χρησιμοποιεί το νερό σαν επιβραδυντή αλλά και σαν ψυκτικό υλικό. Η θερμοκρασία του νερού αγγίζει τους 315°C και η τιμή της πίεσης φτάνει τα 167bar, γεγονός που περιορίζει το βαθμό απόδοσης στο 30%. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται ένας αντιδραστήρας με πεπιεσμένο νερό.

σημείο που γίνεται η εξόρυξη του καυσίμου. Οι πυρηνικοί σταθμοί όμως έχουν σαν αρνητικό ότι τα απόβλητά τους είναι αρκετά ραδιενεργά, γεγονός που προκαλεί απειλή για το περιβάλλον. Επίσης δεν υπάρχει περιθώριο αποσύνδεσης μιας γραμμής των σταθμών από το δίκτυο γιατί μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα διακοπή της λειτουργίας τους. Αυτό συμβαίνει διότι ο έλεγχος του ρυθμού της πυρηνικής αντίδρασης γίνεται σε στενά όρια και ως εκ τούτου η ενέργεια που παράγεται δεν μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου σε σχέση με το πλήρες φορτίο. Επίσης έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής και μικρό κόστος λειτουργίας με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται μόνο ως σταθμοί βάσης. Τέλος, παρότι λαμβάνονται πολλά μέτρα ασφαλείας, η ασφάλεια των σταθμών αυτών είναι αμφίβολη. Δεν είναι λίγες οι φορές που έχουν συμβεί σοβαρά ατυχήματα (Chernobyl). [1]

2.7 Μαγνητοϋδροδυναμική παραγωγή (ΜΥΔ)

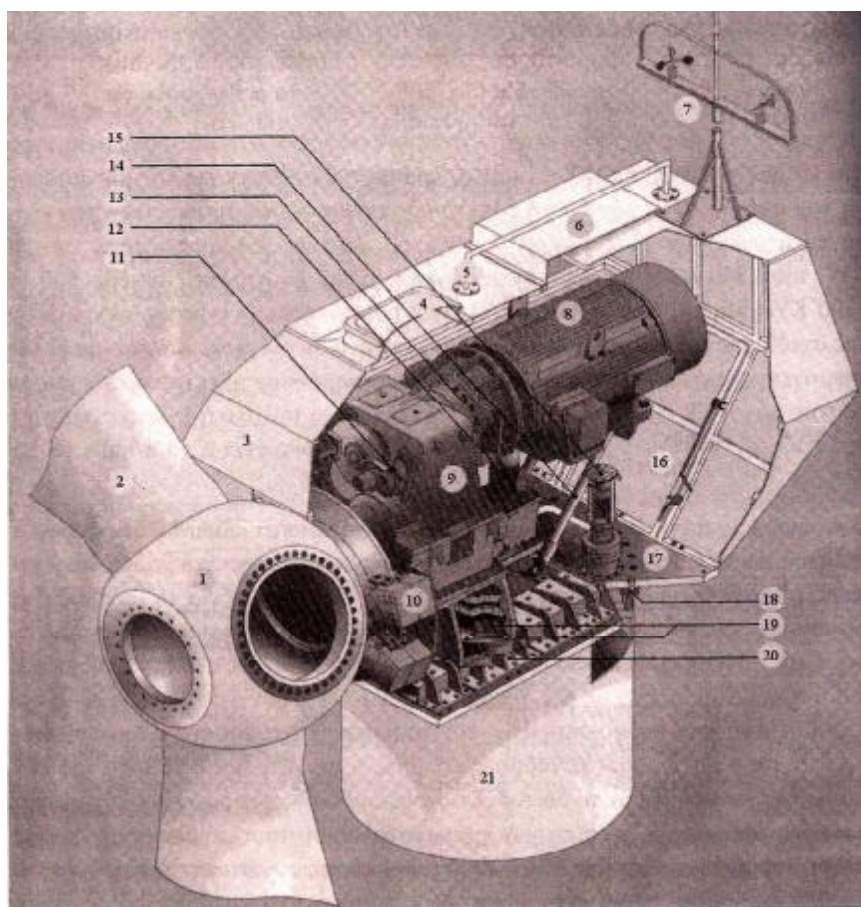
Στους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος αρχικά η θερμότητα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια χρησιμοποιώντας στροβίλους και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας γεννήτριες η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Αυτό συνεπάγεται πως για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος απαιτούνται δύο μετατροπές από μία μορφή ενέργειας σε μία άλλη και αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρή απόδοση. Στη περίπτωση της μαγνητοϋδροδυναμικής παραγωγής ενέργειας αέρια υπερβολικά υψηλής θερμοκρασίας (2500°C) εισέρχονται σε έναν θάλαμο στον οποίο σχηματίζεται ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Μέσα στο θάλαμο λόγω της θερμοκρασίας προκαλείται ιονισμός των αερίων τα οποία γίνονται ελαφρώς ηλεκτρικά αγωγίμα δημιουργώντας, έτσι, έναν αγωγό κινούμενο σε μαγνητικό πεδίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσης, η οποία παρουσιάζεται σε κατάλληλα ηλεκτρόδια. Ο βαθμός απόδοσης μιας μαγνητοϋδροδυναμικής γεννήτριας είναι πιθανό να αγγίξει το 50% εφόσον η λειτουργία της σε συνδυασμό με τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμικού σταθμού. Στην πρώην ΕΣΣΔ τέθηκε σε λειτουργία ένας σταθμός μαγνητοϋδροδυναμικής παραγωγής 25MW, ο οποίος είχε ως καύσιμο φυσικό αέριο. Ωστόσο είναι μετέωρη η οικονομική επιβίωση αυτού του σταθμού παραγωγής. [1]

2.8 Αιολική ενέργεια

Εκατοντάδες χρόνια πριν ο άνθρωπος ξεκίνησε να χρησιμοποιεί τον άνεμο προκειμένου να διευκολύνει την καθημερινότητά του. Γύρω στο 10^ο αιώνα κατασκευάστηκαν οι πρώτοι ανεμόμυλοι και περίπου από το 1940 ξεκίνησαν δοκιμές για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος μέσω του ανέμου. Τη δεκαετία του 1980 κατασκευάστηκαν οι πρώτες ανεμογεννήτριες ισχύος 50KW και η συνεχής έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα συνεχίζεται ακόμη και σήμερα. Πλέον έχουν ήδη κατασκευαστεί μεγάλα αιολικά πάρκα των οποίων η συνολική εγκατεστημένη ισχύς το 2006 υπολογίζεται ότι ήταν περίπου 70GW. Ο άνεμος έχει τα προτερήματα ότι σαν πηγή είναι απεριόριστη, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον. Ωστόσο λόγω του ότι δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται προκειμένου να μην υπάρχουν

αμφιβολίες ως προς την ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται απαραίτητος ο συνδυασμός του με άλλες πηγές ενέργειας.

Οι ανεμογεννήτριες είναι οριζοντίου άξονα με δύο ή τρία πτερύγια και περιλαμβάνουν τον πύργο στήριξης, τον ανεμοκινητήρα και την άτρακτο στα οποία βρίσκονται ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης, η γεννήτρια και το σύστημα σύνδεσης της γεννήτριας με το δίκτυο. Στην άτρακτο υπάρχει επίσης και το σύστημα με το οποίο προσανατολίζεται η ανεμογεννήτρια αναλόγως της διεύθυνσης του ανέμου όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 2.6. Ο έλεγχος πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ειδικούς μετατροπείς ισχύος προκειμένου η ανεμογεννήτρια να ξεκινά ή να παύει τη λειτουργία της αναλόγως της ταχύτητας του ανέμου.



- | | |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. Πλήμνη δρομέα | 12. Υδραυλική |
| 2. Πτερύγια δρομέα | 13. Ελαστικός σύνδεσμος |
| 3. Κάλυμμα ατράκτου | 14. Αναρτήσεις γεννήτριας |
| 4. Φωταγωγός | 15. Σύστημα προσανατολισμού |
| 5. Ράβδος ασφαλείας | 16. Θυρίδα επισκόπησης |
| 6. Εξαγωγή αέρα | 17. Εξέδρα |
| 7. Αλεξικέραυνο και μετρητής ταχύτητας ανέμου | 18. Στεφάνη ρουλεμάν συστήματος προσανατολισμού |
| 8. Γεννήτρια | 19. Φρένο συστήματος προσανατολισμού |
| 9. Κιβώτιο ταχυτήτων | 20. Αποζεύκτης θορύβου |
| 10. Δισκόφρενο δρομέα | 21. Πύργος |
| 11. Εφεδρικό φρένο | |

Σχήμα 2.6 Άτρακτος μιας ανεμογεννήτριας 600KW

Η ισχύς ροής ανέμου δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ W (2.2)}$$

όπου:

ρ = η πυκνότητα του αέρα

A = η επιφάνεια σάρωσης

v = η μέση ταχύτητα του αέρα

Εάν πολλαπλασιάσουμε αυτή την ισχύ με το συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης C_P του ανεμοκινητήρα προκύπτει το μηχανικό έργο. Η τιμή της αεροδυναμικής απόδοσης μπορεί να αγγίξει μέχρι και το 59%. Η τιμή αυτή καλείται όριο του Betz. Ωστόσο πρακτικά η απόδοση φτάνει μέχρι το 40%. [1]

2.9 Ηλιακή ενέργεια

Υπολογίζεται ότι η μέση τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια είναι 600W/m^2 . Ωστόσο, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει διαφέρει από περιοχή σε περιοχή καθώς εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση κάθε περιοχής. Τα κύρια προτερήματα της ηλιακής ενέργειας είναι ότι είναι απεριόριστη, ανέξοδη και φιλική προς το περιβάλλον. Παρά τα πολλά της προτερήματα, παρουσιάζει και κάποια αρνητικά στοιχεία όπως είναι το γεγονός ότι ήλιο δεν έχουμε όλες τις ώρες της μέρας και η τιμή της εξαρτάται από τον καιρό. Υπάρχουν δύο τρόποι εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

Ο πρώτος είναι μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε θερμική το οποίο πραγματοποιείται είτε σε επίπεδο καταναλωτών είτε σε επίπεδο σταθμών παραγωγής ενέργειας. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες για να ζεστάνουν το χώρο ή το νερό. Οι ηλιακοί συλλέκτες δουλεύουν απορροφώντας ηλιακή ακτινοβολία με εξαίρεση την υπέρυθη την οποία αντανακλούν σε ένα ψυκτικό υγρό με βαθμό απόδοσης που αγγίζει το 40-50%. Παρόλο που αυτή η μορφή εκμετάλλευσης μειώνει το ηλεκτρικό φορτίο, οι εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υποχρεωμένες να είναι σε θέση να εφοδιάζουν τους καταναλωτές με ηλεκτρική ισχύ όταν λόγω άσχημων ατμοσφαιρικών φαινομένων δεν είναι δυνατόν να παραχθεί ηλιακή ενέργεια. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιώντας φακούς ή κάτοπτρα τα οποία έχουν μεγάλη επιφάνεια συλλέγεται η ηλιακή ενέργεια η οποία στη συνέχεια παρέχεται σε μικρότερη επιφάνεια, τον απορροφητή. Για μεγάλες θερμοκρασίες (μέχρι 580°C) γίνεται χρήση ενός μόνο δέκτη ενώ για μικρότερες (μέχρι 400°C) ο δέκτης αποτελεί ουσιαστικά έναν σωλήνα ο οποίος τροφοδοτεί τον λέβητα. Σκοπός των ανακλαστήρων είναι να ελέγχουν την μεταβολή της θέσης του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της εποχής.

Ο δεύτερος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική. Σε αυτή την περίπτωση απαραίτητο μέρος της διαδικασίας

αποτελούν τα ηλιακά κύτταρα, τα οποία λειτουργούν με βάση το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο λαμβάνει μέρος σε ένα λεπτό στρώμα υλικού όπως είναι για παράδειγμα το πυρίτιο όπου όταν ηλιακά φωτόνια προσπίπτουν πάνω σε αυτό σχηματίζονται ζευγάρια οπών-ηλεκτρονίων τα οποία στη συνέχεια διαχωρίζονται λόγω του ασυνεχούς δυναμικού στο κύτταρο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας διαφοράς δυναμικού. Ο βαθμός απόδοσης συνήθως αγγίζει το 15%, παρόλο που υπάρχει στην Αριζόνα φωτοβολταϊκός σταθμός με ηλιακά κύτταρα νέας τεχνολογίας, του οποίου ο βαθμός απόδοσης φτάνει το 20%. [1]

2.10 Ενέργεια από βιομάζα

Ως βιομάζα ορίζεται τα κατάλοιπα των φυτικών οργανισμών και τα απορρίμματα των ζώων. Η βιομάζα είναι δυνατόν αφού υποστεί την απαραίτητη χημική και βιολογική επεξεργασία να παράγει βιοκαύσιμα. Κύρια στοιχεία της βιομάζας αποτελούν τα κατάλοιπα καλλιεργειών και εργοστασίων που επεξεργάζονται γεωργικά παράγωγα και παράγουν τρόφιμα, τα παραπροϊόντα που προκύπτουν από την κτηνοτροφία, τα παραπροϊόντα που προκύπτουν από την επεξεργασία ξυλείας, τα στερεά απορρίμματα νοικοκυριών, η φυτομάζα από κλάδεμα δενδροκαλλιεργειών και αναξιόποιγη δασική ύλη. Από την βιομάζα προκύπτει θερμότητα ή υγρά και αέρια καύσιμα μέσω της καύσης. Στην Αμερική παράγουν βιοντίζελ από κάποιο είδος σόγιας ενώ από το 5% του συνολικού παραγόμενου καλαμποκιού παράγονται $3,8 \cdot 10^9$ λίτρα αιθανόλης η οποία χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στη βενζίνη για να κάνει καθαρότερη καύση. Αξιοσημείωτο είναι και το ότι δύο εκατομμύρια πολίτες της Αμερικής ζεσταίνονται καίγοντας ξύλο. Το 2006 η βιομάζα κάλυπτε το 3,2% των αναγκών της Αμερικής σε ενέργεια. Το μεγαλύτερο προτέρημα της βιομάζας, που έκανε πολλές εταιρείες παραγωγής ενέργειας να ασχοληθούν με αυτό, είναι η ικανότητα άμεσης εκμετάλλευσης της σαν συμπληρωματικό καύσιμο στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι χρησιμοποιούν ως καύσιμο γεωργικά προϊόντα. Ένα σημαντικό ακόμη προτέρημα κοινωνικής φύσεως της βιομάζας είναι το γεγονός πως διευκολύνουν τους πελάτες τους αξιοποιώντας τα απορρίμματα τους οδηγώντας έτσι σε οικονομική ανάπτυξη την περιοχή. [1]

2.11 Γεωθερμική ενέργεια

Γεωθερμική είναι η ενέργεια που βρίσκεται στα πετρώματα της γης και η εκμετάλλευσή της είναι πολύ κοστοβόρα. Σε ορισμένα σημεία όμως της γης, γνωστά και ως γεωθερμικά πεδία, η γεωθερμική ενέργεια υπάρχει επιφανειακά ως ζεστό νερό (60-100°C), υγρός ατμός ή κεκορεσμένος ξηρός ατμός και υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσής της σε βιομηχανίες, θερμοκήπια και θέρμανση κατοικιών. Προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς μέσω της γεωθερμικής ενέργειας, η θερμική ενέργεια των πετρωμάτων απορροφάται τροφοδοτώντας με αλμυρό νερό σε γεώτρηση βάθους 500-3000m και αντλείται στη συνέχεια από γεώτρηση που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση. Αν το γεωθερμικό πεδίο έχει ξηρό ατμό, παρέχεται

σε έναν ατμοστρόβιλο μικρής πίεσης, ενώ αν έχει υγρό ατμό παρέχεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, που παρέχει τη θερμότητα σε δευτερεύοντα υγρά εργασίας προκειμένου να κινηθεί ο στρόβιλος. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σταθμών παραγωγής ενέργειας μέσω γεωθερμικής ενέργειας είναι γύρω στα 500MW, ενώ η ισχύς αυτή μπορεί να φτάσει μέχρι 2000MW. Στην Ελλάδα υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας σταθμών ισχύος μεταξύ 200 και 300MW στις περιοχές Μήλο, Νίσυρο και Λέσβο. Ο βαθμός απόδοσης των συγκεκριμένων σταθμών είναι μικρότερο από σταθμούς χρησιμοποιούν βιομάζα ως καύσιμο, αλλά έχουν πολύ πιο χαμηλό κόστος κατασκευής. [1]

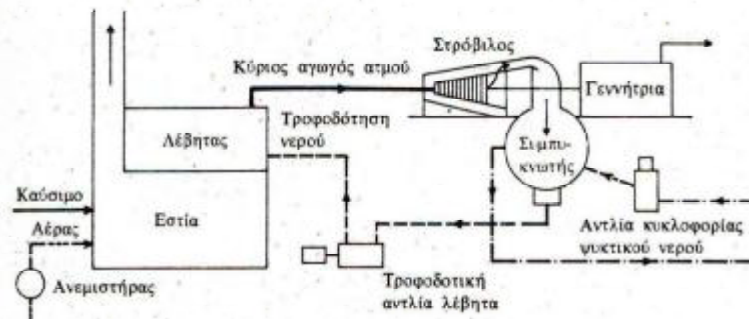
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (ΑΗΣ)

3.1 Αρχή λειτουργίας ατμοηλεκτρικών σταθμών

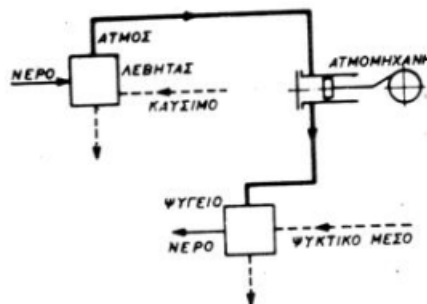
Η τεχνολογία πάνω στην οποία βασίζονται οι θερμικοί σταθμοί προκειμένου να παράγουν ηλεκτρική ισχύ βασίζεται στους θερμοδυναμικούς κύκλους. Ως θερμοδυναμικοί κύκλοι νοούνται οι συνεχόμενες κυκλικές μεταβολές που συμβαίνουν σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα και έχουν ως τελικό αποτέλεσμα η θερμότητα να μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Η σχηματική παράσταση λειτουργίας ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1. Στον ατμοπαραγωγό (λέβητα) γίνεται καύση του καυσίμου και ο ατμός που παράγεται διοχετεύεται στον ατμοστρόβιλο όπου γίνεται μετατροπή της θερμικής ενέργειας του ατμού σε κινητική. Στη συνέχεια η κινητική ενέργεια τροφοδοτείται στη γεννήτρια όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Ο ατμός που εξέρχεται από τον στρόβιλο εισέρχεται στο συμπυκνωτή όπου μετατρέπεται σε νερό και τροφοδοτείται στο λέβητα.



Σχήμα 3.1 Λειτουργία ατμοηλεκτρικού σταθμού

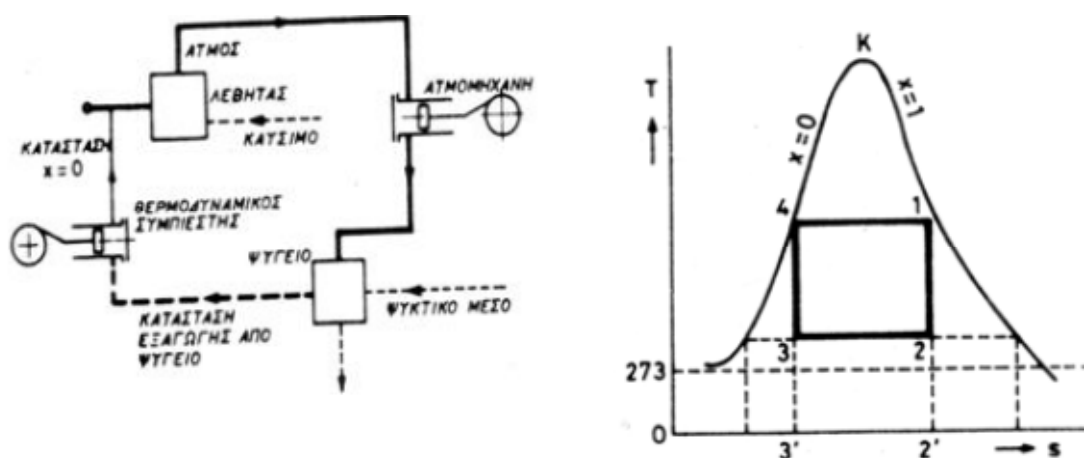
Η πρώτη ατμομηχανή ήταν όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2



Σχήμα 3.2 Κύκλωμα πρώτων ατμομηχανών

Στις πρώτες ατμομηχανές παρεχόταν θερμότητα στο λέβητα όπου γινόταν μετατροπή του νερού σε ατμό, ο οποίος τροφοδοτούταν στην ατμομηχανή όπου γινόταν αποτόνωση και παραγωγή έργου και εν συνεχεία ο ατμός παρεχόταν είτε σε ψυγείο είτε στο περιβάλλον όπου συμπυκνωνόταν και αποδιδόταν θερμότητα.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας στις ατμομηχανές ο Carnot σχεδίασε ένα κύκλωμα το οποίο έκλεινε με έναν θερμοδυναμικό συμπιεστή, στον οποίο θα τροφοδοτούταν η εξαγωγή του ψυγείου, όπου θα γινόταν συμπίεση και η εξαγωγή του συμπιεστή θα οδηγούταν στον λέβητα. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί έκφραση του θερμοδυναμικού κύκλου του Carnot και περιγράφει τη λειτουργία της τέλει μηχανής η οποία χρησιμοποιεί ως καύσιμο ιδανικό αέριο και ο βαθμός απόδοσής της είναι ο μεγαλύτερος σε σχέση με τις μηχανές.



Σχήμα 3.3 Κύκλωμα μηχανής και θερμοδυναμικός κύκλος του Carnot

Στο λέβητα τροφοδοτείται ισοθερμοκρασιακά και ισοθλιπτικά η θερμότητα (4-1), στη συνέχεια στην ατμομηχανή πραγματοποιείται αδιαβατική αποτόνωση (1-2), ακολουθεί η ισοθερμοκρασιακή συμπίεση στο ψυγείο (2-3) και η λειτουργία ολοκληρώνεται με την αδιαβατική συμπίεση στο συμπιεστή (3-4). [2]

3.2 Βαθμός Απόδοσης

Η απόδοση του κυκλώματος που περιγράφηκε προηγουμένως περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_c = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3.1)$$

όπου:

Q_1 η παρεχόμενη στο κύκλωμα θερμότητα

Q_2 η αποδιδόμενη από το κύκλωμα θερμότητα

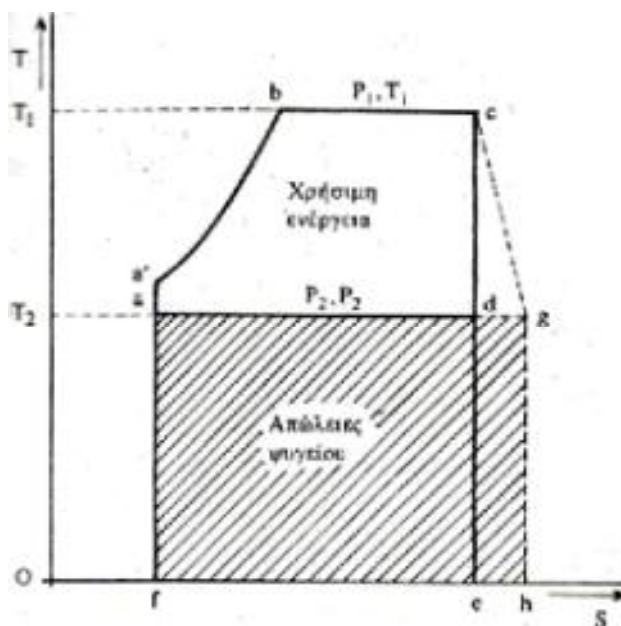
T_1 η θερμοκρασία της θερμότητας Q_1

T_2 η θερμοκρασία της θερμότητας Q_2

Όπως είναι προφανές όσο πιο υψηλή η θερμοκρασία της θερμότητας Q_1 και πιο χαμηλή η θερμοκρασία της θερμότητας Q_2 τόσο πιο υψηλή η απόδοση. Επειδή όμως η θερμοκρασία της θερμότητας Q_2 μπορεί να μικρύνει μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλαγές μπορούμε να κάνουμε μόνο στη θερμοκρασία της θερμότητας Q_1 .

Το κύκλωμα που περιέγραψε ο Carnot δεν εφαρμόστηκε ποτέ στην πράξη καθώς είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μηχανή στην οποία ο ατμός που εξέρχεται από το ψυγείο να συμπιεστεί, και αυτό λόγω του ότι οι κρούσεις που λαμβάνουν χώρα είναι αρκετά επικίνδυνες. Αποτελεί ουσιαστικά μια θεωρητική περιγραφή της παραγωγής έργου από θερμότητα με τη χρήση ενός θερμοδυναμικού συστήματος.

Για να παράγουμε ηλεκτρική ισχύ μετατρέποντας θερμική ενέργεια σε μηχανική χρησιμοποιείται ο θερμοδυναμικός κύκλος Clausius-Rankine (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4 Θερμοδυναμικός κύκλος Clausius-Rankine

Ως είσοδος στο λέβητα δε χρησιμοποιείται κάποιο ιδανικό αέριο αλλά νερό. Όταν εισέρχεται στο λέβητα το νερό ζεσταίνεται διατηρώντας τη πίεση σταθερή ώσπου το νερό να φτάσει σε σημείο βρασμού (a-b). Όταν η κατάσταση φτάσει στο σημείο b όπου η θερμοκρασία του νερού έχει φτάσει σε σημείο βρασμού, το νερό γίνεται ατμός διατηρώντας τη θερμοκρασία σταθερή (b-c) επειδή η προσδιδόμενη

θερμότητα μετατρέπει το νερό από υγρό σε αέριο χωρίς να αυξάνεται η θερμοκρασία του. Όταν φτάσουμε στο σημείο c γίνεται εκτόνωση του ατμού στο στρόβιλο όπου γίνεται μετατροπή ενός μέρους της ενέργειας σε μηχανικό έργο. Η εκτόνωση (c-d) ιδανικά πραγματοποιείται χωρίς να γίνεται συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον και επιπλέον είναι και αντιστρεπτή, δηλαδή δεν υπάρχουν εσωτερικές απώλειες (ισεντροπική). Σε πραγματικό επίπεδο όμως η κατάσταση ακολουθεί άλλη καμπύλη (c-g). Αν συγκρίνουμε την ιδανική κατάσταση με τον κύκλο του Carnot η διαδικασία αυτή αφορά την καμπύλη 1-2 του Carnot. Από το θεωρητικό σημείο d (ή πραγματικό g) γίνεται συμπίκνωση του ατμού διατηρώντας τη θερμοκρασία σταθερή και αποκτώντας μία νέα τιμή για την πίεση p_2 . Η καμπύλη d-a αφορά την καμπύλη 2-3 στον κύκλο του Carnot.

Η απόδοση ενός θερμοδυναμικού κύκλου ορίζεται ως το πηλίκο της προσφερόμενης στο στρόβιλο ενέργειας προς της προσφερόμενης στο νερό του λέβητα θερμικής ενέργειας. Πρόκειται δηλαδή για τη διαφορά του λόγου του αποδιδόμενου έργου κατά την εκτόνωση του ατμού στο στρόβιλο ανά κιλό ατμού με την ενέργεια που καταναλώθηκε στην αντλία προς την ενέργεια που παρείχαμε όταν θερμαίναμε το νερό.

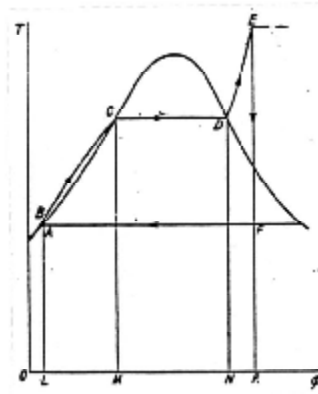
Ο βαθμός απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_R = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l}{q_1} = \frac{l}{l + q_2} = \frac{1}{1 + \frac{q_2}{l}} \quad (3.2)$$

όπου:

l είναι το τεχνικό έργο ενός θερμοκινητήρα, δηλαδή η διαφορά των ενθαλιπών κατά την είσοδο και την έξοδο.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτόνωσης του ατμού στο στρόβιλο ένα τμήμα του ατμού υφίσταται συμπίκνωση, γεγονός που προκαλεί την ύπαρξη υγρού ατμού στο στρόβιλο ο οποίος επιφέρει προβλήματα λόγω του ότι αυξάνεται η μηχανική αντίσταση και ω εκ τούτου οξειδώνονται τα πτερύγια. Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο φτάνουμε τον ατμό σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία βρασμού, σχηματίζοντας έτσι έναν υπεθερμασμένο ατμό. Ο υπεθερμασμένος ατμός αυξάνει και το βαθμό απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου. Σε σχέση με τον κύκλο κορεσμένου ατμό διαφοροποιείται και ως προς το ότι περιέχει ένα επιπλέον στάδιο (D – E) το οποίο αφορά την υπερθέρμανση του ατμού, την αύξηση ουσιαστικά της θερμοκρασίας του ατμού σε επίπεδο υψηλότερο από το σημείο βρασμού. Ο θερμοδυναμικός κύκλος υπεθερμασμένου ατμού απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5.



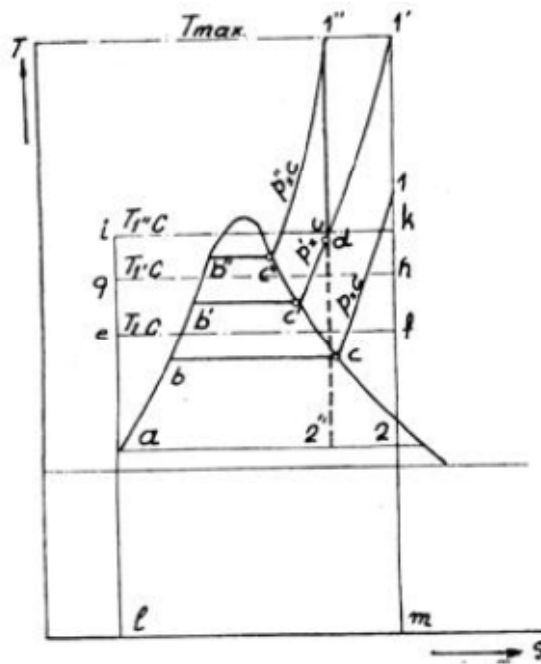
Σχήμα 3.5 Θερμοδυναμικός κύκλος υπερθερμασμένου ατμού

Με την παραπάνω διαδικασία επιτυγχάνουμε η διαφορά θερμοκρασίας να είναι υψηλότερη και επομένως η συνολική ενέργεια που αποδίδεται να είναι μεγαλύτερη σε κάθε κύκλο αλλά και ανά μονάδα μάζας του ατμού που διακινείται.

Μπορούμε ωστόσο και με άλλες μεθόδους να βελτιώσουμε την απόδοση του θερμοδυναμικού κύκλου:

- η θερμότητα που παρέχουμε στο λέβητα να έχει υψηλότερη θερμοκρασία και επομένως αυτό συνεπάγεται για τον ατμό μεγαλύτερη πίεση στον αμοπαραγωγό και θερμοκρασία υπερθέρμανσης
- ελάττωση της ποσότητας της θερμότητας που τροφοδοτείται στο ψυγείο θερμαίνοντας από πριν το νερό τροφοδότησης με απομαστεύσεις ατμού από τον στρόβιλο.

Στην πρώτη περίπτωση όπου τροφοδοτούμε το λέβητα με θερμότητα υψηλότερης θερμοκρασίας η πίεση μπορεί να είναι αρκετά υψηλή καθώς η μηχανή είναι έτσι σχεδιασμένη και κατασκευασμένη ώστε να είναι ανεκτές υπερκρίσιμες πιέσεις (έως και 350 bar). Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τη θερμοκρασία, της οποίας ο καθορισμός γίνεται από την εν θερμώ αντοχή των υλικών (550°C για τα συνηθισμένα υλικά). Εάν οι πιέσεις γίνουν ακόμα υψηλότερες ακολουθείται ο κύκλος $ab''c''1d1'2a$ (Σχήμα 3.6), που σημαίνει πως αφού γίνει αποτόνωση στο στρόβιλο κατά την $1''d$ ο ατμός επανεισέρχεται στον αμοπαραγωγό προκειμένου να αναθερμανθεί κατά την $d1'$ και εν συνεχεία γίνεται αποτόνωση στο δεύτερο μέρος του στρόβιλου. Σε περίπτωση που γίνει εξομοίωση του κύκλου του Rankine με του Carnot έτσι ώστε να αποδίδουν το ίδιο έργο και να έχουν την ίδια απόδοση, η αναθέρμανση ανέρχεται η θερμοκρασία του αντίστοιχου κύκλου Carnot και επομένως και το έργο που δίνει όπως και η απόδοσή του.

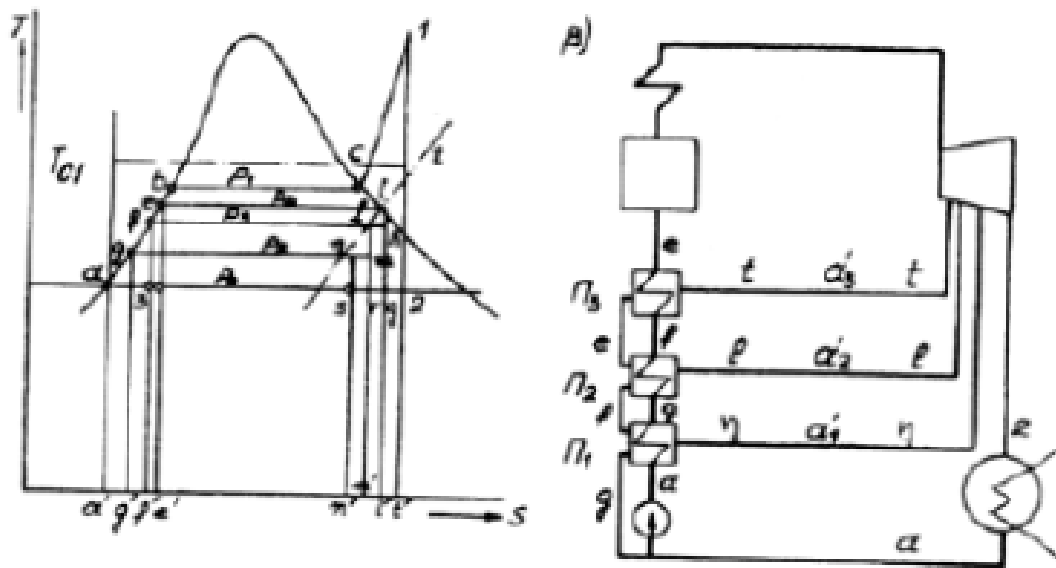


Σχήμα 3.6 Αύξηση η_R αυξάνοντας πιέσεις και θερμοκρασίες

Στη δεύτερη περίπτωση ελαττώνεται η ποσότητα της θερμότητας που τροφοδοτείται στο ψυγείο μέσω της απομάστευσης. Στην απομάστευση γίνεται χρήση ενός τμήματος του ατμού αφού εκτονωθεί μερικώς στο στρόβιλο για να γίνει προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας. Έτσι βελτιώνεται η θερμική απόδοση της μονάδας, αφού μέρος της θερμικής ενέργειας που θα απελευθερωνόταν στο περιβάλλον, χρησιμοποιείται για να προθερμάνουμε τον ατμό. Υπάρχει όμως ένας σημαντικός περιορισμός κατά τη διαδικασία της απομάστευσης. Πιο συγκεκριμένα στον ατμοπαραγωγό πρέπει να εισέρχεται μόνο νερό και όχι νερό με ατμό, γεγονός που περιορίζει την μέγιστη ενθαλπία του νερού κατά την προθέρμανση να είναι αυτή του κορεσμένου νερού και επομένως ο ρυθμός απομάστευσης οφείλει να βρίσκεται σε κατάλληλη αναλογία με το νερό που περνά από το συμπυκνωτή έτσι ώστε το τελικό μείγμα του προθερμαντή να έχει την κατάλληλη ενθαλπία κορεσμένου νερού.

Στο Σχήμα 3.7 απεικονίζεται ο θερμοδυναμικός κύκλος όπως επίσης και η διάταξη του ατμοστρόβιλου με απομάστευση ατμού. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον κύκλο abc12a ο οποίος εκτελείται ανάμεσα στις πιέσεις p_2 , p_3 , p_4 και γίνεται απομάστευση ατμού με πίεση p_4 του οποίου η ποσότητα είναι τέτοια έτσι ώστε όταν είναι υγροποιημένος εντός του προθερμαντήρα Π3 κατά τη διαδικασία tie προθερμαίνει το νερό τροφοδοτήσεως υπό πίεση p_1 από την κατάσταση f στην e και τότε γίνεται αφαίρεση από τον ρέοντα ατμό μιας ποσότητας θερμότητας η οποία αντιστοιχεί στην επιφάνεια tii't'. Με αυτό τον τρόπο, ακολουθεί απομάστευση ατμού με πιέσεις p_3 και p_4 στους προθερμαντήρες Π2 και Π1 από τους οποίους παίρνουμε σε κάθε περίπτωση την ανάλογη θερμότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισέρχεται στο ψυγείο μέρος της θερμότητας του ρέοντα ατμού καθώς το υπόλοιπο χρησιμοποιείται

στις απομαστεύσεις. Έτσι ελαττώνεται η ποσότητα της θερμότητας που εισέρχεται στο ψυγείο. [2]



Σχήμα 3.7 Θερμοδυναμικός κύκλος και ατμοηλεκτρικός σταθμός με τριπλή απομάστευση ατμού

3.3 Βελτιστοποίηση Συστήματος

Προκειμένου να μεγιστοποιήσουμε τα οφέλη από τις υπερθερμάνσεις και τις απομαστεύσεις που συμβαίνουν ενδιάμεσα πρέπει να μεριμνήσουμε για αρκετές παραμέτρους. Οι βαθμίδες της προθέρμανσης εξαρτώνται από την τελική θερμοκρασία της προθέρμανσης και από την ικανότητα του αμοστροβίλου για απομαστεύσεις. Ως επί το πλείστον δέκα με δώδεκα απομαστεύσεις είναι ικανοποιητικές, αλλά αυτό συνεπάγεται απεριόριστος αριθμός βαθμίδων. Ουσιαστικά υπάρχουν έξι με οκτώ βαθμίδες με μία τάση για 10+. Επιπλέον, είναι απαραίτητες δέκα αναθερμάνσεις προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή βελτιστοποίηση της απόδοσης (7.5% για άπειρες αναθερμάνσεις). Στην πραγματικότητα γίνονται το πολύ δύο (~5%).

Τέλος, είναι καθιερωμένο ένα κύκλωμα με μία αναθέρμανση και επτά με εννιά βαθμίδες προθερμάνσεως. Η απόδοση αγγίζει το 30-45%. Η απόδοση δύναται να βελτιωθεί κατασκευάζοντας μεγαλύτερες μονάδες καθώς έτσι ελαττώνεται το κόστος κατασκευής ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Βελτίωση της απόδοσης πραγματοποιείται και με την συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. [2]

3.4 Εξοπλισμός ατμοηλεκτρικών σταθμών

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο εξής:

- αντλίες: Προκαλούν αύξηση της πίεσης του νερού που εξέρχεται από το συμπυκνωτή και το ψυγείο. Υπάρχουν αντλίες συμπυκνώσεως και τροφοδοσίας. Η αντλία συμπυκνώσεως φέρνει το νερό του συμπυκνωτή στην πίεση απομάστευσης και η αντλία τροφοδοσίας φέρνει το νερό στην πίεση λειτουργίας του λέβητα
- προθερμαντής: γίνεται ανάμιξη του ατμού που εξέρχεται από το στρόβιλο μετά την απομάστευση με το συμπύκνωμα που εξέρχεται από τον συμπυκνωτή. Έτσι η ενθαλπία του νερού που εισέρχεται στον λέβητα μεγαλώνει
- λέβητας: παράγεται ο ατμός που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο ατμοστρόβιλος. Για να ζεσταθεί το νερό γίνεται χρήση ποικίλων καυσίμων. Στο λέβητα το εισερχόμενο νερό είναι υγρό και γίνεται μετατροπή αυτού σε ατμό. Αρχικά προθερμαίνεται το νερό έως ότου φτάσει σε σημείο ζέσεως και στη συνέχεια στον κυρίως λέβητα μετατρέπεται σε ατμό
- υπεθερμαντήρας: στην περίπτωση που ο ατμοστρόβιλος λειτουργεί με υπερθέρμανση είναι απαραίτητη η ύπαρξη υπερθερμαντήρα, στον οποίο εισέρχεται κορεσμένος ατμός και υπερθερμαίνεται προκειμένου να βελτιώσουμε την απόδοση
- ατμοστρόβιλος: ο υπερθερμασμένος ατμός εκτονώνεται στον στρόβιλο ο οποίος ξεκινά να κινείται. Η διαφορά της ενθαλπίας εισόδου με εξόδου είναι ίση με το αποδιδόμενο έργο ανά κιλό ατμού. Επιπλέον πραγματοποιείται αδιαβατική αποτόνωση μέχρι την πίεση του ψυγείου. Σε αυτό το μέρος εκτελούνται και οι απομαστεύσεις στις διάφορες πιέσεις, οι οποίες θα αξιοποιηθούν στην προθέρμανση του νερού τροφοδοτήσεως
- συμπυκνωτής: συλλέγει και συμπυκνώνει τον ατμό στην έξοδο του στρόβιλου αποβάλλοντας θερμότητα στο περιβάλλον
- απαεριωτής: αφαιρούνται αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα ή οξυγόνο από το νερό τροφοδοσίας ή το προθερμασμένο νερό στους προθερμαντήρες προκειμένου να μην συμβαίνουν χημικές διαβρώσεις στις αντλίες τροφοδοσίας και στον λέβητα
- δεξαμενές: οι τροφοδοτικές δεξαμενές συλλέγουν τα συμπυκνώματα των διάφορων μηχανημάτων του δικτύου, ισορροπούν τη ζήτηση και την παραγωγή νερού τροφοδοσίας στις αλλαγές του φορτίου και λειτουργούν ως απόθεμα απαεριωμένου και προθερμασμένου νερού σε περίπτωση ανάγκης τροφοδοσίας του λέβητα
- εξατμιστές: στην περίπτωση που το νερό είναι πολύ σκληρό το μετατρέπουν σε ατμό και ο ατμός που παράγεται οδηγείται στο κύκλωμα για να συμπληρωθεί το νερό τροφοδοσίας. Για να αποφευχθεί αύξηση της περιεκτικότητας σε άλατα του νερού που βράζει πραγματοποιείται συνεχώς εξαγωγή
- εστίες: το νερό πριν εισέλθει στο λέβητα θερμαίνεται όταν καίγεται το καύσιμο στις εστίες. Το καύσιμο είναι ως επί το πλείστον γαιάνθρακες σε μορφή κόνεως και καίγεται πάνω σε σχάρες. Το καύσιμο μπορεί να μην κινείται κατά την καύση, να συμπαρασύρεται από τον αέρα της καύσεως και τέλος να αιωρείται
- καύσιμα και τροφοδοσία: τα καύσιμα μπορεί να είναι είτε στερεά είτε υγρά είτε αέρια [2]

3.5 Τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ σε Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς

Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται τεχνολογίες οι οποίες δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς αποτελούσαν το 1/3 των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Πραγματοποιούνται ακόμη έρευνες πάνω στην απομόνωση και δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Οι βασικότερες τεχνολογίες δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα που είτε χρησιμοποιούνται ήδη είτε είναι υπό έρευνα είναι οι εξής:

- διαχωρισμός διοξειδίου του άνθρακα από το καυσαέριο: Υπάρχουν τέσσερις πιθανοί τρόποι απομάκρυνσης του διοξειδίου του άνθρακα από το καυσαέριο. Ο πρώτος είναι η απορρόφηση όπου ο διαχωρισμός πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας υγρό διάλυμα σε στήλη απορρόφησης, ο δεύτερος τρόπος είναι η προσρόφηση όπου γίνεται προσρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα σε κάποιο στερεό, ο τρίτος τρόπος είναι οι μεμβράνες όπου ο διαχωρισμός του διοξειδίου του άνθρακα από το καυσαέριο βασίζεται στην αρχή της διαφορετικής διαπερατότητας των αερίων διαμέσου μεμβρανών και ο τέταρτος τρόπος είναι κρυογονικές τεχνολογίες όπου γίνεται ψύξη ή συμπύκνωση του διοξειδίου του άνθρακα.

Μέχρι ώρας μόνο η απορρόφηση χρησιμοποιείται στην πράξη καθώς οι υπόλοιπες μέθοδοι είναι ακόμα υπό ανάπτυξη. Ανάλογα με το αν συμβαίνει χημική αντίδραση κατά τη διαδικασία της απορρόφησης ή όχι υπάρχουν τεχνολογίες χημικής και φυσικής απορρόφησης αντίστοιχα. Η χημική απορρόφηση ενδείκνυται στην περίπτωση έχουμε μεγάλες εκπομπές καυσαερίων (περισσότερες από 150m³/s) και μικρή μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα (<7bar). Αντίθετα η φυσική απορρόφηση ενδείκνυται όταν το διοξείδιο του άνθρακα στο καυσαέριο έχει μεγάλη μερική πίεση (>7bar). Όταν θέλουμε να εφαρμόσουμε κάποια τεχνολογία απορρόφησης σε θερμοηλεκτρικό σταθμό που υπάρχει ήδη, εφαρμόζουμε την χημική απορρόφηση. Οι πιο διαδεδομένοι χημικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διεργασία είναι οι αλκανοαμίνες, όπως μονο-εθανολαμίνη (MEA), δι-γλυκολαμίνη (DGA), δι-εθανολαμίνη (DEA), δι-ισοπροπυλαμίνη (DIPA), τρι-εθανολαμίνη (TEA), μεθυλ-δι-εθανολαμίνη (MDEA).

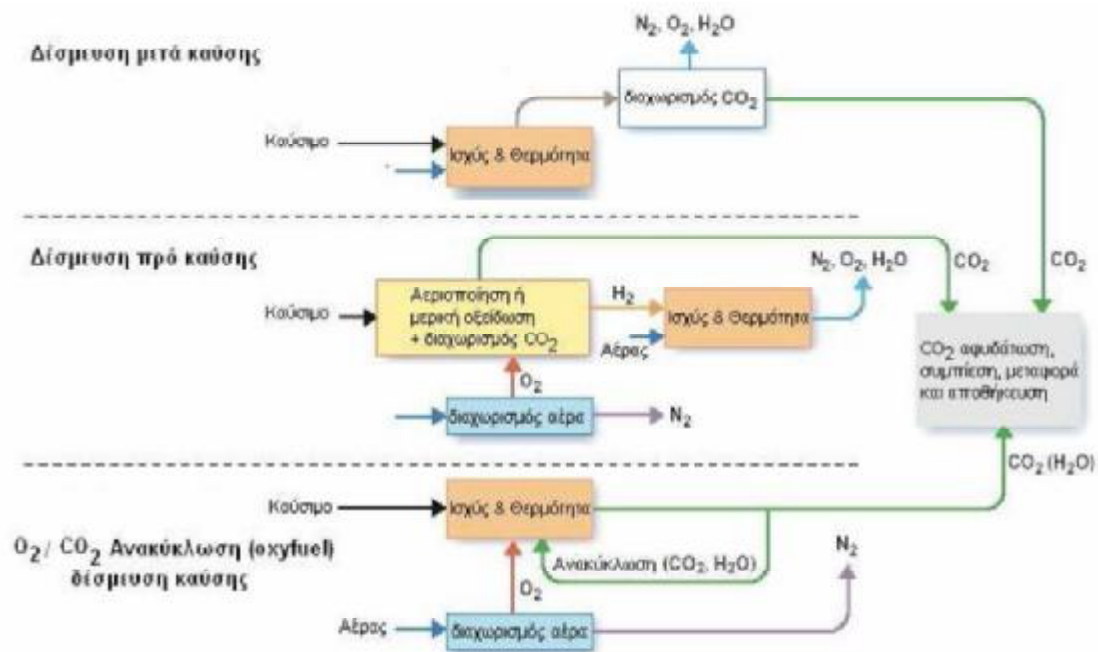
Από δοκιμές που έχουν γίνει έχει αποδειχθεί ότι η πιο αποδοτική μέθοδος δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα από τα καυσαέρια σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας είναι η έκπλυση με χημική απορρόφηση με μονοεθανολαμίνη. Η τεχνική αυτή δύναται να απομακρύνει μέχρι και το 98% του CO₂ από το καυσαέριο και το προκύπτον προϊόν να είναι περισσότερο από 99% καθαρό. Ως επί το πλείστον γίνεται χρήση του διαλύματος MEA σε νερό του οποίου η περιεκτικότητα είναι 15-25% κ.β. προκειμένου να μην υπάρξει κίνδυνος διάβρωσης. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απορρόφησης το εισερχόμενο στη στήλη απορρόφησης καυσαέριο δεν πρέπει να περιλαμβάνει διοξείδιο του θείου, οξυγόνο, υδρογονάνθρακες ή σωματίδια. Το υγρό διάλυμα που βρίσκεται στη στήλη απορρόφησης και βρίσκεται σε θερμοκρασία 40-60°C απορροφά το διοξείδιο του άνθρακα. Το καυσαέριο και το

υγρό διάλυμα έχουν αντίθετες κατευθύνσεις όταν συναντώνται. Το καυσαέριο πριν εισέλθει στη στήλη απορρόφησης υφίσταται συμπίεση στο 1.3bar και η είσοδος του πραγματοποιείται από το κάτω μέρος και κατευθύνεται προς το πάνω, ενώ το υγρό η είσοδος του πραγματοποιείται στο πάνω μέρος της στήλης απορρόφησης με κατεύθυνση προς τα κάτω.

Η θερμοκρασία υπό την οποία εκτελείται η διαδικασία απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα, προκειμένου να προκύψει ένα νέο καθαρό διάλυμα είναι 120-150°C και η πίεση είναι μικρή.

Το νέο καθαρό από διοξείδιο του άνθρακα διάλυμα, εισέρχεται εκ νέου στη στήλη απορρόφησης προκειμένου να αποδώσει τη θερμότητα που απέκτησε λόγω της θέρμανσης στο υγρό διάλυμα που είναι πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα. Η θερμοκρασία της διεργασίας περιορίζεται λόγω του ότι σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 125°C το υγρό διάλυμα αλκανοαμίνης αποσυντίθεται.

· καύση υπό συνθήκες καθαρού οξυγόνου: η τεχνολογία αυτή είναι βασισμένη στο ότι όταν καίγεται ο λιγνίτης ή οι υδρογονάνθρακες ή το συνθετικό αέριο υπό συνθήκες καθαρού οξυγόνου. Το καυσαέριο που παράγεται περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο CO₂ και H₂O. Όταν ψύχονται τα καυσαέρια, το νερό που υπάρχει σε αυτά συμπυκνώνεται και έχουμε παραγωγή σχεδόν καθαρού διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο εν συνεχεία υφίσταται συμπίεση και γίνεται μεταφορά αυτού στην τοποθεσία αποθήκευσης.



Σχήμα 3.8 Τεχνικές δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα

· παραγωγή καυσίμου το οποίο δεν περιλαμβάνει άνθρακα: σε αυτή την τεχνολογία ο άνθρακας διαχωρίζεται από το καύσιμο προτού αυτό καεί. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται διαχωρίζονται σε μέθοδος δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα μετά την καύση, μέθοδος δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα πριν την καύση και καύση με υψηλή συγκέντρωση O₂/CO₂. Στην πρώτη μέθοδο το διοξείδιο του άνθρακα διαχωρίζεται από αέριο μίγμα αζώτου και οξυγόνου εκτελώντας χημική απορρόφηση

με αμίνες και στήλες απορρόφησης. Στη δεύτερη μέθοδο το διοξείδιο του άνθρακα διαχωρίζεται από αέριο μίγμα πλούσιο σε υδρογόνο είτε με φυσική απορρόφηση είτε με απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης. Στη τρίτη μέθοδο απομονώνεται το άζωτο από τον αέρα καύσης και γίνεται καύση μόνο με οξυγόνο αντί για αέρα, παράγοντας έτσι καυσαέριο αποτελούμενο από διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Και οι τρεις μέθοδοι απεικονίζονται στο Σχήμα 3.8. [3]

3.6 ΑΗΣ Μεγαλόπολης

Οι Μονάδες I και II του ΑΗΣ Μεγαλόπολης που τέθηκαν σε λειτουργία το 1970 είναι όμοιες 125MW η καθεμιά. Οι λέβητες των μονάδων I και II είναι κατασκευής VKW, φυσικής κυκλοφορίας, διπλής διαδρομής καυσαερίων, με αναθέρμανση του ατμού που εξέρχεται από το στρόβιλο της Υ.Π..

Κάθε λέβητας των I-II Μονάδων περιλαμβάνει έξι μύλους λιγνίτη τύπου DGS BABCOCK, ικανότητας ο καθένας 69 ton/h. Η κονιοποίηση και ξήρανση του λιγνίτη γίνεται με θερμά καυσαέρια που απορροφά ο κάθε μύλος από το άνω μέρος της εστίας του λέβητα.



Εικόνα 3.1 Μονάδες I και II του ΑΗΣ Μεγαλόπολης

Στην έξοδο κάθε μύλου το μείγμα καυσίμου-καυσαερίων-υδρατμών διαχωρίζεται φυγοκεντρικά και ένα μέρος αυτού (65% του καυσίμου και 45% των υδρατμών) πηγαίνει κατευθείαν στους αντίστοιχους καυστήρες λιγνίτη, ενώ το υπόλοιπο μέρος οδηγείται μέσω κυκλώνων στα Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Η/Φ) λιγνίτη στη οροφή του λεβητοστασίου. Στα Η/Φ διαχωρίζεται το καύσιμο από τους υδρατμούς και τα καυσαέρια και τα μεν τελευταία πηγαίνουν ελεύθερα προς την ατμόσφαιρα, ενώ ο λιγνίτης πηγαίνει στον αντίστοιχο καυστήρα υποβοηθώντας έτσι την καύση. Έτσι ενώ η τυπική σύσταση του ακατέργαστου λιγνίτη είναι: $H_2O=59,9\%$ τέφρα= $16,7\%$

καύσιμο=23% με $H_u=960\text{Kcal/kg}$ μετά την ξήρανση το καύσιμο μείγμα προ καυστήρος έχει: $H_u=1550\text{Kcal/kg}$ και $H_2O=20\%$

Για την επίτευξη πλήρους φορτίου της κάθε Μονάδας και συμβατική ποιότητα λιγνίτη, απαιτείται η λειτουργία πέντε μύλων από τους έξι εγκαταστημένων, ενώ ο έκτος είναι εφεδρικός. Για εκκινήσεις, κρατήσεις ή υποστήριξη της καύσης έχουν εγκατασταθεί επί πλέον τέσσερις καυστήρες πετρελαίου σε κάθε λέβητα.

Οι στρόβιλοι των Μονάδων I και II είναι κατασκευής AEG και αποτελούνται από τρία τμήματα (υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης). Το τμήμα της υψηλής πίεσης, απλής ροής αποτελείται από 11 βαθμίδες και από την έξοδο του τροφοδοτεί ένα προθερμαντή υψηλής πίεσης. Το τμήμα μέσης πίεσης, απλής ροής και αυτό, αποτελείται από 12 βαθμίδες και τροφοδοτεί μια απομάστευση υψηλής πίεσης, τον απαερωτή και μια απομάστευση υψηλής πίεσης. Το τμήμα χαμηλής πίεσης του στρόβιλου είναι διπλής ροής με 2X5 βαθμίδες και τροφοδοτεί δυο απαμαστεύσεις χαμηλής πίεσης



Εικόνα 3.2 Μονάδες I και II του ΑΗΣ Μεγαλόπολης

Η Μονάδα III του ΑΗΣ Μεγαλόπολης που τέθηκε σε λειτουργία το 1975 είναι εγκατεστημένης ισχύος 300MW. Ο λέβητας της Μονάδας είναι κατασκευής VKW, φυσικής κυκλοφορίας, διπλής διαδρομής καυσαερίων, με αναθέρμανση του ατμού που εξέρχεται από το στρόβιλο της υψηλής πίεσης. Ο Λέβητας αυτός είναι όμοιος με τους αντίστοιχους των δυο άλλων μονάδων, με μόνη τη διαφορά ότι δεν έχει κυκλώνες.

Έχει έξι μύλους λιγνίτη τύπου DGS BABCOCK με ικανότητα ο καθένας 180ton/h. Για την επίτευξη πλήρους φορτίου με τις συμβατικές τιμές λιγνίτη, απαιτείται η λειτουργία πέντε μύλων ενώ ο έκτος είναι εφεδρικός. Ο τρόπος ξήρανσης του λιγνίτη είναι ο ίδιος ακριβώς με τον αντίστοιχο των μονάδων I και II. Για την εκκίνηση, κράτηση και στήριξη της καύσης, όταν ο λέβητας είναι χαμηλής θερμογόνου δύναμης, ο λέβητας είναι εφοδιασμένος με έξι καυστήρες πετρελαίου DIESEL.

Ο στρόβιλος της Μονάδας III είναι κατασκευής KWU και αποτελείται από τρία τμήματα(υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης). Το τμήμα της υψηλής πίεσης, χωρίς οριζόντια φλάντζα στο κέλυφος, είναι απλής ροής και τροφοδοτεί ένα διπλό προθερμαντή υψηλής πίεσης. Το τμήμα της μέσης πίεσης είναι απλής ροής και τροφοδοτεί με δυο απομαστεύσεις ένα προθερμαντή (διπλό) υψηλής πίεσης και τον απαερωτή. Το τμήμα της χαμηλής πίεσης του στροβίλου είναι και αυτό διπλής ροής με τρεις απομαστεύσεις που τροφοδοτούν ισάριθμους προθερμαντές χαμηλής πίεσης.

[4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

4.1 Γενικά

Ως υποσταθμός νοείται η ηλεκτρική εγκατάσταση όπου πραγματοποιείται μετασχηματισμός της τάσης και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η ενέργεια παράγεται υπό τάση 15kV ή 20kV. Η τάση αυτή είναι αρκετά χαμηλή έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω τεράστιων απωλειών. Για το λόγο αυτό γίνεται μετασχηματισμός της τάσης σε υψηλή (150kV ή 400kV) και μέσω της γραμμής μεταφοράς η ενέργεια φτάνει στους καταναλωτές. Υπάρχει ένα υπερβολικά μικρό ποσοστό που τους παρέχεται ενέργεια με τάση 150kV. Η ενέργεια φτάνει στους μεγάλους καταναλωτές (εργοστάσια κλπ.) υπό μέση τάση ενώ στους μικρούς (κατοικίες, εμπορικά μαγαζιά κλπ.) υπό χαμηλή τάση. Όπως είναι προφανές γίνονται και άλλοι μετασχηματισμοί την ενέργειας από υψηλή τάση (Υ.Τ.) ή υπερυψηλή τάση (Υ.Υ.Τ.) σε μέση τάση (Μ.Τ.) και στη συνέχεια από μέση τάση (Μ.Τ.) σε χαμηλή τάση (Χ.Τ.).

Οι γραμμές μεταφοράς ξεκινούν από τους υποσταθμούς και φτάνουν σε αυτούς, οι οποίοι αποτελούν ουσιαστικά τους κόμβους του δικτύου. Οι υποσταθμοί στους οποίους είναι συνδεδεμένες γραμμές και δεν πραγματοποιείται απαραίτητα μετασχηματισμός τάσης καλούνται υποσταθμοί ζεύξεως ή διασυνδέσεως. Οι υποσταθμοί στους οποίους γίνεται και μετασχηματισμός της τάσης από μια τιμή σε μια άλλη μικρότερη καλούνται υποσταθμοί μετασχηματισμού ή υποσταθμοί υποβιβασμού ή ακόμα και υποσταθμοί ζεύξεως και μετασχηματισμού. Ανάλογοι με τους υποσταθμούς υποβιβασμού είναι και οι υποσταθμοί ανύψωσης οι οποίοι υπάρχουν στους σταθμούς παραγωγής προκειμένου να μετασχηματίζεται η τάση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην τάση που θα γίνει η μεταφορά της. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για να συνδεθούν οι γραμμές στους υποσταθμούς είναι ζυγοί και στους ζυγούς οι γραμμές συνδέονται με διακόπτες. Βασική λειτουργία των διακοπών είναι να παύουν και να εκκινούν τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος και οι μετασχηματιστές στους οποίους αλλάζει η τιμή της τάσης της ηλεκτρικής ισχύος από μια τιμή σε μια άλλη είναι οι σημαντικότερες συσκευές ισχύος στα δίκτυα μεταφοράς.

Οι υποσταθμοί μεταφοράς αναλόγως της λειτουργίας τους διακρίνονται σε υποσταθμούς ανυψώσεως οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι κοντά στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και βασική τους λειτουργία είναι η ανύψωση της τάσης παραγωγής στην τάση μεταφοράς, υποσταθμούς υποβιβασμού οι οποίοι

υποβιβάζουν την τάση μεταφοράς στην μέση τάση διανομής και σε υποσταθμούς ζεύξεως στους οποίους απλώς γίνεται ζεύξη ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Οι υποσταθμοί μεταφοράς ανάλογα με τη μέθοδο που κατασκευάστηκαν διακρίνονται σε υπαίθριους, οι οποίοι έχουν το πιο μικρό κόστος κατασκευής, σε εγκιβωτισμένους και σε υπόγειους. [5]

4.2 Υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης 150kV/M.T.

Οι υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης είναι εγκατεστημένοι κοντά στο σημείο όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Βασική τους λειτουργία είναι η ανύψωση της τάσης παραγωγής στην τάση μεταφοράς. Σε κοντινή απόσταση από τους υποσταθμούς ανυψώσεως υπάρχουν και οι εγκαταστάσεις που εξασφαλίζουν τα 6kV, 3kV και 220/380V που είναι απαραίτητα για να τροφοδοτούν τα βοηθητικά κυκλώματα του σταθμού παραγωγής. Οι εγκαταστάσεις αυτές ονομάζονται υποσταθμοί εσωτερικής υπηρεσίας. Αυτός ο υποσταθμός τροφοδοτείται τόσο από τη γεννήτρια του σταθμού όσο και από τις γραμμές μεταφοράς με Μ/Σ υποβιβασμού 150/15kV, προκειμένου σε περίπτωση που η γεννήτρια παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα να υπάρχει διαθέσιμο ρεύμα για να τροφοδοτηθούν οι βοηθητικές εγκαταστάσεις.

Σε έναν υποσταθμό ανυψώσεως τάσης ο βασικός εξοπλισμός είναι:

- ο μετασχηματιστής ο οποίος ανυψώνει την τάση παραγωγής (15 ή 20 kV) στην τάση μεταφοράς (150 ή 380 kV)
- οι διακόπτες ισχύος και αποζεύκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη διακοπή της ηλεκτρικής συνέχειας των γραμμών
- οι ζυγοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να διακλαδώνονται οι γραμμές
- διάφορα βοηθητικά μηχανήματα (μετασχηματιστές τάσεως και εντάσεως, αλεξικέραυνα κλπ.)
- Ανάλογα με τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο σταθμό παραγωγής οι υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης έχουν ανάλογη ισχύ. [5]

4.3 Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από τα εξής στοιχεία:

- Θεμέλια
- Πυλώνες
- Αγωγοί
- Μονωτήρες

4.3.1 Θεμέλια

Τα θεμέλια ενός πυλώνα διαφέρουν σε μέγεθος και κόστος καθώς η σχεδίασή τους εξαρτάται από το έδαφος στο οποίο θα τοποθετηθούν. Το κόστος κατασκευής των θεμελίων κυμαίνεται μεταξύ 10-30% του συνολικού κόστους του πυλώνα. Παρότι είναι το πρώτο στοιχείο που κατασκευάζεται είναι το τελευταίο που σχεδιάζεται.

Το έδαφος στο οποίο θα γίνει η κατασκευή των θεμελίων διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο καθώς είναι πιθανό κατά μήκος μιας γραμμής μεταφοράς το έδαφος και τα πετρώματα να διαφοροποιούνται. Επίσης η διαδικασία κατασκευής και η επιχωμάτωση είναι σημαντικές παράμετροι στην αποδοτικότητα του θεμελίου.



Εικόνα 4.1 Θεμέλια Πυλώνα

Ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν την κατασκευή των θεμελίων είναι το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, αλλά και η πυκνότητα και συνοχή του εδάφους (π.χ. άμμος, λάσπη κλπ.). Ιδιαίτερη σημασία δίνεται επίσης όταν υπάρχει κίνδυνος να εισχωρήσει πάγος, όταν το έδαφος είναι συστελλόμενο και διαστελλόμενο, όταν στην ευρύτερη περιοχή γίνονται κατολισθήσεις, όταν το έδαφος περιέχει σχιστόλιθο, όταν το έδαφος παρουσιάζει προβλήματα λόγω καταβόθρων και όταν το έδαφος είναι σε κατάσταση permafrost. Σε αυτού του είδους τα εδάφη η θερμοκρασία δεν υποχωρεί και βρίσκεται υπό το μηδέν, σχηματίζοντας με αυτό τον τρόπο στρώματα πάγου σε βάθος και αλλοιώνοντας τη συνοχή και πυκνότητα του εδάφους. Εάν το έδαφος κριθεί αρκετά ριψοκίνδυνο για την θεμελίωση, τότε για να γίνει το θεμέλιο πιο ισχυρό ρίχνουν επιπλέον σκυρόδεμα. Για παράδειγμα σε περίπτωση που θέλουμε ο πυλώνας να κατασκευαστεί σε περιοχή που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από θάλασσα επειδή οι άνεμοι είναι πιο ισχυροί και έχουν πιο έντονη κίνηση σε σχέση με περιοχές μακριά από την θάλασσα, τα θεμέλια είναι πιο ισχυρά και πιο μεγάλα. Στη μελέτη και σχεδίαση των θεμελίων έχει προβλεφθεί η αντοχή τους σε ανέγερση και καθίζηση του πυλώνα, στα πλευρικά φορτία και σε πιθανή ανατροπή. [6]

Σε αρκετές περιπτώσεις τα θεμέλια ενισχύονται τοποθετώντας ειδικά βοηθητικά καλώδια στήριξης.



Εικόνα 4.2 Βοηθητικά καλώδια στήριξης των θεμελίων του πυλώνα

Πολύ ουσιαστική παράμετρος εκτίμησης του φορτίου αποτελεί και το μέγεθος του πυλώνα. Υπάρχουν αρκετοί τύποι θεμελίων όπως είναι οι εξής:

- βάση από δοκούς χάλυβα
- θεμέλιο κυλινδρικής βάσης
- θεμέλιο με άξονα
- θεμέλιο σε πέτρωμα
- θεμέλιο άμεσης τοποθέτησης
- θεμέλιο με πασσάλους
- θεμέλιο τύπου άγκυρας

4.3.2 Πυλώνες

Όπως είναι ήδη γνωστό οι εναέριες γραμμές είναι αναρτημένες σε πυλώνες. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πυλώνων, η επιλογή δε του κατάλληλου γίνεται με βάση ορισμένα κριτήρια. Το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης του πυλώνα αντιστοιχεί στο 30-40% του συνολικού κόστους της γραμμής μεταφοράς. Επομένως, προκειμένου να είναι όσο το δυνατόν πιο οικονομική η κατασκευή της γραμμής μεταφοράς πρέπει κατά τη σχεδίαση να επιλεγεί και ο κατάλληλος τύπος πυλώνα, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους. Αφού γίνει κατάλληλη επιλογή πυλώνα τότε αυτός κατασκευάζεται εις πολλαπλούν, με μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους προκειμένου να τοποθετηθούν κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς. Οι διαφοροποιήσεις που ενδέχεται να έχουν μεταξύ τους οφείλονται σε ιδιαιτερότητες του εδάφους στο οποίο θα εγκατασταθούν. Ο σχεδιασμός των πυλώνων γίνεται βασιζόμενοι στο φορτίο που θα εξυπηρετήσουν. Οι διαφορετικοί τύποι πυλώνων είναι οι εξής:

- πυλώνες ευθυγραμμίας: αυτός ο τύπος πυλώνων χρησιμοποιείται όταν η γραμμή μεταφοράς είναι ευθεία ή παρουσιάζει μια πολύ μικρή γωνία μικρότερη από 3° . Αυτού του είδους πυλώνες ενδείκνυνται για ομαλά εδάφη, όπου τα ανοίγματα είναι δηλαδή περίπου ίσα. Σε διαφορετικές περιοχές ωστόσο, όπως είναι οι κοιλάδες ή τα βουνά, τα ανοίγματα και οι γωνίες ενδέχεται να διαφέρουν. Σε αυτού του είδους περιοχές χρησιμοποιείται ο επόμενος τύπος πυλώνων. Σε μια γραμμή μεταφοράς το 80-90% των πυλώνων που χρησιμοποιούνται είναι πυλώνες ευθυγραμμίας

· πυλώνες γωνίας: αυτός ο τύπος πυλώνων χρησιμοποιείται όταν η διεύθυνση της γραμμής μεταφοράς αλλάζει. Το σημείο στο οποίο αλλάζει η διεύθυνση της γραμμής, το σημείο δηλαδή που σχηματίζει γωνία ονομάζεται σημείο διασταύρωσης. Οι πυλώνες γωνίας είναι εγκατεστημένοι στα σημεία διασταύρωσης προκειμένου ο εγκάρσιος άξονας να διχοτομεί τη γωνία που δημιουργεί ο αγωγός. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εξισορρόπηση των διαμηκών φορτίων των αγωγών στα ανοίγματα. Εάν υπάρχουν διαφορετικά σημεία διασταυρώσεων αλλά και οι γωνίες είναι μεταξύ τους δυσανάλογες, προκειμένου η γραμμή μεταφοράς να γίνει όσο το δυνατόν πιο οικονομική κατά τη σχεδίαση προβλέπονται περισσότερες κατασκευές που καλύπτουν περισσότερες γωνίες.

· τερματικοί πυλώνες: αυτός ο τύπος πυλώνα χρησιμοποιείται στην περίπτωση που η γωνία είναι μεγαλύτερη των 30° . Η κατασκευή τους, τους επιτρέπει από τη μια μεριά τους να αντέχουν τους εφελκυσμούς των αγωγών. Επιπλέον, γίνεται χρήση αυτού του τύπου πυλώνα ως τερματικές κατασκευές αλλά και για τμηματοποίηση γραμμών μεταφοράς που έχουν μεγάλο μήκος και η πλειοψηφία των πυλώνων τους είναι πυλώνες ευθυγραμμίας.

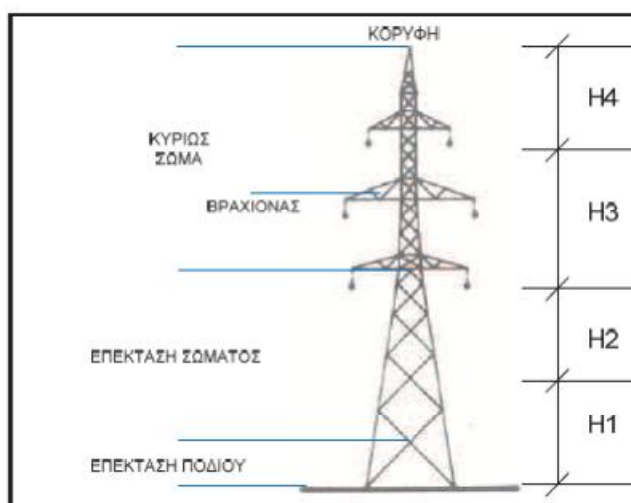
Το ολικό ύψος του πύργου είναι ανάλογο του ανοίγματος των αγωγών ανάμεσα σε δυο πυλώνες. Σε ίδιους πυλώνες γίνεται χρήση, ως επί το πλείστον, του ίδιου κυρίως σώματος. Προκειμένου να πετύχουμε το επιδιωκόμενο ύψος αλλάζουμε τις επεκτάσεις των ποδιών και την επέκταση του σώματος. Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται τα βασικά στοιχεία ενός πυλώνα όσον αφορά το ύψος του. Έχουν οριστεί οι αποστάσεις H1, H2, H3, H4 οι οποίες αφορούν:

H1: ελάχιστη δυνατή ασφαλή απόσταση εκκαθάρισης από το έδαφος

H2: χαμηλότερο δυνατό σημείο του χαμηλότερου αγωγού

H3: κάθετη απόσταση μεταξύ των αγωγών

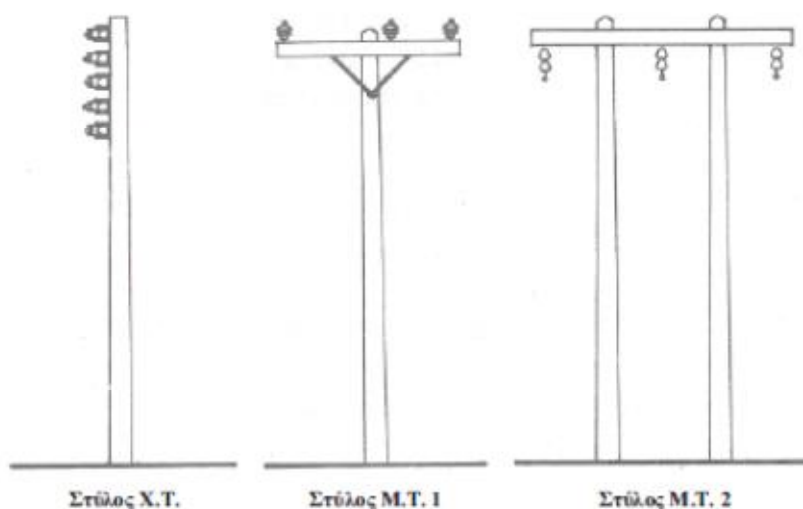
H4: Κάθετη απόσταση εκκαθάρισης μεταξύ αγωγού γείωσης και υψηλότερου σε θέση αγωγού



Σχήμα 4.1 Ανάλυση ύψους πυλώνα

Η κορυφή του πυλώνα στηρίζει τόσο τον αγωγό γείωσης όσο και τον κλωβό μεταξύ κορυφής και κυρίου σώματος αλλά και τους βραχίονες που χρησιμοποιούνται ως στήριγμα στους αγωγούς και το κυρίως σώμα του πύργου που πατά στο θεμέλιο με τα «πόδια» του πύργου.

Στη χαμηλή τάση και στη μέση τάση χρησιμοποιούνται συνήθως ξύλινοι στύλοι ή και τσιμεντένιοι. Όσο αυξάνεται η τάση άλλοι τύποι στύλων χρησιμοποιούνται, ειδικά σε σχέση με τους βραχίονες προκειμένου η απόσταση μεταξύ των αγωγών να μεγαλώσει. Για μεγάλες τάσεις ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν σύνθετοι χαλύβδινοι πυλώνες.



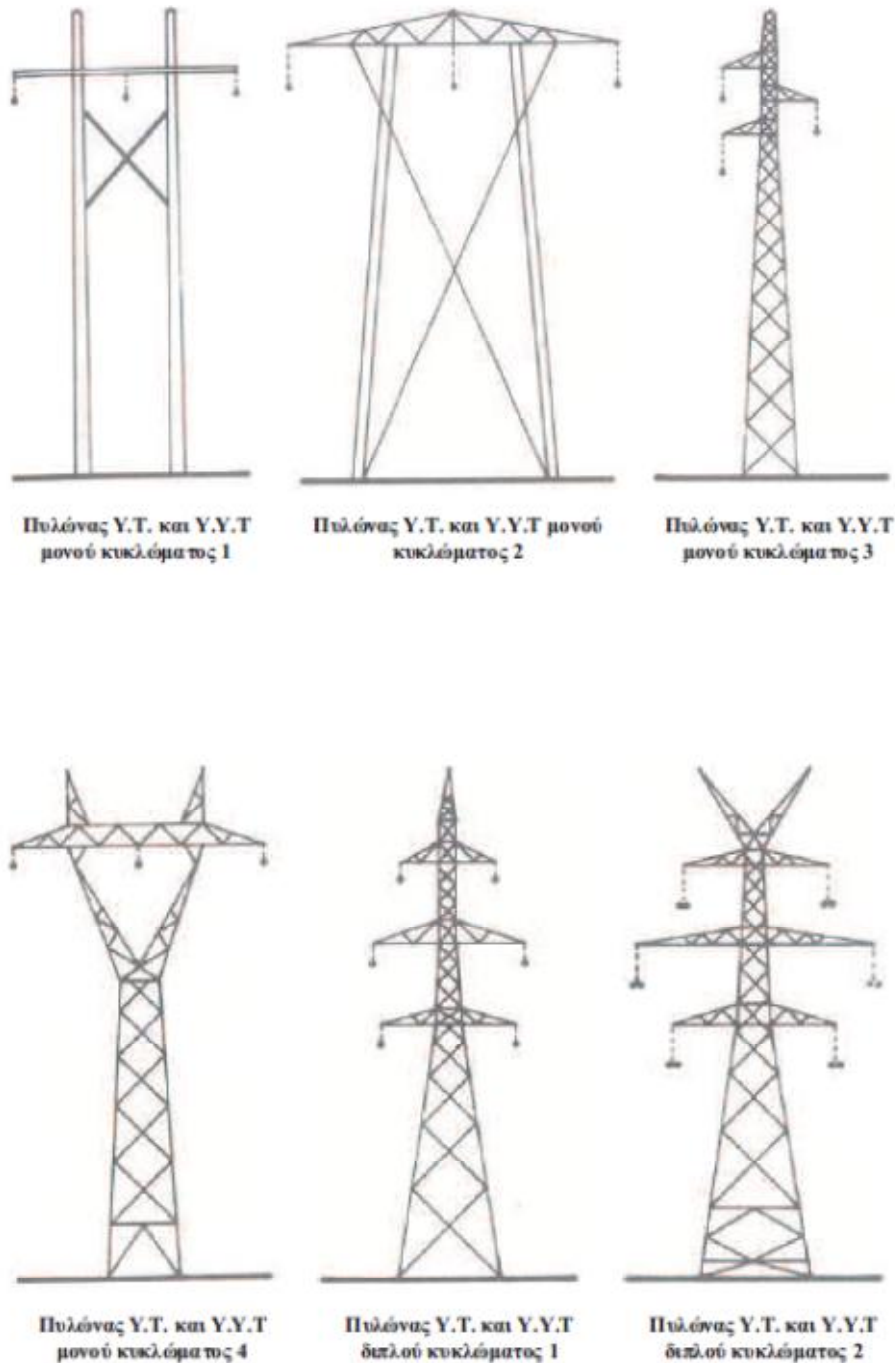
Σχήμα 4.2 Στύλοι χαμηλής και μέσης τάσης

Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται στα αριστερά ένας απλός ξύλινος στύλος χαμηλής τάσης, ενώ στα δεξιά φαίνονται δύο στύλοι μέσης τάσης. Ο τελευταίος στύλος καλείται τύπος “H” ή πλαίσιο “H”. Αυτός ο στύλος χρησιμοποιείται συνήθως σε περιοχές όπου η τάση είναι από 66 kV έως 150 kV, και σε λίγες περιπτώσεις από 230 kV και πάνω. Το ξύλο έχει το προτέρημα ότι μονώνει καλύτερα τη γραμμή και έχει μικρότερο κόστος κατασκευής αλλά φθείρεται πιο γρήγορα, καθιστώντας τη συντήρηση και αντικατάστασή του αρκετά κοστοβόρα. Οι ξύλινοι ή μετεωρόνιοι στύλοι χρησιμοποιούνται κυρίως στο σύστημα διανομής και όχι σε σύστημα υψηλής τάσης.

Σε γραμμές υψηλότερων τάσεων όπου οι κατασκευές απαιτείται να είναι πιο ισχυρές γίνεται χρήση χαλύβδινων πυλώνων. Σε ορισμένες χώρες οι στύλοι κατασκευάζονται από λαμινέ ξύλο (κομμάτια ξύλου τα οποία έχουν κολληθεί και μοιάζουν με ελάσματα). Η λύση αυτή είναι πιο ακριβή αλλά προσφέρει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και αντοχή στο χρόνο. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν χρησιμοποιούνται τέτοιοι στύλοι, αντί για στύλους από χάλυβα, όταν πληρούνται οι προϋποθέσεις με μια τέτοια κατασκευή, μειώνεται το κόστος.

Το μειονέκτημα των πυλώνων που είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα είναι ότι το βασικό τους υλικό είναι το μέταλλο με αποτέλεσμα να υφίστανται διαβρώσεις και

σκουριά. Το γεγονός αυτό τους καθιστά ιδιαίτερα κοστοβόρους καθώς είναι απαραίτητη η συντήρησή τους αρκετά συχνά. Το μεγαλύτερο προτέρημά τους είναι ότι είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί σε μηχανικές τάσεις. Οπότε όταν θέλουμε να έχουμε ανθεκτικούς στο χρόνο και στις μηχανικές τάσεις πυλώνες επιλέγουμε πυλώνες κατασκευασμένους από χάλυβα. Οπότε θέλουμε να έχουμε φθηνούς και καλή μόνωση επιλέγουμε στύλους κατασκευασμένους από ξύλο. Στο Σχήμα 4.3 φαίνονται πυλώνες μονού και διπλού κυκλώματος που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ στις γραμμές μεταφοράς για 66 kV, 150 kV και 400 kV.



Σχήμα 4.3 Πυλώνες μονού και διπλού κυκλώματος

Ο πυλώνας μονού κυκλώματος ένα είναι πυλώνας τύπου Η, με ξύλινους φορείς. Αυτός ο πυλώνας χρησιμοποιείται μερικώς από τη ΔΕΗ στις γραμμές 66 kV και ο πυλώνας μονού κυκλώματος τέσσερα με τον πυλώνα διπλού κυκλώματος ένα στις γραμμές 150 kV. Τον πυλώνα διπλού κυκλώματος δύο τον χρησιμοποιεί στις γραμμές 400 kV. Στις γραμμές μεταφοράς διπλού κυκλώματος ο πυλώνας φέρει δύο ανεξάρτητα κυκλώματα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται επειδή ορισμένες φορές όπως για παράδειγμα σε κατοικημένες περιοχές είναι αρκετά κοστοβόρο κάθε κύκλωμα να είναι χωριστή και ανεξάρτητη γραμμή, όπως θα θέλαμε ιδανικά για να εξασφαλίσουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Η μέθοδος του διπλού κυκλώματος χρησιμοποιείται συνήθως στην Ελλάδα σε γραμμές 150 και 400 kV. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο κίνδυνος εμφάνισης βλάβης καθιστώντας το σύστημα μη αξιόπιστο. [6]

4.3.3 Αγωγοί

Οι αγωγοί των γραμμών μεταφοράς είναι κατασκευασμένοι κατά κύριο λόγο από χαλκό και αλουμίνιο. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και χαλύβδινοι αγωγοί. Το αλουμίνιο με άλλα κράματα μετάλλων αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία υλικών αγωγού.

Οι χάλκινοι αγωγοί είναι αρκετά αγωγίμοι και στην περίπτωση χάλκινων αγωγών σκληρής ελκύνσεως έχουν και πολύ μεγάλη μηχανική αντοχή. Αποτελεί βέβαια αρκετά αρνητικό στοιχείο το μεγάλο βάρος τους. Παρόλο που ο χαλκός βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία στο περιβάλλον δεν χρησιμοποιείται στους αγωγούς υψηλής τάσης τουλάχιστον. Τα βασικά προτερήματά του είναι η υψηλή αγωγιμότητα και το γεγονός ότι είναι μέταλλο που επεξεργάζεται εύκολα. Υπάρχουν τρεις τύποι χάλκινων αγωγών: μαλακής, μέσης και σκληρής έλκυσης. Οι χάλκινοι αγωγοί μαλακής έλκυσης χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις μικρών ανοιγμάτων ή στις γειώσεις των γραμμών μεταφοράς. Πλεονεκτήματά τους είναι ότι είναι ευλύγιστοι και παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε σπασίματα ακόμα και όταν το μηχανικό φορτίο είναι μεγάλο. Οι χάλκινοι αγωγοί μέσης έλκυσης χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις μεσαίων ανοιγμάτων. Οι αγωγοί σκληρής έλκυσης χρησιμοποιούνται σε μεγάλα ανοίγματα και το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι είναι πολύ ισχυροί σε σύγκριση με τους άλλους δυο τύπους. Ωστόσο αυτός ο τύπος χάλκινου αγωγού επεξεργάζεται δύσκολα λόγω της μεγάλης τους δύναμης.



Εικόνα 4.3 Χάλκινος αγωγός

Οι χαλύβδινοι αγωγοί δε χρησιμοποιούνται ευρέως καθώς η απόδοσή τους είναι κατά 90% μικρότερη από αυτή των χάλκινων και είναι επιρρεπείς στη σκουριά. Γι' αυτό άλλωστε και δεν χρησιμοποιούνται ποτέ μόνοι τους. Οι χαλύβδινοι αγωγοί είτε γαλβανίζονται είτε τοποθετείται μία στρώση ψευδαργύρου γύρω τους προκειμένου να μην σκουριάζουν. Βασικό προτέρημά τους είναι το γεγονός ότι είναι πενταπλάσια ισχυροί σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς και χρησιμοποιούνται για να γειώσουν τη γραμμή.



Εικόνα 4.4 Χαλύβδινος αγωγός επικαλυμμένος με αλουμίνιο

Οι αλουμινένιοι αγωγοί τύπου AAC (All Aluminum Conductors) έχουν το πλεονέκτημα ότι έχουν μικρό βάρος και αν συνδυαστεί με χάλυβα, προκειμένου να αποκτήσει την κατάλληλη μηχανική αντοχή συναγωνίζονται τους χάλκινους αγωγούς. Έχουν όμως αρκετά μειονεκτήματα όπως είναι η επιρρέπειά τους στην οξείδωση όπως επίσης και το γεγονός ότι είναι λιγότερο ανθεκτικοί στη θερμότητα σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς και παρουσιάζουν μικρότερη αγωγιμότητα και αντοχή επίσης σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς. Ωστόσο λόγω του ότι οι χάλκινοι αγωγοί είναι πιο ακριβοί αλλά και επειδή σε πολλές περιπτώσεις δεν υπήρχε άμεση διαθεσιμότητα του χαλκού, οι αλουμινένιοι αγωγοί είναι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι τα τελευταία χρόνια έναντι των χάλκινων. Στις γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται κυρίως αλουμινένιοι αγωγοί και στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται μόνο αλουμινένιοι.



Εικόνα 4.5 Αλουμινένιοι αγωγοί τύπου AAC

Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στις γραμμές μεταφοράς έχουν τέτοιο μέγεθος που δεν έχουν συμπαγή σύσταση, αλλά έχουν πληθώρα συνεστραμμένων κλώνων, προκειμένου να είναι πιο εύκαμπτοι. Στη συνηθισμένη τυποποίηση ένας κεντρικός

κλώνος έχει γύρω του διάφορα διαδοχικά στρώματα και κάθε στρώμα έχει αρκετούς ίδιους κλώνους ενώ τα διαδοχικά στρώματα είναι συνεστραμμένα έτσι ώστε να έχουν εναλλάξ αντίθετες διευθύνσεις. Έτσι στον πλήρες αγωγό οι κλώνοι συγκρατούν ο ένας τον άλλο, παραμένοντας πολύ εύκαμπτοι.

Οι αλουμινένιοι αγωγοί τύπου ACSR (All Aluminum Conductor Steel Reinforcement) είναι αλουμινένιοι αγωγοί οι οποίοι έχουν ενισχυθεί με χάλυβα. Οι αλουμινένιοι αγωγοί όπως αναφέρθηκε προηγουμένως δεν χρησιμοποιούνται μόνοι τους ως αγωγοί στις γραμμές μεταφοράς καθώς η μηχανική αντοχή τους δεν είναι επαρκής. Η μέθοδος με τους συνεστραμμένους κλώνους βοηθά να ενσωματωθούν στον αλουμινένιο αγωγό χαλύβδινα σύρματα, τα οποία αυξάνουν τη μηχανική αντοχή του. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει ο ευρέως διαδεδομένος και χρησιμοποιούμενος αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα, ο οποίος περιέχει στο κεντρικό τμήμα του κλώνους από χάλυβα πάνω από τους οποίους βρίσκονται κλώνοι από αλουμίνιο. Οι χαλύβδινοι κλώνοι, στην περίπτωση που είναι περισσότεροι από έναν, διατάσσονται σε στρώματα και αποτελούν τον πυρήνα του αγωγού και πάνω από αυτά διατάσσονται σε στρώματα οι αλουμινένιοι κλώνοι. Ανάλογα με τις ανάγκες που έχει η γραμμή μεταφοράς σε μηχανικό και ηλεκτρικό επίπεδο επιλέγεται και κατάλληλη μορφή του αγωγού. Ευρέως χρησιμοποιούμενη είναι μια αμερικάνικη τυποποιημένη έκδοση των ACSR αγωγών οι οποίοι έχουν εκτεταμένη περιοχή διατομών. Στην Ελλάδα στις γραμμές μεταφοράς γίνεται χρήση τριών διαφορετικών διατομών αγωγών ACSR: 336 MCM, 636MCM και 954 MCM. Οι αγωγοί διατομής 336MCM χρησιμοποιούνται στις γραμμές τάσης 66kV και στις ελαφριές 150 kV, οι αγωγοί διατομής 636 MCM στις βαριές γραμμές 150 kV και οι αγωγοί διατομής 954 MCM στις γραμμές 400kV. Ως διατομή του αγωγού, με την οποία χαρακτηρίζουμε τον ACSR αγωγό αναφερόμαστε στη διατομή του αλουμινίου των αγωγών.



Εικόνα 4.6 ACSR αγωγός

Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί και χρησιμοποιούνται αγωγοί από κράματα αλουμινίου με άλλα μέταλλα, όπως είναι το μαγνήσιο και το πυρίτιο. Βασικό προτέρημα αυτών των αγωγών είναι η υψηλή τους μηχανική αντοχή, προκειμένου να είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στις μηχανικές ανάγκες της γραμμής μεταφοράς χωρίς να υπάρχει ενίσχυση από χάλυβα, η αγωγιμότητά τους όμως είναι στο ίδιο επίπεδο με αυτή των αλουμινένιων αγωγών. Ένα άλλο προτέρημα των

αγωγών από κράματα αλουμινίου είναι το γεγονός πως το υλικό τους είναι ομοιογενές αποτρέποντας έτσι τον κίνδυνο εμφάνισης ηλεκτρολυτικών διαβρώσεων, φαινόμενο αρκετά συχνό όταν συνυπάρχουν δυο διαφορετικά είδη μετάλλων, όπως είναι για παράδειγμα το αλουμίνιο και ο χάλυβας στους αγωγούς ACSR. Επίσης, οι συνδέσεις μεταξύ των γραμμών αλλά και ο τερματισμός τους γίνεται με αυτό το είδος των αγωγών αρκετά πιο απλός. Στις γραμμές μέσης τάσης χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα αυτός ο τύπος αγωγών.



Εικόνα 4.7 Αγωγός κράματος αλουμινίου

Στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης το ηλεκτροστατικό πεδίο που έχει αναπτυχθεί πάνω στην επιφάνεια του αγωγού είναι πιθανό η έντασή του να γίνει τόσο ισχυρή ώστε να προκληθεί διάσπαση του αέρα που βρίσκεται γύρω από τον αγωγό. Το φαινόμενο της διάσπασης του αέρα καλείται “corona” και όταν συμβαίνει κάνει πολύ θόρυβο, ο οποίος δίνει την αίσθηση του τριγμού και η έντασή του είναι τέτοια που γίνεται αισθητός αρκετές φορές κοντά στις γραμμές μεταφοράς ή στους υποσταθμούς υψηλής τάσης. Το φαινόμενο corona οδηγεί σε απώλειες όσον αφορά την ενέργεια και σε ταλαντώσεις υψηλών συχνοτήτων, οι οποίες είναι πιθανό να δημιουργούν προβλήματα σε κοντινές εγκαταστάσεις ή σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Σκοπός είναι να αποτρέπεται ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιείται η εμφάνιση φαινομένων corona.

Ένας τρόπος να περιορίσουμε την εμφάνιση των φαινομένων corona είναι να μειώσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, και αυτό μπορούμε να το πετύχουμε αυξάνοντας την ακτίνα καμπυλότητας όλων των εκτεθειμένων αγωγίμων επιφανειών, αφού για συγκεκριμένη τάση το ηλεκτρικό πεδίο είναι ανάλογο της γεωμετρίας των αγωγών. Στις γραμμές μεταφοράς αυτό το καταφέρνουμε χρησιμοποιώντας αγωγούς που έχουν μεγάλες διαμέτρους και για κάθε επίπεδο τάσης λειτουργίας βρίσκουμε ποια είναι μικρότερη τιμή της διαμέτρου με την οποία μπορούμε να αποτρέψουμε την εμφάνιση φαινομένων corona. Για μικρές τιμές τάσης το απαραίτητο μέγεθος του αγωγού λαμβάνοντας υπόψη τη μηχανική αντοχή και τη δυνατότητα φόρτισης είναι μεγαλύτερο τις περισσότερες φορές από την ελάχιστη τιμή της διατομής. Για μεγαλύτερες τιμές τάσης, αυτές που είναι προσεγγιστικά μεγαλύτερες από 110 kV, η ελάχιστη τιμή της διατομής του αγωγού ορίζεται συνήθως από τους περιορισμούς της corona σε τιμή μεγαλύτερη από εκείνη την οποία απαιτούν οι άλλες συνθήκες. Οι αλουμινένιοι αγωγοί τύπου ACSR, των οποίων η διάμετρος είναι πιο μεγάλη για

συγκεκριμένη τιμή αγωγιμότητας και αντοχής σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς, έχουν καλύτερη απόδοση απέναντι στα φαινόμενα corona σε σχέση με τους χάλκινους αγωγούς. Για να αποφευχθεί η εμφάνιση των φαινομένων corona στους χάλκινους αγωγούς σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν οι γνωστοί και ως κοίλοι χάλκινοι αγωγοί, των οποίων η διάμετρος είναι μεγαλύτερη για συγκεκριμένη τιμή αγωγιμότητας και αντοχής. Οι συγκεκριμένοι χάλκινοι αγωγοί περιλαμβάνουν κυκλικούς ή πεπλατυσμένους κλώνους οι οποίοι έχουν διαταχθεί στην περιφέρεια κύκλου, του οποίου το εσωτερικό είναι άδειο, κάνοντας τους αγωγούς να έχουν δομή σωληνωτή.



Εικόνα 4.8 Κοίλοι αγωγοί χαλκού

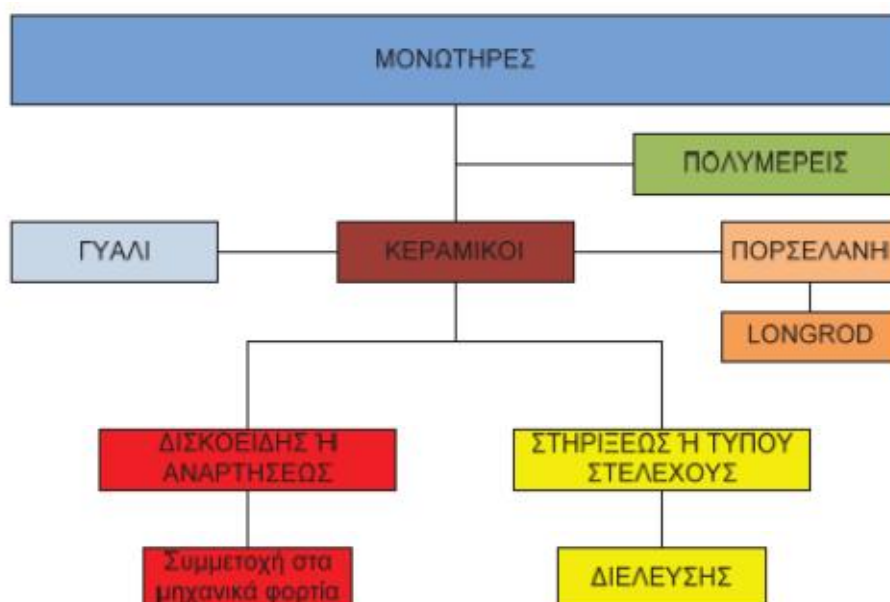
Ωστόσο η αποφυγή εμφάνισης φαινομένων corona σε γραμμές μεταφοράς υψηλών τάσεων με χρήση αγωγών με μεγαλύτερη διάμετρο είναι αρκετά κοστοβόρα γι' αυτό και συνήθως υιοθετείται η μέθοδος των πολλαπλών αγωγών ανά φάση η οποία έχει περισσότερα προτερήματα. Συγκεκριμένα, με τη μέθοδο αυτή σε κάθε φάση της γραμμής μεταφοράς τοποθετούνται δύο, τρεις, τέσσερις ή και ακόμα περισσότεροι αγωγοί οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους κατάλληλη απόσταση, και το σύνολο των διατομών των συγκεκριμένων αγωγών συνιστά τη συνολική διατομή του πολλαπλού αγωγού. Χρησιμοποιώντας πολλούς αγωγούς ανά φάση μειώνουμε δραματικά την επιφανειακή ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε καθέναν από αυτούς τους αγωγούς, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η εμφάνιση φαινομένων corona αλλά και να αποφεύγονται οι επιπτώσεις των φαινομένων αυτών. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ελαττώνεται κυρίως επειδή το ηλεκτρικό φορτίο κατανέμεται ισομερώς, και αναλογεί σε συγκεκριμένη τάση, στον καθέναν από τους αγωγούς. Στις γραμμές μεταφοράς των 150 kV στην Ελλάδα η ΔΕΗ χρησιμοποιεί απλούς αγωγούς, ενώ στις γραμμές 400 kV χρησιμοποιεί δύο αγωγούς ανά φάση, ο καθένας από τους οποίους έχει διατομή 954 MCM.

Οι αγωγοί γης, σε φυσιολογικές συνθήκες δεν διαρρέονται από ρεύμα και είναι κατασκευασμένοι ως επί το πλείστον από χάλυβα. Περιέχουν συνεστραμμένους κλώνους. Όταν συμβαίνουν μονοφασικά ή διφασικά βραχυκυκλώματα προς τη γη οι αγωγοί γης διαρρέονται από ρεύματα βιομηχανικής συχνότητας ενώ όταν πλήττονται από κεραυνό οι αγωγοί γης διαρρέονται από κρουστικά ρεύματα. Ωστόσο, τα ρεύματα αυτά διαρκούν τόσο λίγο που η ικανότητα φόρτισης των αγωγών από χάλυβα να είναι αρκετή για τα ρεύματα αυτά. Στην περίπτωση, όμως που είναι απαραίτητο η αγωγιμότητα των αγωγών γης να είναι αρκετά ισχυρή, χρησιμοποιούνται αλουμινένιοι αγωγοί οι οποίοι είναι ενισχυμένοι με χάλυβα. Στην

Ελλάδα στις γραμμές μεταφοράς γίνεται χρήση αγωγών γης οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα και έχουν διάμετρο 9.4 mm στις γραμμές των 150 kV και 12.6 mm στις γραμμές των 400 kV. [6]

4.3.4 Μονωτήρες

Στις εναέριες γραμμές μεταφοράς γίνεται χρήση μονωτήρων προκειμένου να αναρτηθούν οι αγωγοί στους πυλώνες και στην πράξη μονώνουν ηλεκτρικά τα μεταλλικά στοιχεία που έχουν οι αγωγοί στις συνδέσεις τους. Μια τέτοια μονάδα μονωτήρων συνίσταται από σειρά μονωτήρων (αλύσεις μονωτήρων) και όσο πιο υψηλές οι τάσεις, τόσο περισσότεροι μονωτήρες συνδέονται στη σειρά. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μονωτήρων και κατάλληλη επιλογή τύπου γίνεται με βάση το επίπεδο της τάσης και τις ανάγκες των μηχανικών τάσεων. Οι τύποι των μονωτήρων που υπάρχουν φαίνονται στο Σχήμα 4.4.

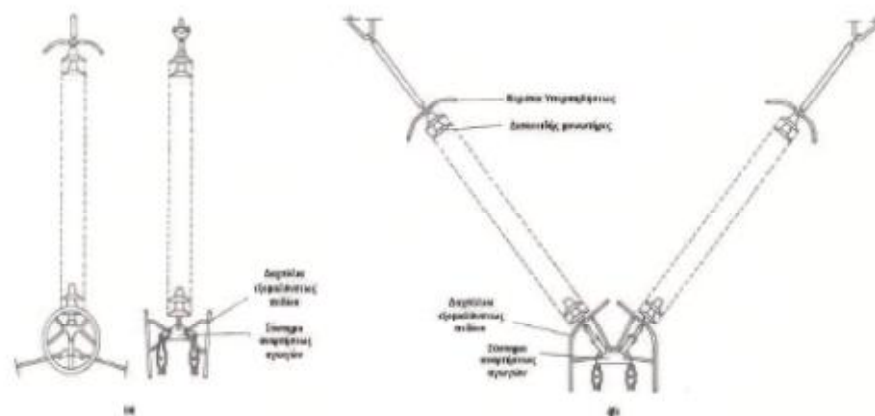


Σχήμα 4.4 Τύποι μονωτήρων

Η κατηγοριοποίηση των μονωτήρων γίνεται με βάση το υλικό κατασκευής τους. Ο πρώτος διαχωρισμός γίνεται βάσει του αν ο μονωτήρας είναι κεραμικός ή όχι. Παρόλο που οι κεραμικοί μονωτήρες αποτελούν τον κλασικό τύπο μονωτήρων, πλέον κατασκευάζονται μονωτήρες από πολυμερή υλικά καθώς αυτά προσφέρουν στον μονωτήρα σημαντικές ιδιαιτερότητες. Ωστόσο, στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κατά κόρον οι κεραμικοί μονωτήρες. Οι κεραμικοί μονωτήρες είναι δυνατόν να κατασκευαστούν είτε από γυαλί είτε από πορσελάνη. Στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται χρήση δύο ειδών μονωτήρων, οι μονωτήρες στήριξης και οι μονωτήρες ανάρτησης. Επίσης υπάρχουν και οι μονωτήρες διελεύσεως και οι μονωτήρες longrod.

Οι μονωτήρες ανάρτησης, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε γραμμές τάσης υψηλότερης των 66 kV αλλά σε κάποιες ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και

σε γραμμές μέσης τάσης. Οι μονωτήρες ανάρτησης ονομάζονται και μονωτήρες αλύσεις ή αλύσεις μονωτήρων και συνίστανται από μια σειρά ίδιων μονωτήρων με δισκοειδή σχήμα που έχουν συνδεθεί σε σειρά. Στο Σχήμα 4.5 φαίνονται ένας κατακόρυφος μονωτήρας απλής ανάρτησης και ένας μονωτήρας διπλής ανάρτησης τύπου V.



Σχήμα 4.5 Μονωτήρες ανάρτησης

Η άλυση πραγματοποιείται μέσω ενός δισκοειδούς μονωτήρα, ο οποίος αποτελείται από δίσκο από πορσελάνη ή γυαλί και έχει κεφαλή κατασκευασμένη από χάλυβα, η οποία μάλιστα έχει προσαρμοστεί στο επάνω μέρος ενώ στο κάτω μέρος προεξέχει ένα καρφί από χάλυβα. Οι διαδοχικοί δίσκοι για να αποτελέσουν την άλυση συνδέονται μεταξύ τους τοποθετώντας το καρφί κάθε δίσκου στην υποδοχή της κεφαλής του επόμενου, που αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος που βρίσκεται εκεί.

Ένα συνηθισμένος μονωτήρας δισκοειδούς σχήματος, χρήση του οποίου γίνεται στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, έχει διάμετρο 254mm και ύψος 146mm, όπου ως ύψος του δίσκου νοείται η απόσταση μεταξύ αντίστοιχων σημείων δύο διαδοχικών δίσκων της αλύσεως. Αυτού του τύπου μονωτήρες χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ σε γραμμές μεταφοράς 150 kV ενώ οι μονωτήρες με διάμετρο 280mm και ύψος 170mm χρησιμοποιούνται σε γραμμές μεταφοράς 400 kV. Υπάρχουν πάρα πολλά είδη μονωτήρων με δισκοειδές σχήμα καθένα από τα οποία έχει διαφορετική αντοχή σε μηχανικές τάσεις και ανάλογα με τον τύπο της γραμμής μεταφοράς επιλέγεται ο κατάλληλος μονωτήρας. Ο αριθμός των δίσκων που χρησιμοποιούνται σε κάθε μονωτήρα είναι ανάλογος της τάσεως της γραμμής μεταφοράς και της επιδιωκόμενης μόνωσης της γραμμής, δηλαδή της επιδιωκόμενης αντοχής σε κρουστικές τάσεις. Σε φυσιολογικές συνθήκες είναι μεταξύ 10 έως 25 kV τάση ανά μονάδα μονωτήρα. Στην Ελλάδα, συνήθως, χρησιμοποιούνται στις γραμμές των 150 kV δέκα δίσκοι με μέγεθος 250x146 mm, ενώ στις γραμμές των 400 kV χρησιμοποιούνται δεκαεννέα δίσκοι με μέγεθος 280x170mm, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι είτε από πορσελάνη είτε από γυαλί.

Οι αγωγοί στους μονωτήρες ανάρτησης συνδέονται με ειδικές διατάξεις πρόσδεσης, όπου βασικό μέλημα είναι να αποφεύγεται ο σχηματισμός απότομων

κάμψεων των αγωγών στα συγκεκριμένα σημεία. Η αποφυγή των απότομων κάμψεων είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφευχθεί η πρόκληση βλαβών στους αγωγούς από μηχανικές ταλαντώσεις λόγω ανέμων ή πάγου.

Οι μονωτήρες στήριξης είναι κατάλληλοι για γραμμές διανομής μέσης τάσης και συνίστανται από περισσότερες από μία πτυχές από πορσελάνη ή γυαλί. Στο κάτω μέρος τους οι μονωτήρες στήριξης έχουν ένα μεταλλικό στέλεχος από το οποίο στηρίζεται ο μονωτήρας στο στύλο, ενώ η πρόσδεση του αγωγού γίνεται στην κεφαλή του μονωτήρα, όπου σε αυτό το σημείο συνήθως υπάρχει και το κατάλληλο αυλάκι εσοχή.

Η ΔΕΗ χρησιμοποιεί αυτό τον τύπο μονωτήρων στα δίκτυα διανομής 6.6-15-20 και 22 kV. Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται ο κλασικός τύπος μονωτήρα στήριξης.



Σχήμα 4.6 Μονωτήρας στήριξης

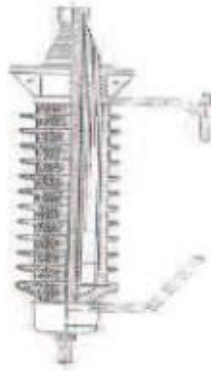
Αυτός ο τύπος μονωτήρα δεν είναι κατασκευασμένος για να αντέχει μηχανικά φορτία, είναι σχεδιασμένος απλά και μόνο για να λειτουργεί ως μονωτήρα στήριξης, όπως υποδηλώνει και το όνομά του.

Οι μονωτήρες τύπου Longrod είναι κατασκευασμένοι από πορσελάνη και είναι παραπλήσιος με το μονωτήρα στήριξης, με τη διαφορά ότι ζυγίζουν λιγότερο και λειτουργούν ως μονωτήρες ανάρτησης. Το σημαντικότερο προτέρημα αυτού του τύπου μονωτήρων είναι ότι τα μεταλλικά στοιχεία τους είναι τοποθετημένα στα άκρα του μονωτήρα. Αυτοί οι μονωτήρες διαφοροποιούνται ως προς το ότι έχουν πιο μεγάλο μήκος, κάνοντας τους κατάλληλους για χρήση στην ανά φάση μόνωση μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τις ταλαντώσεις στις γραμμές μεταφοράς όταν υπάρχουν δυνατοί άνεμοι. Στο Σχήμα 4.7 απεικονίζονται δύο σχήματα των μονωτήρων τύπου Longrod.



Σχήμα 4.7 Μονωτήρας τύπου Longrod

Οι μονωτήρες διέλευσης σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν για να επιτρέπουν ένας αγωγός υψηλής τάσης να περνά μέσα από ένα γειωμένο (ή σε άλλο δυναμικό) φράγμα. Είναι κατασκευασμένοι συνήθως από πορσελίανη. Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται ένας μονωτήρας διέλευσης.



Σχήμα 4.8 Μονωτήρας διέλευσης

Οι μονωτήρες τύπου shackle χρησιμοποιούνται για να αλλάζουν κατεύθυνση στη γραμμή καθώς προσφέρουν μηχανική στήριξη. Η κατασκευή τους αντέχει χαμηλές τάσεις.



Σχήμα 4.9 Μονωτήρας τύπου shackle

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι μονωτήρες κατασκευάζονται είτε από πορσελίανη είτε από γυαλί είτε από πολυμερή υλικά. Τα πολυμερή υλικά είναι συνήθως συνδυασμός υαλοβάμβακα, πλαστικού και κάποιας ρητίνης όπως επίσης και

ελαστικών σιλικόνης. Προκειμένου να γίνει σωστή σχεδίαση ενός μονωτήρα λαμβάνονται υπόψη αρκετές παράμετροι καθώς οι ανάγκες είναι αρκετές αλλά και οι καταπονήσεις που θα υποστεί. Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν τη σχεδίαση των μονωτήρων είναι η ηλεκτρική μόνωση που πρέπει να έχουν αλλά και η ανθεκτικότητά τους σε μηχανικές τάσεις λαμβάνοντας υπόψη και τα καιρικά φορτία. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν υψηλή μόνωση και οι επιφάνειες των μονωτήρων είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε σε περίπτωση βροχοπτώσεων να μην είναι δυνατή η συνεχόμενη ροή νερού. Στους πορσελάνινους μονωτήρες γίνεται στίλβωση και με αυτόν τον τρόπο οι μονωτήρες δεν έχουν τραχείς επιφάνειες και ανισότητες. Οι γυάλινοι μονωτήρες είναι απαραίτητο να μην έχουν φυσαλίδες στο εσωτερικό τους, καθώς οι φυσαλίδες επιτρέπουν μερική διάσπαση και αυξάνουν τον κίνδυνο αστοχίας και καταστροφής του μονωτήρα. Επιπλέον, ανάλογα με την ανθεκτικότητα του χρησιμοποιούμενου υλικού επιλέγονται και οι αντίστοιχες αποστάσεις μεταξύ των ζεύξεων του μονωτήρα.

Στις χώρες που ακολουθούν τα πρότυπα IEC οι μονωτήρες πορσελάνης υπόκεινται σε δυο ειδών δοκιμές. Στην πρώτη δοκιμή γίνεται έλεγχος της ηλεκτρικής τους αντοχής ενώ στη δεύτερη δοκιμή γίνεται έλεγχος της ηλεκτρικής τους αντοχής σε συνδυασμό με τη μηχανική τους αντοχή. Στους μονωτήρες που είναι κατασκευασμένοι από πολυμερή υλικά κάνουν πολύ περισσότερες δοκιμές. Οι μονωτήρες από πολυμερή υλικά έχουν υδρόφοβη επιφάνεια η οποία τους παρέχει αναβαθμισμένη συμπεριφορά σε περιβάλλον ρύπανσης και έχουν μικρό βάρος γεγονός που καθιστά εύκολη την εγκατάσταση και συντήρησή τους. Παρουσιάζουν όμως ως μειονέκτημα το γεγονός ότι έχουν μικρή διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τους κεραμικούς μονωτήρες.

Οι μονωτήρες είναι πιθανό να παρουσιάσουν κάποιες αστοχίες. Οι αστοχίες αυτές μπορεί να είναι:

- διάτρηση: εντός του διηλεκτρικού συμβαίνει διάσπαση. Η διάτρηση συμβαίνει συνήθως όταν καταπονείται ο μονωτήρας από κρουστικές τάσεις. Διάτρηση είναι πιθανό να εμφανιστεί και όταν οι μονωτήρες δεν είναι κατασκευασμένοι από κεραμικά υλικά
- θρυμματισμός: αυτή η αστοχία συμβαίνει συνήθως σε μονωτήρες που είναι κατασκευασμένοι από γυαλί, και είναι αποτέλεσμα καταπόνησης από ένα ηλεκτρικός τόξο ή αποτέλεσμα βανδαλισμού. Το μονωτικό υλικό θρυμματίζεται, αλλά η μηχανική ακεραιότητά τους διατηρείται
- επιφανειακή διάβρωση: παρατεταμένη επιφανειακή δραστηριότητα είναι πιθανό να έχει ως αποτέλεσμα επιφανειακή διάβρωση μονωτήρων από γυαλί, καταστρέφοντας έτσι μέρος της επιφάνειας ή και ολόκληρο το μονωτήρα. Όταν οι μονωτήρες είναι συνθετικοί υπάρχει το ενδεχόμενο να συμβεί επιφανειακή διάβρωση η οποία θα επιφέρει αποκάλυψη του πυρήνα
- διάβρωση: εκτός από τη διάβρωση στο μονωτικό υλικό του μονωτήρα μπορεί να υποστούν διάβρωση και τα μεταλλικά μέρη του, είτε λόγω περιβαλλοντολογικών

συνθηκών είτε λόγω του ρεύματος διαρροής που κάνει την εμφάνισή του σε συνθήκες ρύπανσης

- φαινόμενο tracking: κατά την εμφάνιση του φαινομένου αυτού σχηματίζονται αγωγίμες διαδρομές στην επιφάνεια ενός μονωτήρα. Εμφανίζεται κυρίως σε μονωτήρες που είναι κατασκευασμένοι από πολυμερή υλικά και περιέχουν άνθρακα, ως αποτέλεσμα της ηλεκτρικής επιφανειακής δραστηριότητας

- φαινόμενο brittle-fracture: το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε μονωτήρες που δεν είναι κατασκευασμένοι από κεραμικά υλικά όταν αποκαλύπτεται ο πυρήνας και εισχωρεί υγρασία ενώ υπάρχει ηλεκτρική δραστηριότητα. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σπάσει ο πυρήνας και επομένως ο μονωτήρας να χάσει τη μηχανική του αντοχή. [6]

4.4 Υποσταθμοί υποβιβασμού τάσης 150/20kV

Ανάλογα με την απόσταση μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει και η ανάλογη πτώση τάσης του ρεύματος, απώλειες ισχύος και κόστος ενέργειας. Επομένως, μια συγκεκριμένη τιμή τάσης είναι δυνατόν να τροφοδοτήσει καταναλωτές που βρίσκονται εντός συγκεκριμένης απόστασης. Στην περίπτωση που θέλουμε να εξυπηρετήσουμε καταναλωτές εκτός της συγκεκριμένης απόστασης πρέπει να μεγαλώσουμε τις διατομές των γραμμών, γεγονός που καθιστά κοστοβόρα την κατασκευή. Στην Ελλάδα έχει οριστεί ως τάση μεταφοράς τα 400 kV, 150 kV και σε παλιότερες γραμμές τα 20 kV ή 15 kV. Ο υποσταθμός υποβιβασμού τάσης 150/20 kV είναι δυνατόν να κατασκευαστεί για τρεις λόγους. Είτε επειδή θέλουμε να προστατέψουμε το δίκτυο των γραμμών, είτε επειδή η μέση τάση των 20 kV καθίσταται αντιοικονομική σε απόσταση μεγαλύτερη των 70km είτε αν προκύψει μεγάλος καταναλωτής (π.χ. μεγάλο εργοστάσιο) ακόμα και εντός της απόστασης των 70km. Η τοποθεσία κατασκευής του υποσταθμού προκύπτει από μελέτη που εκπονείται από τη διεύθυνση προγραμματισμού και λαμβάνει υπ' όψιν τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους και με βάση τις απαιτήσεις του συστήματος διανομής. Ως επί το πλείστον οι υποσταθμοί στην Ελλάδα είναι υπαίθριοι και είναι εγκατεστημένοι σε μη αστικές περιοχές λόγω του ότι αφενός η γη έχει μικρότερο κόστος και αφετέρου επειδή ο κίνδυνος για τους καταναλωτές από τον υποσταθμό και από τις γραμμές υψηλής τάσης που φτάνουν μέχρι εκεί είναι μικρότερος.

Οι υποσταθμοί στην Ελλάδα που όπως αναφέρθηκε είναι συνήθως υπαίθριου τύπου έχουν ένα κτίριο ελέγχου στο οποίο είναι τοποθετημένος όλος εκείνος ο εξοπλισμός ο οποίος δεν είναι δυνατόν να λειτουργεί σε υπαίθριο χώρο. Συνήθως η γραμμή των 150 kV περνάει από τον υποσταθμό τον οποίο τροφοδοτεί και ξαναφεύγει. Στα σημεία εισόδου και εξόδου της γραμμής είναι τοποθετημένοι αποζεύκτες 150 kV οι οποίοι λειτουργούν χειροκίνητα με γειωτές προκειμένου να απομονώνουν πλήρως τον υποσταθμό. Το ρεύμα φτάνει στους ζυγούς των 150 kV οι οποίοι αποτελούνται από σωλήνες χαλκού ή από αγωγούς οι οποίοι μοιράζουν το ρεύμα στον υποσταθμό. Ένας υποσταθμός δύναται να έχει μια Πύλη ή Κυψέλη μετασχηματιστή ισχύος ή ακόμα και περισσότερες. Αυτοί οι μετασχηματιστές

αποτελούν το πιο βασικό και ακριβό μέρος του εξοπλισμού του υποσταθμού και μετασχηματίζουν την τάση από 150 kV σε 20 kV (ή 15 kV). Επομένως, υπάρχουν αρκετά συστήματα τα οποία προστατεύουν αυτούς τους μετασχηματιστές απομονώνοντας τους όταν λειτουργούν. Πιο αναλυτικά, για να προστατευθούν οι μετασχηματιστές στην πλευρά των 150 kV του μετασχηματιστή είναι συνδεδεμένος ηλεκτροκίνητος αποζεύκτης και αυτόματος διακόπτης 150 kV. Αντίστοιχα στην πλευρά των 20 kV του μετασχηματιστή είναι συνδεδεμένος αυτόματος διακόπτης 20 kV. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αυτόματων διακοπών αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται ελαιοδιακόπτες, αεριοδιακόπτες ή διακόπτες πτωχού ελαίου. Οι διακόπτες αυτοί λειτουργούν χειροκίνητα αλλά και αυτόματα καθώς έχουν τη δυνατότητα να ανοίγουν ή να κλείνουν ύστερα από εντολή που θα τους δώσει το ρελαί προστασίας.

Στους υποσταθμούς 150/20 kV υπάρχουν υπάλληλοι των οποίων αρμοδιότητα είναι να επιτηρούν τον υποσταθμό είτε κάνοντας τους απαραίτητους χειρισμούς όταν χρειάζεται είτε καταγράφοντας τις μετρήσεις των οργάνων. Οι διακόπτες 150 kV και 20 kV είναι διακόπτες ισχύος και η ισχύς διακοπής τους ξεπερνά κατά πολύ το κανονικό φορτίο. Αυτό συμβαίνει διότι όταν οι διακόπτες λάβουν εντολή από τους ηλεκτρονόμους προστασίας να διακόψουν το κύκλωμα εκείνη τη στιγμή θα έχει συμβεί βραχυκύκλωμα στο φορτίο. Μία από τις αρμοδιότητες της διεύθυνσης προγραμματισμού είναι να μελετά και να καταγράφει τις τιμές των ρευμάτων όταν συμβαίνει βραχυκύκλωμα. Οι γραμμές των 20 kV που αναχωρούν αποτελούνται από έναν διακόπτη 20 kV και τρεις αποζεύκτες των 20 kV. Οι δύο αποζεύκτες βρίσκονται ένας από τη μία πλευρά και ο άλλος από την άλλη του διακόπτη ενώ ο τρίτος αποζεύκτης χρησιμοποιείται για να συνδεθεί το τμήμα της γραμμής που αναχωρεί στους βοηθητικούς ζυγούς των 20 kV.

Όλα τα στοιχεία του εξοπλισμού και τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις και τις τηλεπικοινωνίες είναι στηριγμένα ή ενωμένα με ειδικές σιδερένιες κατασκευές οι οποίες αποτελούνται από δικτυώματα τα οποία έχουν κατασκευαστεί από ελάσματα. Αντίθετα η μεταφορά του ρεύματος προς τη διανομή πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ειδικές μπάρες χαλκού. Στο κτίριο ελέγχου του υποσταθμού βρίσκονται οι υπάλληλοι του υποσταθμού, τα όργανα που χρησιμοποιούνται για να γίνονται μετρήσεις, τα ρελαί προστασίας και τα βοηθητικά ρελαί, τα όργανα για να γίνονται απομακρυσμένοι χειρισμοί και οι βοηθητικές παροχές.

Οι υποσταθμοί YT/MT, οι οποίοι τροφοδοτούν τα δίκτυα MT, είναι απαραίτητο να είναι σωστά διαμορφωμένα προκειμένου να λειτουργεί σωστά το δίκτυο διανομής. Οι υποσταθμοί συνδέονται μεταξύ τους με τους ζυγούς. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ζυγών και ενδέχεται να συνδεθούν είτε με απλό τρόπο είτε με πολύπλοκο.

Οι υποσταθμοί που είναι εγκατεστημένοι σε κλειστό χώρο καταλαμβάνουν αρκετά μικρότερη έκταση σε σχέση με αυτούς που είναι εγκατεστημένοι σε ανοιχτό χώρο. Παρόλα αυτά όταν οι υποσταθμοί YT/MT είναι κατασκευασμένοι εντός

αστικής περιοχής πρέπει να καταλαμβάνουν όσο το δυνατόν λιγότερο χώρο με αποτέλεσμα να έχει αναπτυχθεί εξοπλισμός ΥΤ ο οποίος δεν μονώνεται αξιοποιώντας τον αέρα αλλά αέριο υπό πίεση (SF6) ή και στερεά μονωτικά.

Ο υποτομέας προμελετών με βάση τα απαιτούμενα της «μελέτης αναπτύξεως του συστήματος μεταφοράς» που συντάσσει η διεύθυνση προγραμματισμού, καθορίζει τη διάταξη του υποσταθμού. Όλα τα χρησιμοποιούμενα υλικά αναφέρονται σε πίνακες υπαίθριου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Υπάρχουν κάποιοι βασικοί κανόνες που πρέπει να τηρούνται ως προς τη χρήση του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και αυτοί είναι οι εξής:

- οι αποζεύκτες των γραμμών 150 kV λειτουργούν πάντα χειροκίνητα με γειωτές. Η τοποθεσία εγκατάστασής τους ορίζεται με βάση τη διάταξη του υποσταθμού και αναλόγως επιλέγουμε και τον απαραίτητο τύπο αποζεύκτη
- οι αποζεύκτες 150 kV των πυλών των μετασχηματιστών λειτουργούν ηλεκτροκίνητα. Η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασής τους και του τύπου τους γίνεται όπως περιγράφηκε για τους προηγούμενους. Ο συγκεκριμένος αποζεύκτης αλληλοασφαλίζεται με το διακόπτη των 150 kV έτσι ώστε να μην είναι δυνατόν να ανοίξει αν δεν έχει ανοίξει πρώτα ο διακόπτης των 150 kV
- προκειμένου να αποζευκτούν οι μετασχηματιστές ισχύος γίνεται χρήση διακοπών 150 kV στην πλευρά των 150 kV, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των οποίων επιλέγονται όπως αναφέρθηκε στην πρώτη περίπτωση
- στην πύλη του μετασχηματιστή, από την πλευρά των 20 kV είναι εγκατεστημένος διακόπτης 20 kV, 1200 A ο οποίος καλείται κεντρικός διακόπτης της πύλης του μετασχηματιστή. Η εγκατάσταση του κεντρικού διακόπτη επιβάλλεται στην περίπτωση που είναι εγκατεστημένο στην πλευρά υψηλής τάσης έμβολο τεχνητού σφάλματος. Οι διακόπτες των 20 kV διακρίνονται τόσο για την ονομαστική τους ένταση όσο και για τους μετασχηματιστές εντάσεως που έχουν στους πόλους τους. Στους κεντρικούς διακόπτες οι σχέσεις των μετασχηματιστών εντάσεως δεν διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο καθώς δεν χρησιμοποιούνται, γι' αυτό άλλωστε και βραχυκυκλώνονται, εκτός βέβαια και αν υπάρχει διαφορική προστασία ζυγών
- στην περίπτωση που σε έναν υποσταθμό υπάρχουν δυο πύλες μετασχηματιστών 150/20 kV, οι κύριοι ζυγοί των 20 kV είναι χωρισμένοι με έναν διασυνδεδετικό διακόπτη 20 kV, 2000 A. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να τροφοδοτούνται τα φορτία του υποσταθμού ταυτόχρονα και από τους δυο μετασχηματιστές όταν αυτοί έχουν τη δυνατότητα να δουλεύουν ταυτόχρονα. Εάν οι μετασχηματιστές είναι 40/50 MVA ο διασυνδεδετικός διακόπτης παραμένει ανοιχτός σε κατάσταση ομαλής λειτουργίας, καθώς είναι αδύνατον να δουλέψουν ταυτόχρονα αυτοί οι μετασχηματιστές. Ο διασυνδεδετικός διακόπτης είναι δυνατόν να κλείσει μόνο στην περίπτωση που ένας από τους μετασχηματιστές 40/50 MVA λειτουργεί, και αυτός ο

μετασχηματιστής τροφοδοτεί όσα φορτία του υποσταθμού μπορεί. Οι μετασχηματιστές εντάσεως του διασυνδεδετικού διακόπτη πρέπει να έχουν σχέση 950/0.58 A για τα 15 kV, 720/0.58 A για τα 20 kV και 400/1 A στην περίπτωση που είναι εγκατεστημένη διαφορική προστασία ζυγών.

- μία πύλη των 20 kV (ή 15 kV) αποτελείται από έναν διακόπτη 20 kV (ή 15 kV) και από τρεις αποζεύκτες 20 kV (ή 15 kV) μέσω των οποίων συνδέεται η πύλη στους ζυγούς μεταγωγής. Οι διακόπτες 20 kV που χρησιμοποιούνται είναι 1200 A, 500 MVA και οι μετασχηματιστές εντάσεως έχουν σχέση 950/0.58 A για τα 15 kV, 720/0.58 A για τα 20 kV και 600-400-200/5 A ή 400/1 και 600-400-200/5 A στην περίπτωση που είναι εγκατεστημένη διαφορική προστασία ζυγών.

- οι μετασχηματιστές ισχύος 150/20 kV (ή 15 kV) έχουν μέγεθος 40/50MVA και προέρχονται από πολλούς κατασκευαστές. Οι νέες παραγγελίες περιλαμβάνουν μετασχηματιστές των δυο τελευταίων μεγεθών οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την τάση αυτόματα. Από τους μετασχηματιστές αυτούς είναι αδύνατον να δουλέψουν παράλληλα οι 40/50 MVA καθώς το σφάλμα που θα προκύψει στην περίπτωση ταυτόχρονης λειτουργίας ο υπόλοιπος εξοπλισμός δεν θα το αντέξει. Όλοι οι μετασχηματιστές έχουν πόλους υψηλής τάσεως μετασχηματιστή εντάσεως που χρησιμοποιούνται για τη διαφορική προστασία του μετασχηματιστή. Η εσωτερική προστασία του μετασχηματιστή είναι σχεδόν ίδια σε όλους και εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τον κατασκευαστή.

- ως βοηθητικός εξοπλισμός χρησιμοποιούνται επιπλέον:
 - Ø τρία αλεξικέραυνα στο δευτερεύον του μετασχηματιστή
 - Ø δύο μετασχηματιστές τάσεως 20-15 kV / 100 V οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε ανοικτό τρίγωνο και χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις
 - Ø τρεις μετασχηματιστές εντάσεως με σχέση 1000-500/5-5 A για μετασχηματιστή 20/25MVA, 2000-1000/5-5 A για μετασχηματιστές 40/50 MVA που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις αυτοί με τύλιγμα κλάσεως 0.5820 και στην προστασία αυτοί με τύλιγμα κλάσεως 5820
 - Ø μετασχηματιστής εσωτερικής υπηρεσίας 75 kVA για να τροφοδοτεί τα βοηθητικά κυκλώματα του υποσταθμού
 - Ø πυκνωτής ζεύξεως και κυματοπαγίδα που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες

Στους υποσταθμούς μεταφοράς υπάρχουν τα εξής κυκλώματα:

- υψηλής τάσης (150 kV) ή υπερυψηλής τάσης (380 kV) εναλλασσόμενου ρεύματος
- μέσης τάσης 20 kV (στην Αθήνα και στον Πειραιά είναι 22 kV). Στους σταθμούς παραγωγής η τάση αυτή είναι 15 έως 20 kV
- βοηθητικά κυκλώματα του υποσταθμού 220/3 80 εναλλασσόμενου ρεύματος

- βοηθητικά κυκλώματα του υποσταθμού 110 V συνεχούς ρεύματος. Στους σταθμούς παραγωγής είναι 220 V συνεχούς ρεύματος

- βοηθητικά κυκλώματα του υποσταθμού που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις και στη λειτουργία των ηλεκτρονόμων

Σε όλους τους υποσταθμούς υπάρχει ένας ιδιαίτερος μετασχηματιστής εσωτερικής υπηρεσίας ο οποίος ικανοποιεί τις ανάγκες σε εναλλασσόμενο ρεύμα 220/380 V. Οι ανάγκες αυτές μπορεί να είναι:

- ο φωτισμός και οι πρίζες

- η θέρμανση του χώρου χειρισμών

- η λειτουργία των κινητήρων των ανεμιστήρων για την ψύξη των μετασχηματιστών κλπ.

Στην Εικόνα 4.9 απεικονίζεται ένας υποσταθμός υποβιβασμού τάσης από την υψηλή στη μέση τάση (150/20 kV). [5]



Εικόνα 4.9 Υποσταθμός Ρουφ υποβιβασμού τάσης 150/20 kV

4.5 Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Τ.)

Τα κέντρα υπερυψηλής τάσης συνδέουν το σύστημα των 400 kV με το σύστημα των 150 kV και χρησιμοποιούνται στην απομάστευση ισχύος προς το σύστημα των 150 kV. Πρόκειται για δεκατρία κέντρα υπερυψηλής τάσης που διαθέτουν έναν ή περισσότερους αυτομετασχηματιστές με τρία επίπεδα τάσης και τρία κέντρα υπερυψηλής τάσης, τα οποία ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται για να ανυψώνουν την τάση παραγωγής προς το σύστημα 400 kV.

Οι χώρες οι οποίες πραγματοποίησαν σημαντικές μελέτες και έρευνες πάνω στην ανάπτυξη γραμμών υπερυψηλών τάσεων, η ανάπτυξη των βιομηχανιών τους στηριζόταν ως επί το πλείστον στην υδροηλεκτρική ενέργεια. (Σουηδία, Καναδάς). Η Σουηδία είναι η πρώτη χώρα στην Ευρώπη στην οποία τέθηκε σε λειτουργία γραμμή 400 kV. Λόγω της επιτυχίας της συγκεκριμένης γραμμής οι ευρωπαϊκές χώρες καθόρισαν την τάση 380/400 kV προκειμένου να συνδέουν τα δίκτυά τους. Η Ρωσία, καθόρισε την τάση των 500 kV το 1959, και δεν χρησιμοποίησε αυτή των 400 kV. Μια πληθώρα χωρών είχαν στη διάθεσή τους μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητη γι' αυτές τις χώρες η μεταφορά ενέργειας κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων. Ωστόσο, τα προτερήματα σε οικονομικό αλλά και λειτουργικό επίπεδο των ισχυρών δικτύων μεταφοράς οδήγησε στην ιλιγγιώδη ανάπτυξή τους μετά το πέρας του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τάσεις μεταφοράς 765 kV και είναι υπό μελέτη 1000-2000 kV για να τεθούν σε λειτουργία στο μέλλον.

Μια γραμμή μεταφοράς μεταφέρει ισχύ η οποία είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης της γραμμής, με αποτέλεσμα σε περίπτωση υπερυψηλής τάσης η ισχύς που μεταφέρεται είναι πάρα πολύ μεγάλη. Επίσης, η μεταφορά μεγάλης ισχύος που είναι αποτέλεσμα των υπερυψηλών τάσεων έχει λιγότερες απώλειες, με αποτέλεσμα να είναι πιο οικονομική η λειτουργία με τέτοιες τάσεις. Το συνολικό κόστος μεταφοράς της ισχύος εξαρτάται από το κόστος εγκατάστασης της γραμμής, το κόστος των απωλειών και το κόστος συντήρησης της γραμμής. Επομένως προκειμένου να γίνει επιλογή της τιμής της τάσης μεταφοράς λαμβάνονται υπόψη το αρχικό κόστος εγκατάστασης και κατασκευής της γραμμής μαζί με το κόστος λειτουργίας και συντήρησής της. [5]

Στην Εικόνα 4.10 φαίνεται το κέντρο υπερυψηλής τάσης της Λάρισας και οι γραμμές μεταφοράς που ξεκινούν από αυτό:



Εικόνα 4.10 Κέντρο υπερυψηλής τάσης Λάρισας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γ. Β. Γιαννακόπουλος, Ν. Α. Βοβός, “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2008
- [2] Π. Πασχαλίδου, “Συγκριτική Μελέτη των διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας”, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [3] Μ. Μελέτη, “Ατμοηλεκτρικός σταθμός Αμύνταιου”, Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. Καβάλας, Μάρτιος 2013
- [4] <http://megalopolis.gr/> (ανάκτηση την 22/09/2016)
- [5] Δ. Π. Μητροπούλου, “Συγκριτική μελέτη διατάξεων υποσταθμών μεταφοράς Υ.Τ./Μ.Τ. και ΚΥΤ”, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Ιούλιος 2010
- [6] Ι. Χαριτάκης, “Μελέτη γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης σύμφωνα με το πρότυπο IEC-60826”, Πτυχιακή Εργασία, ΑΤΕΙ Κρήτης