

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ
ΠΑΡΚΟΥ

ΔΙΕΛΛΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΑΜ:6999
ΚΟΛΕΥΡΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΑΜ: 7075

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ηλεκτρολογική διασύνδεση ενός αιολικού πάρκου με το δίκτυο μεταφοράς και διανομής.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο που αποτελεί την εισαγωγή, πραγματοποιείται μια αναφορά στην μεταβλητότητα και την προβλεψιμότητα της αιολικής ενέργειας, στην κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα και στην πολιτική της ΕΕ όσον αφορά την προώθηση της αιολικής ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα είδη των ανεμογεννητριών και στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους διαφορετικούς τρόπους διαδύνδεσης των ανεμογεννητριών στο δίκτυο. Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο, όπου παρουσιάζονται τύποι καλωδίων μέσης τάσης και στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την αντικεραυνική προστασία που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις των ανεμογεννητριών καθώς και στο σύστημα γείωσης των ανεμογεννητριών. Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται οι διακόπτες ισχύος και στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται παρουσίαση του υποσταθμού του αιολικού πάρκου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VII
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Μεταβλητότητα και προβλεψιμότητα αιολικής ενέργειας	8
1.2 Η γεωγραφική κατανομή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα	9
1.3 Οι κατασκευαστές	9
1.4 Το πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	11
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	16
2.1 Μέρη ανεμογεννήτριας	16
2.2 Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών.....	19
2.3 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα	21
2.4 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα	22
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	27
3.1 Διασύνδεση ανεμογεννητριών με το δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος.....	27
3.2 Διασύνδεση αιολικών πάρκων μεγάλης ισχύος απευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.....	31
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	34
4.1 Είδη καλωδίων μέσης τάσης.....	34
4.2 Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης	35
4.3 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες.....	37

4.4	Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος.....	39
5	ΚΕΦΑΛΙΟ 5 - ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	41
5.1	Απειλή από κεραυνούς στις ανεμογεννήτριες	41
5.2	Σύστημα γείωσης.....	45
5.2.1	DIN 18014: Ηλεκτρόδιο γείωσης θεμελίωσης.....	45
5.2.2	Σύστημα τερματισμού γης	45
5.3	Ηλεκτρόδια γείωσης θεμελίωσης (περιμετρική ταινία γείωσης)	47
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	51
6.1	Τα μέρη του διακόπτη ισχύος	52
6.2	Αυτόματοι διακόπτες ελαίου	54
6.2.1	Πλεονεκτήματα των διακοπών λαδιού:	55
6.2.2	Μειονεκτήματα των διακοπών λαδιού:	55
6.2.3	Τύποι διακόπτες κυκλώματος λαδιού:	55
6.3	Αυτόματοι διακόπτες «πτωχού» ελαίου	59
6.4	Αυτόματοι διακόπτες αέρα	62
6.4.1	Τύποι αυτόματων διακοπών αέρα	63
6.5	Αυτόματοι διακόπτες εξαφθοριούχου θείου SF ₆	66
6.5.1	Αρχή λειτουργίας του διακόπτη κυκλώματος SF ₆ :	67
6.5.2	Πλεονεκτήματα:.....	67
6.5.3	Διακόπτες SF ₆ Μειονεκτήματα:	68
6.5.4	Εφαρμογές διακοπών κυκλώματος SF ₆	68
6.6	Αυτόματοι διακόπτες κενού.....	68
6.6.1	Αρχή των αυτόματων διακοπών:	69
6.6.2	Κατασκευή διακοπών κενού	69
6.6.3	Πλεονεκτήματα των διακόπτες κυκλώματος κενού:.....	70

7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	71
7.1	Σύστημα μέσης τάσης	72
7.2	Σύστημα υψηλής τάσης	74
7.3	Συστοιχίες πυκνωτών	75
7.4	Βοηθητικές υπηρεσίες.....	76
7.5	Σύστημα ελέγχου, προστασίας και μέτρησης.....	76
7.6	Σύστημα επικοινωνίας	76
7.7	Σύστημα πυροπροστασίας	76
7.8	Διακομιστής SCADA	76
7.9	Τρόποι διασύνδεσης με το υπάρχον δίκτυο	76
7.10	Μετασχηματιστής ισχύος.....	79
7.10.1	Διαφορά μεταξύ μετασχηματιστή ισχύος και μετασχηματιστή διανομής.....	80
7.10.2	Συνδεσμολογία τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ισχύος.....	81
7.10.3	Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού	83
7.10.4	Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης	86
7.10.5	Πυρήνες Μετασχηματιστών.....	89
7.10.6	Απώλειες ισχύος	90
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91
9	ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	91

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1	Η γεωγραφική κατανομή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα	10
Εικόνα 1-2	Προβλεπόμενα σενάρια για τη συνολική δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ	15
Εικόνα 2-1	Ανεμογεννήτριες σε κορυφογραμμή.....	16
Εικόνα 2-2	Τύποι ανεμογεννητριών	20
Εικόνα 2-3	Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα	21
Εικόνα 2-4	Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα	22
Εικόνα 4-1	Καλώδια μέσης τάσης με μόνωση από XLPE α. μονοπολικό τύπου N2XSY β.τριπολικό τύπου 2XSEYFY 1. χάλκινος αγωγός 2. ημιαγώγιμη θωράκιση κάτω και πάνω από τη μόνωση από XLPE 3. μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο 4. πλέγμα από χάλκινα συρματίδια 5. περίβλημα από PVC 6. θώρακας από πεπλατυσμένα ασάλινα συρματίνα	35
Εικόνα 4-2	Τερματισμός και συνδεση καλωδίων σε κυψέλη μέσης τάσης (1)(2)(3) Μονοπολικό πλαστικό θερμοσυστελλόμενο ακροκιβώτιο (4)	36
Εικόνα 4-3	<i>Δέσιμο καλωδίων πάνω στις σχάρες</i>	38
Εικόνα 4-4	Τοποθέτηση καλωδίων στο έδαφος	39
Εικόνα 4-5	Μηχανισμός τοποθέτησης καλωδίων στο έδαφος	40
Εικόνα 5-1	Πλήγμα κεραυνού σε ανεμογεννήτριες.....	41
Εικόνα 5-2	Διαδικασία ενεργοποίησης κεραυνού	42
Εικόνα 5-3	Διαδρομή του κεραυνού μέσα στην ανεμογεννήτρια	43
Εικόνα 5-4	Απαγωγός κεραυνού.....	43
Εικόνα 5-5	Ζημιά από πλήγμα κεραυνού μπορεί να συμβεί στα πτερύγια, στη νασέλα αλλά και στον πύργο.....	44
Εικόνα 5-6	Σύνδεση της γείωσης με την ταινία γείωσης	49
Εικόνα 5-7	Η περιμετρική ταινία στη βάση του οπλισμού	49
Εικόνα 5-8	Σύνδεση της ταινίας γείωσης με το ΣΑΠ	50
Εικόνα 6-1	Διακόπτης ισχύος μέσης τάσης με μόνωση αερίου 1.Ρελέ προστασίας 2. Άξονας για την τοποθέτηση των ελατηρίων κλεισίματος στην χειροκίνητη λειτουργία 3. Μπουτόν κλεισίματος 4.Μπουτόν έναρξης 5. Δείκτης για το κλείσιμο των ελατηρίων (κίτρινο στη φόρτιση και λευκό στην αποφόρτιση) 6. Διάταξη κλειδώματος του χώρου του αερίου SF6 υπό πίεση με σηματοδότηση (συσκευή με	

διακόπτη πίεσης) 7. Διακόπτες σηματοδότησης για συσκευή ανοικτή ή κλειστή 8. Ακροδέκτες μέσης τάσης 9. Αισθητήρας ρεύματος για τη λειτουργία του ρελέ προστασίας 10. Διακόπτες πόλων 11. Κλειδαριά 12. Μετρητής λειτουργίας	54
Εικόνα 6-2 Διακόπτης λαδιού απλής διακοπής.....	57
Εικόνα 6-3 Αυτόματοι διακόπτες «πτωχού» ελαίου.....	61
Εικόνα 6-4 Διακόπτης κυκλώματος αξονικής έκρηξης	64
Εικόνα 6-5 Διακόπτης εγκάρσιας έκρηξης	65
Εικόνα 6-6 Τα μέρη ενός τυπικού διακόπτη SF6	66
Εικόνα 6-7 Αυτόματος διακόπτης κενού	69
Εικόνα 7-1 Σχηματική αναπαράσταση υποσταθμού	71
Εικόνα 7-2 Αποζεύκτης ΥΤ διπλής απόζευξης με γειωτή (Α) και Αποζεύκτης ΥΤ απλής απόζευξης 9B).....	72
Εικόνα 7-3 Διακόπτης ισχύος	72
Εικόνα 7-4 Διακόπτης ισχύος	73
Εικόνα 7-5 Μετασχηματιστής έντασης 170kV	73
Εικόνα 7-6 Μετασχηματιστής τάσης 170kV	74
Εικόνα 7-7 Μετασχηματιστής ισχύος.....	74
Εικόνα 7-8 Μετασχηματιστής ισχύος.....	75
Εικόνα 7-9 Συστοιχίες πυκνωτών	75
Εικόνα 7-10 Μετασχηματιστής ισχύος και μετασχηματιστής διανομής.	80
Εικόνα 7-11 Συμβολισμοί τριφασικού μετασχηματιστή:	82
Εικόνα 7-12 Μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού	83
Εικόνα 7-13 Μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση εποξειδικής χυτορητίνης	87
Εικόνα 7-14 Πυρήνες μετασχηματιστών	89

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1 Τα κυριότερα μέρη μιας ανεμογεννήτριας	17
Σχήμα 2-2: Το κέλυφος μιας ανεμογεννήτριας με το εσωτερικό του ..	18
Σχήμα 4-1 Σχάρα καλωδίων με τα στηρίγματά της	38

Σχήμα 4-2	<i>Εξάρτημα ταυ για τη σύνδεση τριών σχαρών</i>	38
Σχήμα 5-1	Διασύνδεση θεμελιακής γείωσης με τη μπάρα γείωσης και με τους αγωγούς καθόδου	48

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3-1	Σύνδεση της σύγχρονης μηχανής μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος με το δίκτυο διανομής.	28
Διάγραμμα 3-2	Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος Α/Γ	30
Διάγραμμα 3-3	Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος Α/Γ	32
Διάγραμμα 7-1	Χρήση αποκλειστικής γραμμής	77
Διάγραμμα 7-2	σύνδεση Tap off (ή «Τ»).....	78
Διάγραμμα 7-3	Άνοιγμα υπάρχουσας γραμμής μεταξύ 2 υποσταθμών	79

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Μεταβλητότητα και προβλεψιμότητα αιολικής ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την αιολική ενέργεια μπορεί να είναι εξαιρετικά μεταβλητή σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα: ωριαία, καθημερινή ή εποχιακή. Υπάρχει επίσης ετήσια διακύμανση, αλλά δεν είναι τόσο σημαντική. Επειδή η στιγμιαία ηλεκτρική παραγωγή και κατανάλωση πρέπει να παραμείνουν σε ισορροπία για τη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου, αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να παρουσιάσει σημαντικές προκλήσεις για την ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων αιολικής ενέργειας σε ένα σύστημα δικτύου. Ο διακοπόμενος χρόνος και η μεταβλητότητα της παραγωγής αιολικής ενέργειας μπορούν να αυξήσουν το κόστος ρύθμισης, το σταδιακό αποθεματικό λειτουργίας και σε ακραίες περιπτώσεις θα μπορούσαν να μεταβάλλουν την ενεργειακή ζήτηση της περιοχής. Οι διακυμάνσεις στο φορτίο και το περιθώριο αστοχίας μεγάλων μονάδων παραγωγής ορυκτών καυσίμων απαιτούν λειτουργική εφεδρική χωρητικότητα, η οποία μπορεί να αυξηθεί για να αντισταθμίσει τη μεταβλητότητα της παραγωγής ανέμου. Η αιολική ενέργεια είναι μεταβλητή και κατά τις περιόδους χαμηλού ανέμου πρέπει να αντικατασταθεί από άλλες πηγές ισχύος. Αν και τα δίκτυα μεταφοράς σήμερα αντιμετωπίζουν διακοπές ρεύματος και καθημερινές αλλαγές στην ηλεκτρική ζήτηση, καταφέρνουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του δικτύου χωρίς διακοπές. Ωστόσο, η μεταβλητότητα των διαλείπων πηγών ενέργειας όπως η αιολική ενέργεια είναι συχνότερη με αποτέλεσμα να μπορεί να ανταποκριθεί μόνο μέχρι το 95% του χρόνου λειτουργίας.

Παρότι χρησιμοποιούνται μέθοδοι πρόβλεψης αιολικής ενέργειας, η προβλεψιμότητα οποιουδήποτε συγκεκριμένου αιολικού πάρκου είναι χαμηλή για βραχυπρόθεσμη λειτουργία. Για οποιαδήποτε γεννήτρια, υπάρχει πιθανότητα 80% ότι η έξοδος ανέμου θα αλλάξει λιγότερο από 10% σε μια ώρα και 40% πιθανότητα ότι θα αλλάξει 10% ή περισσότερο σε 5 ώρες. Ωστόσο, μελέτες του Graham Sinden (2009) υποδηλώνουν ότι, στην πράξη, οι διαφορές σε χιλιάδες ανεμογεννήτριες, απλωμένες σε πολλές διαφορετικές τοποθεσίες και αιολικά καθεστώτα, εξομαλύνονται. Καθώς αυξάνεται η

απόσταση μεταξύ των τοποθεσιών, μειώνεται η συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων ανέμου που μετρήθηκαν σε αυτές τις τοποθεσίες. Έτσι, ενώ η έξοδος από έναν μόνο στρόβιλο μπορεί να ποικίλει πολύ και γρήγορα καθώς οι τοπικές ταχύτητες ανέμου ποικίλλουν, καθώς περισσότεροι στρόβιλοι συνδέονται σε πιο εκτεταμένες περιοχές, η μέση ισχύς εξόδου γίνεται λιγότερο μεταβλητή και πιο προβλέψιμη. Η αιολική ενέργεια δεν υφίσταται ποτέ μεγάλες τεχνικές βλάβες, καθώς οι αστοχίες μεμονωμένων ανεμογεννητριών δεν έχουν σχεδόν καμία επίδραση στη συνολική ισχύ, έτσι ώστε η κατανομημένη αιολική ενέργεια να είναι αξιόπιστη και προβλέψιμη, ενώ οι συμβατικές γεννήτριες, αν και πολύ λιγότερο μεταβλητές, μπορεί να υποστούν μεγάλες απρόβλεπτες διακοπές λειτουργίας.

1.2 Η γεωγραφική κατανομή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

Σε επίπεδο Περιφερειών, η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 1678 MW (41%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 619 MW (15%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 485 MW (12%).

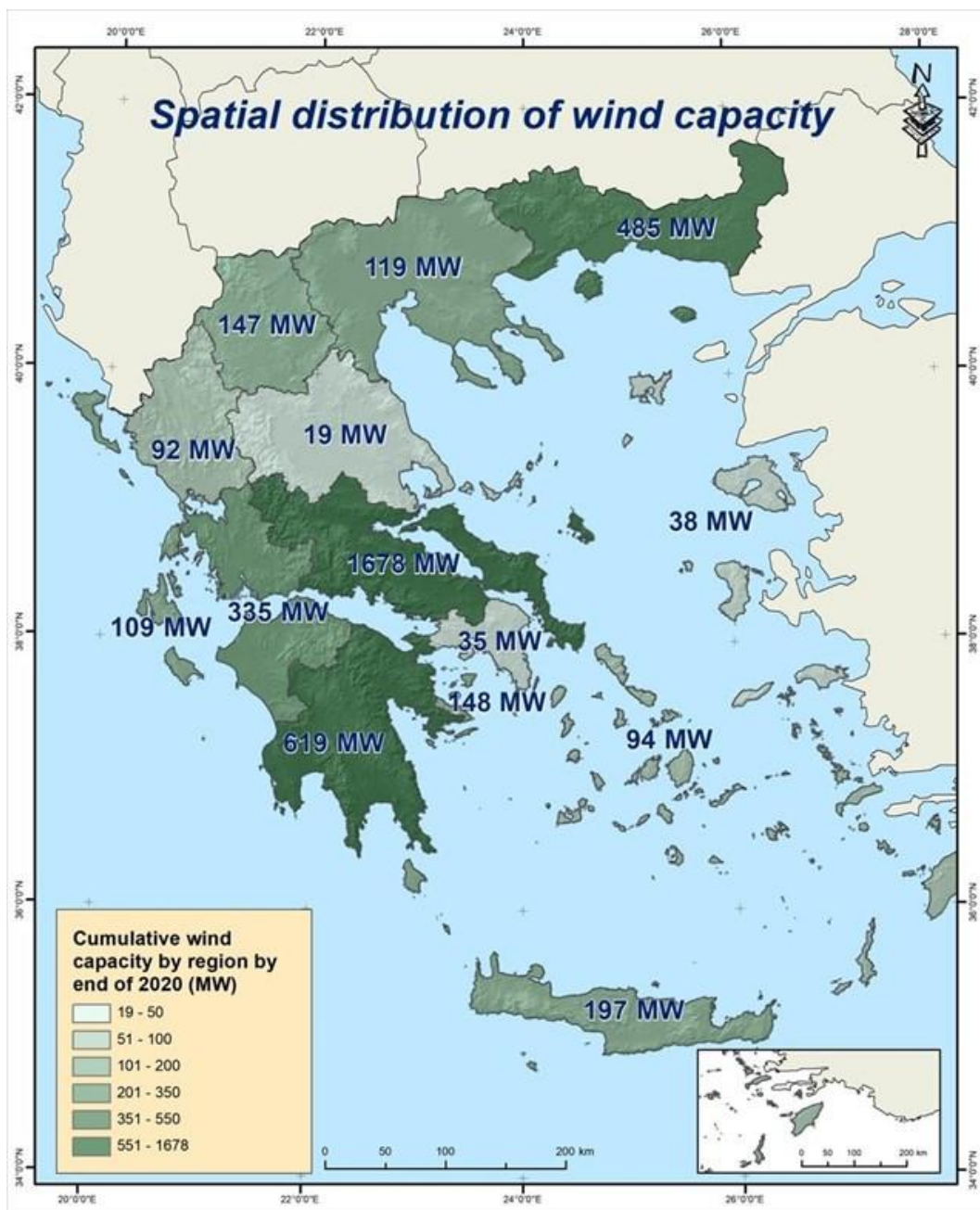
1.3 Οι κατασκευαστές

Η εικόνα για τους κατασκευαστές των ανεμογεννητριών είναι η εξής:

- η Vestas έχει προμηθεύσει το 45,5% της συνολικής αποδιδόμενης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα
- Ακολουθούν η Enercon με 26,2%, η Siemens Gamesa με 16,1%, η Nordex με 7,3% και η GE Renewable Energy με 3,7%.

Ειδικά για το 2020 τις νέες ανεμογεννήτριες προμήθευσαν:

- η Vestas κατά 41,2% (213 MW),
- η Enercon κατά 28,4% (147 MW),
- η Nordex κατά 21,4% (111 MW),
- η Siemens Gamesa κατά 5,4% (28 MW),
- η GE Renewable Energy κατά 3,1% (16 MW) και
- η EWT κατά 0,5% (2,5 MW).



Εικόνα 1-1 Η γεωγραφική κατανομή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

Σημειώνεται ότι όλα τα ως άνω αναφερόμενα μεγέθη αφορούν αιολική ισχύ που αποδίδεται στο δίκτυο. Με αφορμή την ανακοίνωση της Στατιστικής, ο Πρόεδρος της ΕΛΕΤΑΕΝ Παναγιώτης Λαδακάκος δήλωσε ότι «Η αύξηση των αιολικών επενδύσεων κατά το 2020 αποτελεί μια σημαντική επιτυχία που οφείλεται στις προσπάθειες των επιχειρήσεων και των στελεχών τους, που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα.

Αυτό διότι έχουν κατορθώσει, μετά από προσπάθειες πολλών ετών σε ένα εξαιρετικά ευμετάβλητο και περίπλοκο ρυθμιστικό περιβάλλον, να αναπτύξουν και να αδειοδοτήσουν μια κρίσιμη μάζα έργων που τώρα υλοποιούνται. Στις αντιξοότητες αυτές θα πρέπει να προστεθούν τα περιοριστικά μέτρα κατά της πανδημίας, που επιβραδύνουν το ρυθμό αδειοδότησης και κατασκευής των αιολικών πάρκων ανά τη χώρα.

Το 2020 είναι το δεύτερο καλύτερο έτος για την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα μετά το 2019 που ήταν έτος ρεκόρ. Το πλήθος των εγκαταστάσεων είναι διπλάσιο του 10ετούς μέσου όρου. Αυτό είναι εξαιρετικά θετικό. Επίσης, το 2020 θα καταγραφεί ως το έτος που το Ηλεκτρικό μας Σύστημα απέδειξε ότι ανταποκρίνεται χωρίς πρόβλημα σε πολύ μεγάλες διεισδύσεις αιολικής ισχύος που σε ωριαία βάση άγγιξαν το 70%, και που κάποτε φάνταζαν εξωπραγματικές.

Οι επιτυχίες αυτές πάντως δεν πρέπει να συσκοτίζουν τα προβλήματα: πολλά πρέπει να γίνουν ακόμα για την επίτευξη των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της χώρας».

1.4 Το πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η πολιτική της ΕΕ για την ανανεώσιμη ενέργεια ανάγεται στο 1997 με την έκδοση της λευκής βίβλου της Επιτροπής με τίτλο: «Ενέργεια για το μέλλον: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας»¹⁹. Η λευκή βίβλος συνιστούσε τον διπλασιασμό του μεριδίου της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας στο 12 % έως το 2010 και έθεσε τα θεμέλια για την έκδοση της οδηγίας 2001/77/ΕΚ σχετικά με την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές²⁰. Η ΕΕ εξέδωσε εν συνεχεία την οδηγία 2003/87/ΕΚ²¹, η οποία θέσπισε το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ και αποσκοπούσε στην προώθηση της απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές και την έμμεση προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τον Δεκέμβριο του 2008 οι αρχηγοί κρατών της ΕΕ δεσμεύτηκαν να καθορίσουν έναν στόχο για το 2020, στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια. Στο πλαίσιο αυτής της δέσμευσης, τα κράτη μέλη συμφώνησαν να μειώσουν

τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20 % έως το 2020 (σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990) και να αυξήσουν τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έτσι ώστε να ανέλθει στο 20 % της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας της Ευρώπης έως το 2020. Για την εκπλήρωση αυτής της δέσμευσης για την ανανεώσιμη ενέργεια, η ΕΕ εξέδωσε την οδηγία 2009/28/ΕΚ22 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (η οποία είναι ευρέως γνωστή ως «οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας»). Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθορίζει υποχρεωτικούς εθνικούς στόχους για κάθε κράτος μέλος ώστε να εξασφαλιστεί ότι, συνολικά, η ΕΕ επιτυγχάνει τον στόχο της το 20 % της ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Σύμφωνα με αυτήν την οδηγία, κάθε κράτος μέλος υποχρεούται να καταρτίσει ένα σαφές σχέδιο δράσης ώστε να καταδείξει πώς σκοπεύει να επιτύχει τους στόχους του για την ανανεώσιμη ενέργεια. Τα εθνικά σχέδια δράσης για την ανανεώσιμη ενέργεια που ενέκριναν τα κράτη μέλη²³ καθορίζουν το επίπεδο φιλοδοξίας στους τομείς της ηλεκτρικής ενέργειας, της θερμότητας και των μεταφορών, το σχεδιαζόμενο μείγμα τεχνολογιών και τα μέτρα πολιτικής που απαιτούνται για την επίτευξη των στόχων.

Με βάση το επίπεδο φιλοδοξίας για το 2020 και την πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων για την καθαρή ενέργεια, το 2018 η ΕΕ θέσπισε το πλαίσιο για τη στρατηγική για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030²⁴. Οι βασικοί στόχοι σε επίπεδο ΕΕ για το 2030 περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- τουλάχιστον 40 % μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ (με βάση τα επίπεδα του 1990)·
- μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην κατανάλωση ενέργειας τουλάχιστον 32 %, με ρήτρα που προβλέπει αναθεώρηση προς τα άνω έως το 2023, δεσμευτική σε επίπεδο ΕΕ, και
- έναν πρωταρχικό στόχο για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε επίπεδο ΕΕ σε τουλάχιστον 32,5 %, από τον στόχο του 20 % έως το 2020.

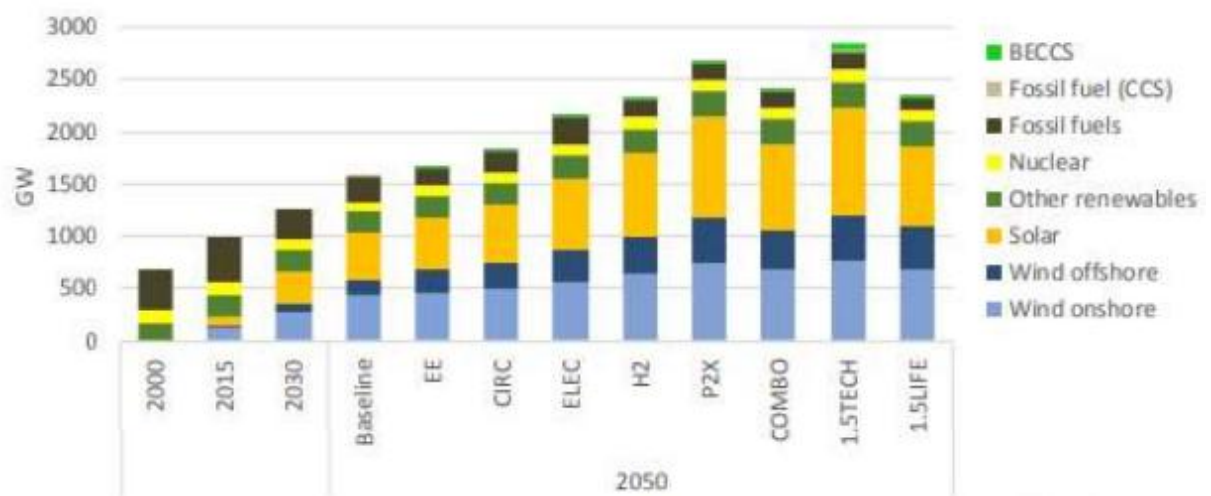
Οι δεσμεύσεις για την ανανεώσιμη ενέργεια έως το 2030 θα υλοποιηθούν μέσω της αναθεωρημένης οδηγίας (ΕΕ) 2018/2001 για την προώθηση της

χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, η οποία εκδόθηκε τον Δεκέμβριο του 2018²⁵. Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να εξασφαλίζουν συλλογικά ότι το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας της Ένωσης ανέρχεται το 2030 σε τουλάχιστον 32 %, συνεισφέροντας στον στόχο σε επίπεδο ΕΕ. Οι συνεισφορές των κρατών μελών στον στόχο σε επίπεδο ΕΕ καθορίζονται σε ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα, τα οποία περιλαμβάνουν την προσέγγιση πολιτικής και το προτεινόμενο μείγμα τεχνολογιών ανά κράτος μέλος κατά την περίοδο έως το 2030. Στο πλαίσιο 1-2 παρουσιάζεται μια πρόβλεψη για τη συνολική δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ έως το 2050 για τα διάφορα σενάρια στο πλαίσιο της μακροπρόθεσμης στρατηγικής της Επιτροπής με ορίζοντα το 2050²⁶ όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Από την πρόβλεψη προκύπτει ότι, ανεξάρτητα από τα σενάρια που επιλέγονται, η αιολική και η ηλιακή είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που θα παρουσιάσουν αύξηση της δυναμικότητας, ενώ οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας είτε θα σταθεροποιηθούν είτε θα παρουσιάσουν μείωση της δυναμικότητας. Αυτή η μακροπρόθεσμη στρατηγική προβλέπει ότι περίπου το 85 % της ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ θα παράγεται από ανανεώσιμους πόρους έως το 2050 σύμφωνα με σενάρια για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές [73% στο πλαίσιο του βασικού σεναρίου, με τον άνεμο μόνο να αντιπροσωπεύει έως και το 26 % το 2030 και έως και το 56 % το 2050 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018β)]. Η χερσαία αιολική ενέργεια θα αντιπροσωπεύει περίπου τα τρία τέταρτα της συνολικής αιολικής δυναμικότητας το 2030 και τα δύο τρίτα το 2050. Ορισμένα ενδιαφερόμενα μέρη προτείνουν έως και το 32 % της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακά φωτοβολταϊκά και τον άνεμο να προέρχεται από νοικοκυριά, συλλογικότητες, μικρομεσαίες επιχειρήσεις και δημόσιες οντότητες έως το 2050²⁷. Για να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις για την επίτευξη ενός κλιματικά ουδέτερου ενεργειακού τομέα το 2050, το ποσοστό των εγκαταστάσεων στον τομέα της αιολικής ενέργειας θα πρέπει να αυξηθεί σημαντικά. Σύμφωνα με τη μακροπρόθεσμη στρατηγική της Επιτροπής, όσον αφορά την αιολική ενέργεια, η δυναμικότητα θα πρέπει να αυξηθεί από το επίπεδο των 180 GW το 2018 σε 351 GW το 2030, δηλαδή να διπλασιαστεί. Αναμένεται ότι θα

εγκατασταθεί χερσαία δυναμικότητα 263 GW και υπεράκτια δυναμικότητα 88 GW²⁸, δηλαδή σχεδόν πενταπλάσια της δυναμικότητας του 2018. Ανάλογα με το σενάριο για το 2050, η αιολική δυναμικότητα αναμένεται να αυξηθεί και να κυμανθεί από 700 GW στο πλαίσιο του σεναρίου «ενεργειακής απόδοσης (EA)» έως 1 200 GW στο πλαίσιο του σεναρίου «Power 2X (P2X)». Εάν μεταφράσουμε αυτά τα αριθμητικά στοιχεία στον απαιτούμενο χώρο για αυτά τα έργα, τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά. Στο πλαίσιο του μέγιστου σεναρίου (1,5TECH), όπου λαμβάνεται ως υπόθεση ότι η συνολική υπεράκτια δυναμικότητα θα ανέλθει σε έως και 450 GW (ένα τρίτο), η WindEurope αναμένει ότι το 85 % της δυναμικότητας έως το 2050 θα είναι εγκατεστημένο στις βόρειες θάλασσες (στον Ατλαντικό στα ανοικτά της Γαλλίας, της Ιρλανδίας και του Ηνωμένου Βασιλείου, στη Βόρεια Θάλασσα, στην Ιρλανδική Θάλασσα και στη Βαλτική Θάλασσα) λόγω των ευνοϊκών αιολικών συνθηκών, της εγγύτητας στη ζήτηση και της αποτελεσματικότητας των αλυσίδων εφοδιασμού. Αυτό ισοδυναμεί περίπου με 380 GW από τα 450 GW. Τα υπόλοιπα 70 GW θα βρίσκονται στα ύδατα της νότιας Ευρώπης. Η συνολική έκταση των βόρειων θαλασσών που απαιτείται για υπεράκτια αιολική δυναμικότητα 380 GW θα είναι 76 000 km² (λαμβάνονται ως υπόθεση τα 5 MW/km²), έκταση ελαφρώς μικρότερη από το μέγεθος της Ιρλανδίας. Αυτή η έκταση αντιστοιχεί στο 2,8 % της συνολικής έκτασης των βόρειων θαλασσών, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ζώνες αποκλεισμού. Η ακριβής τοποθεσία θα εξαρτηθεί από το μέγεθος και τον διαθέσιμο χώρο των αποκλειστικών οικονομικών ζωνών (ΑΟΖ) των διαφόρων κρατών μελών, καθώς και από τις διαφορές στο σταθμισμένο κόστος της ενέργειας (LCOE)²⁹, με βάση το βάθος θάλασσας και τις αιολικές συνθήκες. Επιπλέον, η τελική κατανομή των αιολικών πάρκων θα εξαρτηθεί επίσης από το πού υπάρχει ζήτηση ενέργειας. Μπορεί να αναμένεται ότι ορισμένες χώρες θα βρουν εύκολα τον χώρο για την κατανομή της δυναμικότητάς τους, ενώ άλλες θα πρέπει είτε να αρχίσουν να επενδύουν σε έργα πολλαπλής χρήσης είτε να προβούν σε πιο δαπανηρές επενδύσεις (περιοχές με υψηλότερο LCOE).

Είναι σαφές ότι, για να επιτευχθούν οι στόχοι για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας με τον πλέον αποδοτικό τρόπο, τόσο από άποψη κόστους όσο και από άποψη χρήσης χώρου, καθοριστική σημασία θα έχουν τα έργα πολλαπλών

χρήσεων και η διεθνής συνεργασία. Επιπλέον, απαιτείται ουσιαστική αλλαγή των διαδικασιών αδειοδότησης, η οποία προϋποθέτει διεξοδική προετοιμασία. Για παράδειγμα, για την ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής δικτύου ενέργειας υφίστανται παρόμοιες προκλήσεις. Η πιο συντονισμένη δράση από τον τομέα της αιολικής ενέργειας και τους υπευθύνους ανάπτυξης δικτύων μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, μεταξύ άλλων ενόψει της διαχείρισης σωρευτικών επιπτώσεων



Εικόνα 1-2 Προβλεπόμενα σενάρια για τη συνολική δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι ανεμογεννήτριες, όπως και τα φτερά των αεροσκαφών, περιστρέφονται στον άνεμο και τροφοδοτούν μια ηλεκτρική γεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τις οριζόντιου άξονα, όπως είναι οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι και οι κάθετου άξονα, όπως είναι το μοντέλο Darrieus. Η σύγχρονη τεχνολογία αιολικής ενέργειας έχει πλεονεκτήματα στην ανάπτυξη των υλικών, της μηχανικής, των ηλεκτρονικών και της αεροδυναμικής.

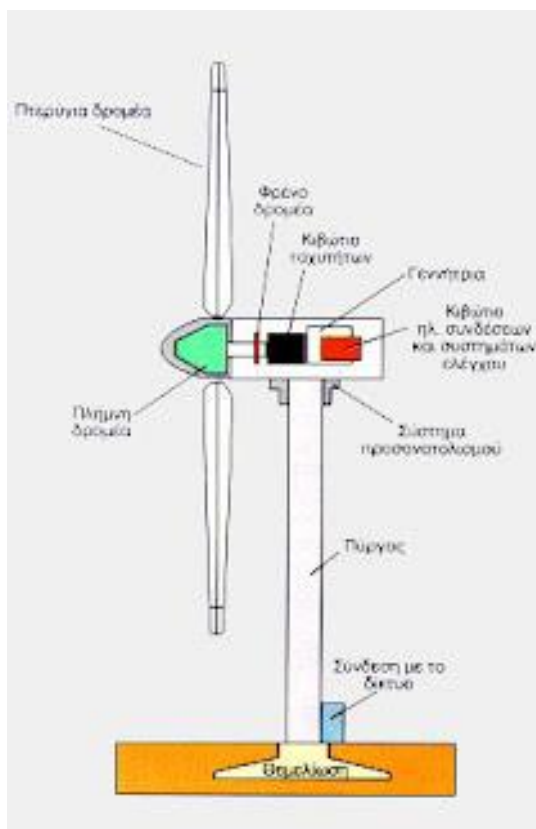


Εικόνα 2-1 Ανεμογεννήτριες σε κορυφογραμμή

Οι ανεμογεννήτριες συνήθως βρίσκονται σε αιολικά πάρκα και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που εγχέεται στο τοπικό δίκτυο και διανέμεται στους καταναλωτές όπως και στα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.

2.1 Μέρη ανεμογεννήτριας

Όλες οι ανεμογεννήτριες, χωρίς να παίζει ρόλο το μέγεθος, αποτελούνται από μερικά βασικά χαρακτηριστικά: το ρότορα, τη γεννήτρια, ένα σύστημα ελέγχου ταχύτητας και τον πύργο. Μερικές μηχανές έχουν συστήματα προστασίας, έτσι ώστε αν ένα μέρος χαλάσει το σύστημα προστασίας σταματάει τα πτερύγια ή βάζει τα φρένα.

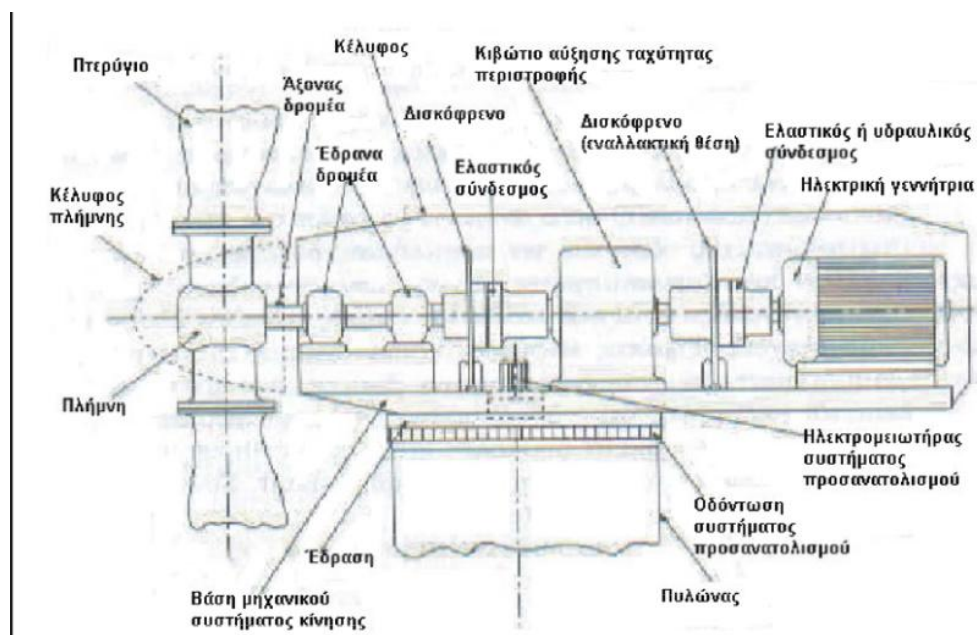


Σχήμα 2-1 Τα κυριότερα μέρη μιας ανεμογεννήτριας

Μια ανεμογεννήτρια αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω μέρη (Σχήμα 2-1):

- **Ανεμόμετρο (Anemometer):** μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταβιβάζει τα ανεμολογικά δεδομένα σε έναν ελεγκτή.
- **Πτερύγια (Blades):** οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Ο άνεμος πάνω στα πτερύγια δημιουργεί άνοση (lift) που έχει σαν αποτέλεσμα μια ροπή γύρω από τον άξονα περιστροφής και αναγκάζει τα πτερύγια να περιστρέφονται.
- **Φρένο (Brake):** ένα δισκόφρενο το οποίο μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά για να σταματήσει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης.
- **Ελεγκτής (Controller):** ο ελεγκτής ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 8-16 μίλια την ώρα και κλείνει τη μηχανή περίπου στα 65 μίλια την ώρα. Οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 65 μίλια την ώρα γιατί οι γεννήτριές τους μπορούν να υπερθερμανθούν ή/και τα πτερύγιά τους να σπάσουν.

- Κιβώτιο ταχυτήτων (Gear box): οι ταχύτητες συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από τις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές ανά λεπτό. Η ταχύτητα περιστροφής απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό (και βαρύ) μέρος μιας ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί μελετούν γεννήτριες οι οποίες θα λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δε θα απαιτούνται κιβώτια ταχυτήτων.
- Γεννήτρια (Generator): συνήθως παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 60 κύκλων.
- Άξονας υψηλής ταχύτητας (High-speed Shaft): οδηγεί τη γεννήτρια.
- Άξονας χαμηλής ταχύτητας (Low-speed Shaft): ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας περίπου στις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό.
- Κέλυφος (Nacelle): ο ρότορας συνδέεται με το κέλυφος, το οποίο βρίσκεται πάνω απ' τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη εντός του κελύφους. Μερικά κελύφη είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ένας τεχνικός να κάθεταί όρθιος μέσα σε αυτό ενώ δουλεύει.



Σχήμα 2-2: Το κέλυφος μιας ανεμογεννήτριας με το εσωτερικό του

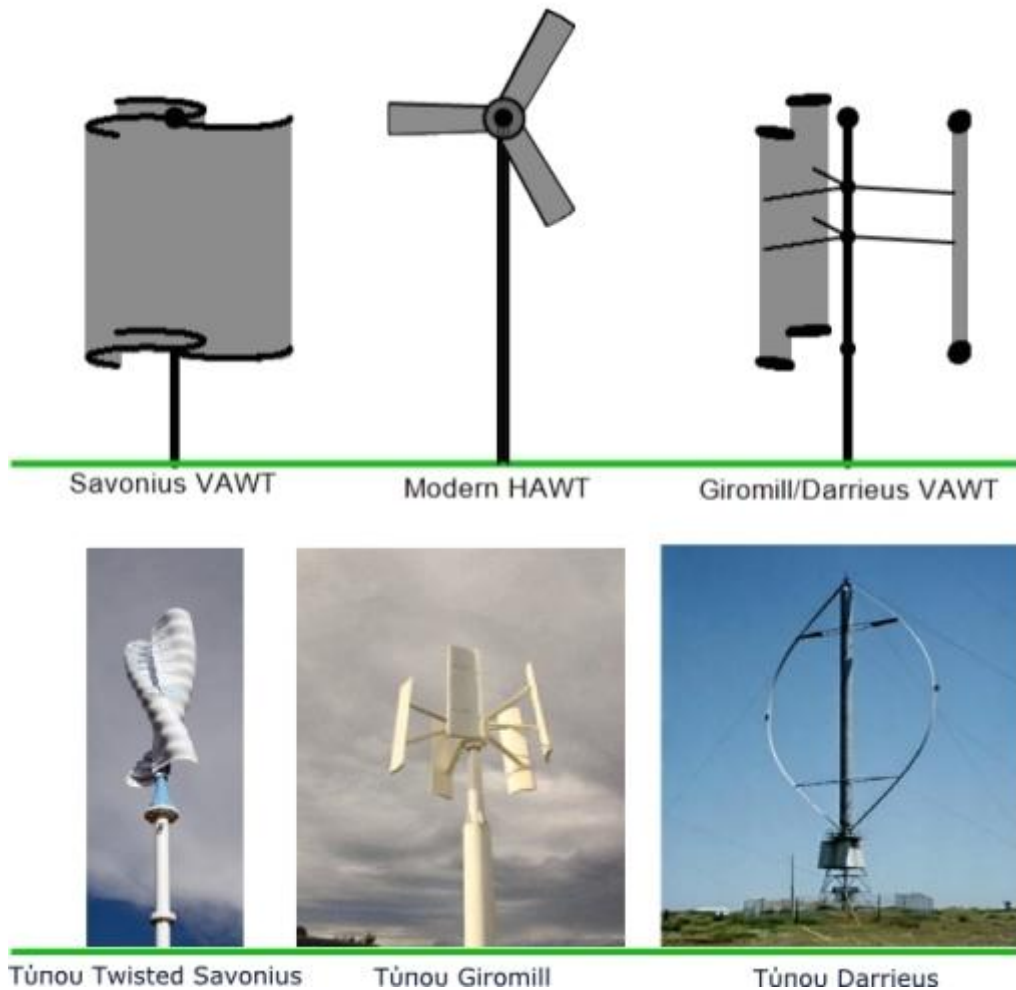
- Κλίση (Pitch): τα πτερύγια έχουν τη δυνατότητα να γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία (lift) πάνω στην πτερύγωση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες.
- Ρότορας (Rotor): τα πτερύγια και το κεντρικό σημείο ονομάζονται ρότορας.
- Πύργος (Tower): οι πύργοι είναι κατασκευασμένοι από χαλύβδινο κέλυφος ή χωροδικτύωμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι υψηλοί πύργοι περιέχουν γεννήτριες που συλλέγουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.
- Ανεμοδείκτης (Wind vane): υπολογίζει την διεύθυνση και επικοινωνεί με τον οδηγό εκτροπής ώστε να προσανατολίζεται στον άνεμο.
- Οδηγός εκτροπής (Yaw drive): φέρνει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο. Χρησιμοποιείται για να αφήνει το ρότορα να βρίσκεται προς τον άνεμο καθώς αυτός μεταβάλλεται. Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν υπήνεμα δεν απαιτούν οδηγό εκτροπής. Ο άνεμος μόνος φέρνει υπήνεμα το ρότορα.
- Κινητήρας εκτροπής (Yaw motor): δίνει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής

2.2 Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών

Οι αιολικές μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις, που έχουν σαν σκοπό την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Τελικός στόχος είναι η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια, δηλαδή σε οποιαδήποτε εύχρηστη μορφή ενέργειας, άμεσα απολήψιμη από τον άνθρωπο. Λέγεται δε ότι μέχρι σήμερα έχουν επινοηθεί και εφαρμοσθεί περισσότεροι τύποι ανεμοκινητήρων από οποιαδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης, χωρίς όμως να επιτευχθεί μέχρι σήμερα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου.

Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται κυρίως σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Ως εκ τούτου οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες

“οριζόντιου” και οι ανεμογεννήτριες “κατακόρυφου” άξονα (Εικόνα 2-2). Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως τον άξονά τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου (head on), ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε ανεμογεννήτριες των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου (cross-wind).



Εικόνα 2-2 Τύποι ανεμογεννητριών

Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή ακριβέστερα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής “ λ ”. Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λ.π. Επιπλέον

καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50 Hz για τη χώρα μας και τις χώρες της Ε.Ε., και 60 Hz για τις Η.Π.Α.

2.3 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα



Εικόνα 2-3 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου (head on), αν και κάποτε η διεύθυνσή τους είναι κάθετη προς τη διεύθυνση του ανέμου (cross-wind).

Επιπλέον οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη (up wind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη (down wind), δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου.

Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. τύπου Μυκόνου) καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων ‘‘αμερικανικού τύπου’’, οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.

2.4 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα



Εικόνα 2-4 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα

Από την άλλη πλευρά στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζοντίου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου το 90% του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών), και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου ‘‘έλικας’’. Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ’ αυτή της έλικας των

ελικοπτέρων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής ‘λ’, με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο(Εικόνα 2-4). Οι πρώτοι δρομείς που κατασκευάστηκαν είχαν πλατιά πτερύγια, ενώ σήμερα κατασκευάζονται μηχανές με αρκετά λεπτά πτερύγια. Στις ανεμογεννήτριες τύπου ‘έλικας’ γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής και για λόγους προστασίας της σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων (π.χ.’flaps’) στην άκρη των πτερυγίων είτε με τη στροφή της πτερωτής υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την πτερωτή μεταφέρεται είτε μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης (οδοντωτοί τροχοί) στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της πτερύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως και αυτή στον πύργο στήριξης. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και σήμερα, ενώ έχουν κατασκευασθεί ή κατασκευάζονται μονάδες με ισχύ, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW. Τέλος έχουν επινοηθεί και προταθεί κατά καιρούς διάφορες μηχανές τύπου ‘cross-wind’, οι οποίες όμως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αντίθετα οι συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν προβλήματα όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας καθώς και τη ρύθμιση της διεύθυνσης της πτερωτή σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου.

Όσον αφορά τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, και κυρίως ο μηχανές τύπου έλικα είναι:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος σχεδιασμός των παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα της ανεμογεννήτριας, δηλαδή του αριθμού πτερυγίων, της διανομής του πλάτους του πτερυγίου, της κατάλληλης αεροτομής που θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση του πτερυγίου, της συστροφής του πτερυγίου, της διανομής βήματος κ.λ.π. Η υπάρχουσα εμπειρία στον τομέα των αιολικών μηχανών ενισχύεται με τα αποτελέσματα της

σύγχρονης έρευνας, αν και το θέμα βέλτιστου σχεδιασμού του δρομέα μιας μηχανής παραμένει και θα παραμείνει ανοικτό για πολλά ακόμα χρόνια.

- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα. Ένα κρίσιμο θέμα της κατηγορίας αυτής αποτελεί η ροπή εκκίνησης του δρομέα, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει και η συμπεριφορά της πτερωτής σε χρονικά μεταβαλλόμενο πεδίο ροής παρουσία τύρβης, αλλά και βάση της διανομής της ταχύτητας τύπου οριακού στρώματος του ανέμου λόγω της επίδρασης του εδάφους.
- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα. Η ρύθμιση του βήματος γίνεται είτε σε ολόκληρο το πτερύγιο είτε σε μέρος του, με σκοπό αφενός τον περιορισμό της ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, αφετέρου τη διατήρηση σταθερών στροφών της μηχανής. Επίσης, μεταβολή του βήματος γίνεται με σκοπό την επίτευξη του μέγιστου βαθμού απόδοσης της πτερωτής για διάφορες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και για τη μεγιστοποίηση της ροπής για διευκόλυνση της εκκίνησης της μηχανής. Επιπλέον, τα συστήματα αυτοματισμών πρέπει να επιτρέπουν την εκκίνηση της πτερωτής για ταχύτητα ανέμου ίση με την ταχύτητα ενάρξεως λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, και να διακόπτουν την λειτουργία της πτερωτής για πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου ή σε περιπτώσεις που η παραγόμενη αιολική ισχύς δεν γίνεται αποδεκτή από το δίκτυο.
- Προσανατολισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου.
- Προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν ίσως τα βασικότερα προβλήματα κατασκευής ανεμοκινητήρων υψηλής

αξιοπιστίας, δεδομένου ότι ο άνεμος εξασκεί πάνω στα πτερύγια και στις αντίστοιχες εδράσεις τους σημαντικές δυνάμεις, ιδιαίτερα για μεγάλων διαστάσεων μηχανές. Ένας επιπλέον κίνδυνος προέρχεται από το γεγονός ότι οι εξασκούμενες τάσεις είναι εναλλασσόμενες, ενώ υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ιδιοσυντονισμού της πτερωτής, λόγω των εμφανιζόμενων ταλαντώσεων. Επίσης, δεν πρέπει να παραλείπεται το γεγονός ότι ο δρομέας μιας ανεμογεννήτριας βρίσκεται εκτεθειμένος σε αρκετά δύσκολες καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα να έχουμε επιταχυνόμενη φθορά των υλικών, που συνδυάζουν χαμηλό κόστος και επιθυμητή αντοχή, είναι καθοριστικό στην επιτυχία κάθε ανεμοκινητήρα στην ενεργειακή αγορά.

- Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος. Ο ακριβής καθορισμός του ύψους του δρομέα από το έδαφος πρέπει να συνεκτιμά τη μορφή του πεδίου ροής, που προσβάλλει την πτερωτή (τραχύτητα εδάφους, εμπόδια κ.λ.π.) και εξετάζεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Εν γένει έχουμε αύξηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος, με παράλληλη όμως αύξηση και της δαπάνης κατασκευής της εγκατάστασης. Απαιτείται συνεπώς μια πλήρης οικονομοτεχνική μελέτη για τον καθορισμό του βέλτιστου ύψους μιας ανεμογεννήτριας, αν και οι κατασκευάστριες εταιρίες σήμερα διαθέτουν τις μηχανές τους σε ένα ή δύο προκαθορισμένα ύψη, που ξεκινούν κατά κανόνα από την τιμή της διαμέτρου του δρομέα της μηχανής.
- Κατασκευή του πύργου στηρίξεως και θεμελίωσή του. Ο πύργος στηρίξεως πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις. Επιπλέον πρέπει να μελετηθούν φαινόμενα αλληλεπίδρασης περιστρεφόμενων πτερυγίων και πύργου στηρίξεως καθώς και η θεμελίωση ανεμοκινητήρων σε εδάφη περιορισμένης στερεότητας, όπως ο βυθός της θάλασσας. Τα προβλήματα αλληλεπίδρασης είναι πλέον σημαντικά για μηχανές με την πτερωτή τους σε υπήνεμη διάταξη.
- Μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή και η επίδραση του όμορου στο περιβάλλον καθώς και σε πιθανές επόμενες

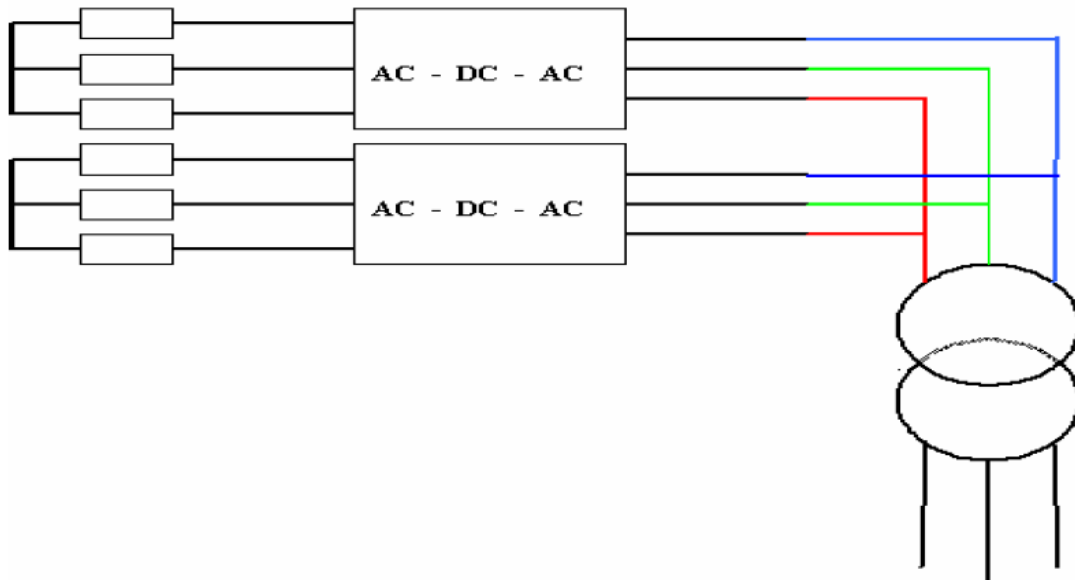
ανεμογεννήτριες. Στόχος της εν λόγω ανάλυσης είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης ανεμοκινητήρων σε διάφορες διατάξεις καθώς και ο καθορισμός της ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης μεταξύ των μηχανών, με τον περιορισμό της χρήσης του ελάχιστου δυνατού εμβαδού, ώστε να μεγιστοποιείται η αξιοποίηση της γης.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Διασύνδεση ανεμογεννητριών με το δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος

Δύο από τους τρόπους διασύνδεσης αιολικών πάρκων με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι είτε μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος είτε κατευθείαν. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η πρώτη περίπτωση βασιζόμενη στον τρόπο διασύνδεσης των ανεμογεννητριών μιας γνωστής γερμανικής εταιρείας ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες που κατασκευάζει η συγκεκριμένη εταιρεία έχουν το χαρακτηριστικό ότι η κάθε ηλεκτρογεννήτρια (σύγχρονη) είναι απευθείας οδηγούμενη (direct-driven) από τον ανεμοκινητήρα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εταιρείας η τάση που παράγει η μηχανή είναι η ονομαστική (400V) εφόσον ο δρομέας (A/K) περιστρέφεται μέσα στην περιοχή επιτρεπτών ταχυτήτων του και το μόνο μέγεθος που μεταβάλλεται είναι η συχνότητα που παράγει η γεννήτρια, η οποία είναι διαφορετική από 50Hz. (Λόγω του χαρακτηριστικού της ηλεκτρογεννήτριας να διατηρεί σταθερή την τάση της η εταιρεία έχει δώσει ένα ιδιαίτερο όνομα στις γεννήτριες και τις ονομάζει ring generators). Η ταχύτητα περιστροφής του ανεμοκινητήρα εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα. Συνεπώς για να υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο είναι απαραίτητη η ύπαρξη διπλής γέφυρας με ηλεκτρονικά ισχύος, ο λεγόμενος ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος. Ο τελευταίος αναλαμβάνει το ρόλο του συγχρονισμού της σύγχρονης μηχανής με το ισχυρό δίκτυο αφού φροντίζει να οδηγεί στην έξοδο την τάση που παράγει η σύγχρονη γεννήτρια και να μετατρέπει τη συχνότητά της σε 50Hz που είναι η ονομαστική τιμή. Όσον αφορά την τάση που παράγει η σύγχρονη γεννήτρια το ύψος εξαρτάται εκτός της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα και από τη διέγερσή του, δηλαδή από το μαγνητικό πεδίο. Η διέγερση φροντίζει ώστε η τάση που παράγεται από τη σύγχρονη γεννήτρια να είναι σταθερή. Η ανεμογεννήτρια της εν λόγω εταιρείας συνδέεται με το δίκτυο μέσω δύο ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος. Ο λόγος ύπαρξης των δύο ηλεκτρονικών μετατροπέων είναι επειδή υπάρχουν 6 φάσεις

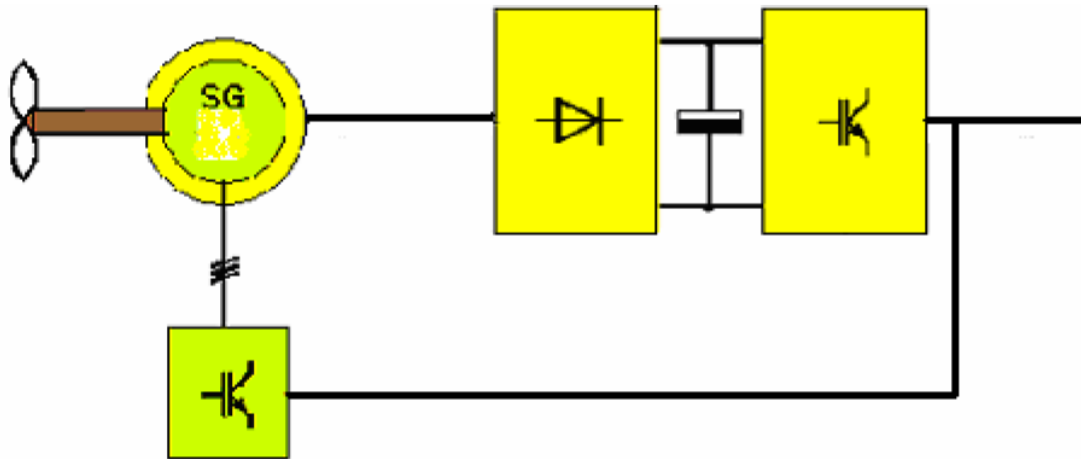
στη σύγχρονη γεννήτρια. Ο τρόπος σύνδεσης των τυλιγμάτων της σύγχρονης γεννήτριας με τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος και κατόπιν με το δίκτυο είναι αυτός που φαίνεται στο Διάγραμμα 3-1. Βλέπουμε από το εν λόγω διάγραμμα ότι τα τυλίγματα της μηχανής είναι συνδεδεμένα σε αστέρα ανά τρία.



Διάγραμμα 3-1 Σύνδεση της σύγχρονης μηχανής μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος με το δίκτυο διανομής.

Στη συνέχεια τα τυλίγματα συνδέονται με τον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος και καταλήγουν στο μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Όσον αφορά την λειτουργία των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος θα γίνει μια σύντομη περιγραφή του ενός και τα ίδια ισχύουν και για τον άλλο. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος αυτός είναι Ε.Ρ.-Σ.Ρ.-Ε.Ρ. (AC-DC-AC) ο οποίος όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 3-2 αποτελείται από δύο μέρη, το μετατροπέα Ε.Ρ.-Σ.Ρ. που είναι στη μεριά της μηχανής, και το μετατροπέα που είναι στη μεριά του δικτύου Σ.Ρ.-Ε.Ρ. Ο μετατροπέας στη μεριά της μηχανής είναι ανορθωτής δηλαδή Ε.Ρ.-Σ.Ρ. ο οποίος μετατρέπει την εκάστοτε εναλλασσόμενη τάση που βγάζει η μηχανή σε συνεχή. Η ανόρθωση γίνεται με διόδους ισχύος όπως φαίνεται στο εν λόγω διάγραμμα, συνεπώς δεν υπάρχει η δυνατότητα αντιστροφής της φοράς του ρεύματος. Παρόλ' αυτά αν αυτό χρειαζόταν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί γέφυρα με IGBT ή με αντιπαράλληλες διόδους ισχύος. Στην πλευρά του μετατροπέα στην οποία επικρατεί συνεχής τάση υπάρχουν και κατάλληλοι πυκνωτές οι οποίοι

εξομαλύνουν και διατηρούν σταθερή την τάση. Εν συνεχεία ο μετατροπέας που είναι στην πλευρά του δικτύου είναι γέφυρα με IGBT η οποία είναι ο αντιστροφέας δηλαδή μετατρέπει με κατάλληλο κύκλωμα παλμοδότησης τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη με χαρακτηριστικά 400V-50Hz. Όσον αφορά την εκκίνηση της σύγχρονης μηχανής αυτή γίνεται με τη βοήθεια του ανέμου ο οποίος έχει το ρόλο της κινητήριας δύναμης. Εφόσον η ταχύτητα του ανέμου είναι κατάλληλη δηλαδή ίση με την ταχύτητα σύζευξης τότε ο ανεμοκινητήρας αρχίζει και περιστρέφεται. Εν συνεχεία με ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης το οποίο όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3-2 αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος E.P.-Σ.P. ο οποίος ανορθώνει την τάση του δικτύου και τη μετατρέπει σε συνεχή η οποία τελικά θα αποτελέσει τη διέγερση του δρομέα. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται ο εν λόγω μετατροπέας παρακολουθεί τις αλλαγές στην ταχύτητα του A/K και ρυθμίζει ανάλογα τη διέγερση ώστε η τάση να είναι αυτή που πρέπει. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος δεν παίζει μόνο το ρόλο που είδαμε, αλλά ρυθμίζει και την άεργο ισχύ της γεννήτριας. Σε περίπτωση που στη μεριά του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος που είναι στο δίκτυο παρατηρηθεί μείωση της τάσης τότε θα μειωθεί και η τάση στην περιοχή του μετατροπέα που επικρατεί συνεχής τάση και κατόπιν η τάση της γεννήτριας, οπότε ο μετατροπέας μέσω πολυάριθμων μικροελεγκτών δίνει εντολή στο κύκλωμα διέγερσης να αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης στο δρομέα της σύγχρονης μηχανής οπότε αντίστοιχα θα ανεβεί η τάση της γεννήτριας και η συχνότητα και η γεννήτρια θα τροφοδοτήσει τελικά το δίκτυο με άεργο ισχύ. Έτσι ο μετατροπέας με τον τρόπο αυτό καθορίζει και τον τρόπο λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας (χωρητικά ή επαγωγικά).



Διάγραμμα 3-2 Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος Α/Γ

Ο μετατροπέας εκτός από το να πραγματοποιεί όσα αναφέρθηκαν παραπάνω πρέπει να φροντίζει ώστε οι στροφές του ανεμοκινητήρα να είναι κατάλληλες ώστε να πετυχαίνεται λειτουργία του (ανεμοκινητήρα) στο μέγιστο C_p για κάθε ταχύτητα ανέμου. Συνεπώς απαιτείται να υπάρχουν τέτοιες στροφές του δρομέα ώστε να υπάρχει το λ_{opt} και το C_{popt} . Αυτό είναι ευθύνη του αντιστροφέα αφού ρυθμίζει την ενεργό ισχύ που στέλνεται στο δίκτυο συνεπώς με βάση τον τύπο:

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J} (M_{WIND} - M_{ELEC})$$

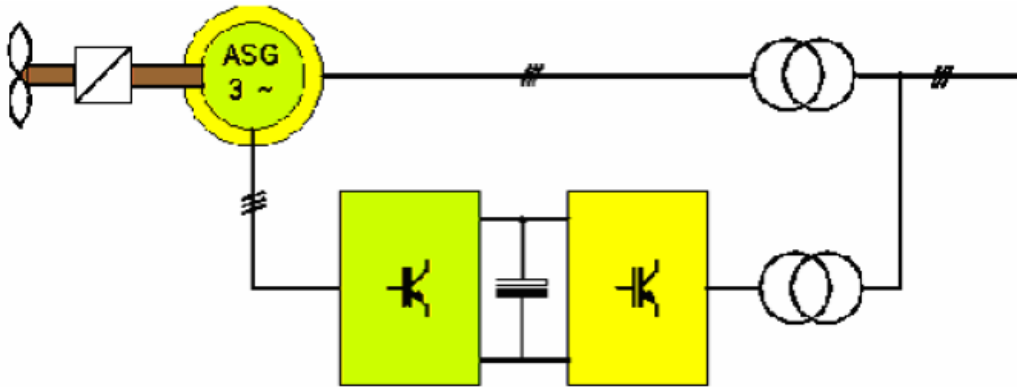
επηρεάζεται ο αριθμός περιστροφής του δρομέα. Ο αναγνώστης πρέπει να λάβει υπόψη του ότι η βέλτιστη ταχύτητα Ω_{OPT} περιστροφής του δρομέα είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της ακτίνας του πτερυγίου, της γωνίας pitch και πολλών άλλων παραμέτρων. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος προκειμένου να πετύχει όλα τα παραπάνω πρέπει να επικοινωνεί με πολλαπλούς μικροελεγκτές και φυσικά με τον κεντρικό επεξεργαστή της ανεμογεννήτριας ώστε να πετυχαίνει την αποδοτικότερη, συμφέρουσα και ασφαλέστερη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Χρειάζεται να επισημανθεί ότι η απρόσκοπτη και εύρυθμη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας και ενός αιολικού πάρκου γενικότερα βασίζεται κυρίως στο θέμα του αεροδυναμικού ελέγχου, ελέγχου ηλεκτρικής ισχύος και εσωτερικού ελέγχου κάθε Α/Γ. Στη συνέχεια ο αναγνώστης θα διαπιστώσει την πολυπλοκότητα των συστημάτων. Άλλωστε ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος δεν είναι ανεξάρτητος από τα

υπόλοιπα μέρη της ανεμογεννήτριας και βρίσκεται σε διαρκή ανταλλαγή δεδομένων διάφορους μικροελεγκτές. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας επικοινωνεί και με τον έλεγχο “pitch” ο οποίος όπως τονίστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο βοηθά στην εκκίνηση του ανεμοκινητήρα και ρυθμίζει την αεροδυναμική ισχύ όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ταχύτητα του δρομέα. Ο έλεγχος “pitch” επικοινωνεί με τον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος μέσω της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας της ανεμογεννήτριας. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η καρδιά όλων των υποσυστημάτων είναι ο κεντρικός ελεγκτής της ανεμογεννήτριας όπου αν κάτι δεν πάει καλά γίνεται αυτοδιάγνωση και προσπάθεια για διόρθωση του σφάλματος, ειδάλλως υπάρχει κατάσταση εκτάκτου ανάγκης, δίνει εντολή να σταματήσει πλήρως η περιστροφή του ανεμοκινητήρα και του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος. Συνεπώς ο αναγνώστης αντιλαμβάνεται ότι η λειτουργία τόσο του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος όσο και η γενικότερη λειτουργία της ανεμογεννήτριας είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία που γνωρίζει μόνο η κατασκευάστρια εταιρεία και μόνο αυτή.

3.2 Διασύνδεση αιολικών πάρκων μεγάλης ισχύος απευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει περιγραφή του τρόπου της κατευθείαν διασύνδεσης ανεμογεννητριών με το δίκτυο. Η περιγραφή βασίζεται στον τρόπο διασύνδεσης των ανεμογεννητριών γνωστής δανέζικης εταιρείας Οι ανεμογεννήτριες αυτής της εταιρείας χρησιμοποιούν ασύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα. Σύμφωνα με το ενημερωτικό φυλλάδιο του κατασκευαστή ένας χονδρικός τρόπος σύνδεσης φαίνεται στο Διάγραμμα 3-3. Σύμφωνα με αυτό βλέπουμε ότι η ασύγχρονη μηχανή είναι διπλά τροφοδοτούμενη (double-fed). Προς πληροφόρηση αναφέρεται ότι η γεννήτρια είναι έχει ονομαστικά στοιχεία $U_n=690V$, $I_n=711A$, $n=1620$ σ.α.λ. Από το εν λόγω διάγραμμα βλέπουμε ότι ο στάτης είναι κατευθείαν συνδεδεμένος με το δίκτυο ενώ ο δρομέας είναι συνδεδεμένος με ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος. Ο τελευταίος αποτελείται από μια διπλή γέφυρα από στοιχεία IGBT. Ο τρόπος λειτουργίας θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Το σύστημα αυτό άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως πρόσφατα στα αιολικά συστήματα (μεταβλητών στροφών). Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι

ότι ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος διαπερνάται από ένα ποσοστό της ισχύος της τάξης του 20-30% της συνολικής ισχύος και συνεπώς εμφανίζονται λιγότερες απώλειες σε σχέση με ένα σύστημα απευθείας οδηγούμενο από τον ανεμοκινητήρα.



Διάγραμμα 3-3 Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος Α/Γ.

Επίσης το κόστος του ηλεκτρονικού μετατροπέα είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό του μετατροπέα που χρησιμοποιείται σε αιολικά πάρκα όπως αυτό του προηγούμενου κεφαλαίου και λόγω του παραπάνω ισχυρισμού αλλά και επειδή δεν χρειάζεται εξωτερικό κύκλωμα διέγερσης αφού αυτή προέρχεται απευθείας από το «δίκτυο». Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ηλεκτρική γεννήτρια είναι δακτυλιοφόρου δρομέα η οποία είναι διπλά τροφοδοτούμενη και φαίνεται στο Διάγραμμα 3-3. Ως γνωστόν μία μέθοδος μετατόπισης των καμπυλών ροπής-στροφών είναι μέσω διάφορων αντιστάσεων. Ο τρόπος αυτός εκτός του ότι εμφανίζει πολλές απώλειες (ωμικές) δεν έχει και τη δυνατότητα ενεργητικού ελέγχου δηλαδή δεν μπορεί ανά πάσα στιγμή η τιμή της αντίστασης να αλλάζει τόσο λόγω συνδεσμολογίας της όσο και λόγω έλλειψης επικοινωνίας με το υπόλοιπο κύκλωμα. Αντίθετα με τον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος E.P.-Σ.P.-E.P. ο οποίος ουσιαστικά παίζει τον ρόλο των αντιστάσεων, δεν υπάρχουν ωμικές απώλειες και υπάρχει ανά πάσα στιγμή δυνατότητα ρύθμισης σε μεγάλο εύρος της ροπής εκκίνησης της γεννήτριας μετατοπίζοντας την καμπύλη ροπής-στροφών δεξιά ή αριστερά ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα. Με αυτό τον τρόπο εκτός του ότι υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης ακόμα και των πιο χαμηλών ταχυτήτων αέρα (εφόσον είναι πάνω από την ταχύτητα σύζευξης), και ταυτόχρονα προστατεύεται η ηλεκτρική γεννήτρια από την εμφάνιση υψηλών ρευμάτων κατά την εκκίνηση.

Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος έχει τη δυνατότητα ανά πάσα στιγμή να επικοινωνεί με την Κεντρική Μονάδα Ελέγχου της ανεμογεννήτριας και ρυθμίζει τη συμπεριφορά του σύμφωνα με τις εντολές που λαμβάνει από αυτή (ΚΜΕ). Έτσι ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος αλλάζοντας ουσιαστικά την αντίσταση του δρομέα αλλάζει το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής και πετυχαίνει τη μετακίνηση της καμπύλης C_p - λ στην επιθυμητή τιμή λ_{opt} όπου υπάρχει μέγιστο C_p . Με αυτό τον τρόπο η ανεμογεννήτρια παρακολουθεί τις αλλαγές του ανέμου και προσαρμόζει τη λειτουργία της. Χάρη στον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος υπάρχει μεγάλο εύρος ρύθμισης της τάσης και συνεπώς της αέργου ισχύος.

Συνοψίζοντας, μπορεί να αναφερθεί ότι οι λόγοι που δικαιολογούν την ευρεία εφαρμογή των ασύγχρονων διπλά τροφοδοτούμενων ηλεκτρικών γεννητριών είναι ότι οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος που χρησιμοποιούν εμφανίζουν λιγότερες απώλειες αφού έχουν να διαχειριστούν μικρό μέρος της συνολικής ισχύος 20-30% και το κόστος τους είναι μικρότερο σε σχέση με τον μετατροπέα που χρησιμοποιείται σε απευθείας οδηγούμενες από τον ανεμοκινητήρα σύγχρονες μηχανές. Βέβαια με το μετατροπέα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα έχουμε πιο αξιόπιστη λειτουργία της ανεμογεννήτριας αφού αυτός αναλαμβάνει εξ ολοκλήρου τη σύνδεση με το δίκτυο άρα μπορεί να υπάρχει άμεσος έλεγχος ενώ εδώ έχουμε κατευθείαν σύνδεση μεταξύ γεννήτριας και δικτύου.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

4.1 Είδη καλωδίων μέσης τάσης

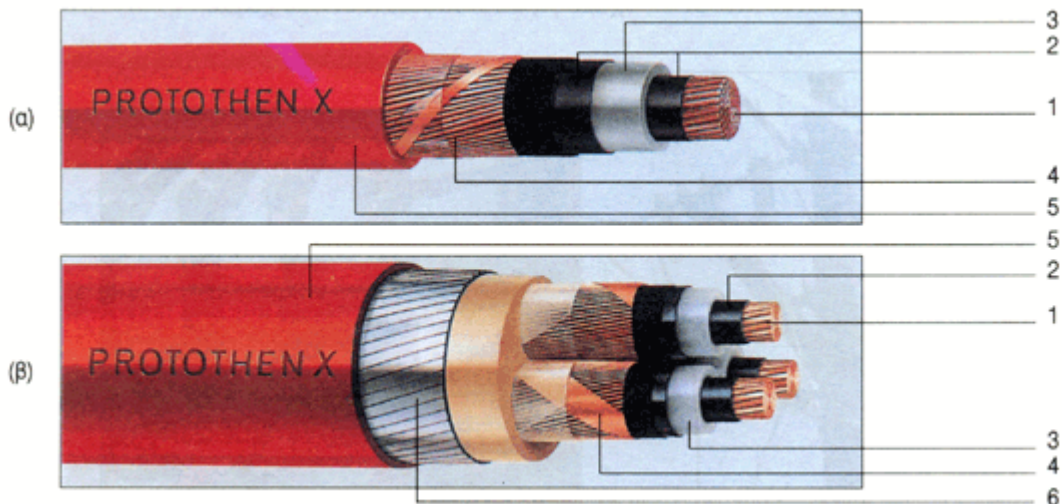
Οι αγωγοί τους είναι από χαλκό (σπάνια από αλουμίνιο) και περιβάλλονται από μία μαύρη ημιαγώγιμη ταινία που σκοπό έχει την εξομάλυνση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στο εσωτερικό του καλωδίου, μεταξύ του αγωγού και της θωράκισης.

Η μόνωσή τους είναι από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE), δηλαδή ένα πλαστικό μίγμα που έχει πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες για να αντέχει στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στο εσωτερικό του καλωδίου. Η μόνωση αυτή αντέχει για συνεχή λειτουργία σε 90°C και για χρόνο 5s (δηλαδή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος) τους 250°C.

Η θωράκιση είναι απαραίτητη στα καλώδια Μ.Τ. διότι δημιουργεί μαζί με τον αγωγό του καλωδίου, ένα ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο. Αυτή γειώνεται και στις δύο άκρες του καλωδίου στο σύστημα γείωσης μέσης τάσης. Η ύπαρξη των δύο αγωγίμων επιφανειών, δηλαδή του αγωγού φάσης και της θωράκισης με το διηλεκτρικό (= μονωτικό) μεταξύ τους δημιουργεί εκ των πραγμάτων ένα παρασιτικό πυκνωτή. Έτσι τα καλώδια μέσης τάσης χαρακτηρίζονται από τη χωρητικότητά τους (C), κάτι που δεν ισχύει στα κοινά καλώδια χαμηλής τάσης. Για καλώδια διατομής 50 mm² είναι $C = 0.25 \mu\text{F}/\text{km}$.

Έτσι, όταν διακόπτεται η τάση σε ένα καλώδιο, ο παρασιτικός πυκνωτής παραμένει φορτισμένος για αρκετές ώρες. Γι' αυτό πρέπει να γειώνουμε προσεκτικά τα καλώδια, προτού εργαστούμε στα δίκτυα των 20 kV.

Το εξωτερικό τους περίβλημα είναι πάντοτε από κόκκινο PVC για να ξεχωρίζουν από τα καλώδια χαμηλής τάσης $U_0/U = 0.6/1 \text{ kV}$ που έχουν πάντα μαύρο μανδύα από PVC.



Εικόνα 4-1 Καλώδια μέσης τάσης με μόνωση από XLPE α. μονοπολικό τύπου N2XS β. τριπολικό τύπου 2XSEYFY 1. χάλκινος αγωγός 2. ημιαγώγιμη θωράκιση κάτω και πάνω από τη μόνωση από XLPE 3. μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο 4. πλέγμα από χάλκινα συρματίδια 5. περίβλημα από PVC 6. θώρακας από πεπλατυσμένα ατσάλινα συρμάτινα

4.2 Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον τερματισμό (termination) των καλωδίων μέσης τάσης. Ο λόγος είναι ότι στο σημείο που διακόπτεται η θωράκισή του, το ηλεκτρικό πεδίο γίνεται ανομοιογενές και πολύ ισχυρό. Έτσι με την πρώτη καταπόνηση του καλωδίου (π.χ υπέρταση), η μόνωσή του καταστρέφεται (τρυπάει) και έχουμε σφάλμα μεταξύ του αγωγού φάσης και της γειωμένης θωράκισης, δηλαδή σφάλμα φάσης-γης.

Για να αποφύγουμε τα παραπάνω προβλήματα χρησιμοποιούμε, και στις δύο τις άκρες του καλωδίου, ειδικά σύνολα (κιτ) εξαρτημάτων που ονομάζονται ακροκεφαλές ή ακροκιβώτια.

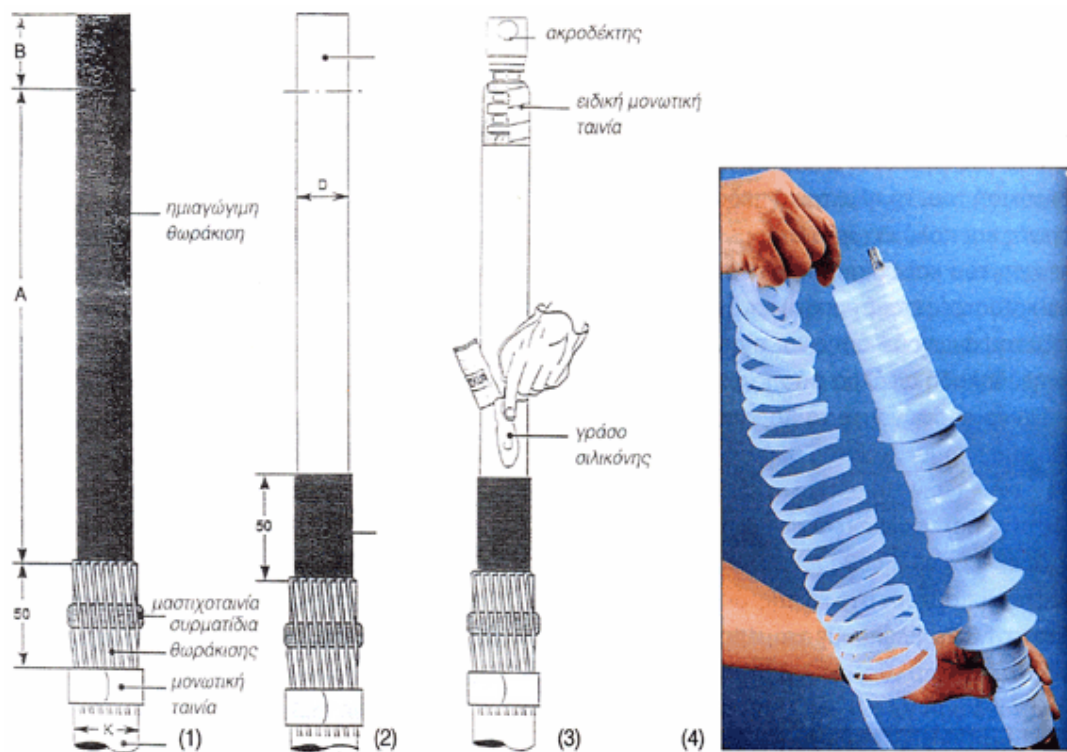
Πρέπει να ακολουθήσουμε προσεκτικά τις οδηγίες που υπάρχουν στο κιτ της ακροκεφαλής. Στην Εικόνα 4-2 βλέπουμε τα μέρη μιας πλαστικής ακροκεφαλής που χρησιμοποιείται για τον τερματισμό καλωδίων με πλαστική μόνωση. Σε γενικές γραμμές η σειρά των εργασιών για την εφαρμογή μιας πλαστικής ακροκεφαλής είναι:

- Αφαιρείται η θωράκιση σε μήκος περίπου 200 mm
- Καθαρίζεται προσεκτικά η μόνωση από την ημιαγωγή στρώση.

- Τοποθετείται το ειδικό δακτυλίδι.
- Τοποθετείται ο κώνος εξομάλυνσης (stress cone)

Σε παλιότερες εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν καλώδια με χάρτινη μόνωση, θα συναντήσουμε ακροκεφαλές από πορσελάνη γεμάτες με μονωτικό λάδι. Σε πολλούς υποσταθμούς συναντάμε πλαστικές θερμοσυστελλόμενες ακροκεφαλές (Εικόνα 4-2).

Σήμερα είναι πολύ διαδεδομένες οι ψυχοσυστελλόμενες ακροκεφαλές.



Εικόνα 4-2 Τερματισμός και σύνδεση καλωδίων σε κυψέλη μέσης τάσης (1)(2)(3)
Μονοπολικό πλαστικό θερμοσυστελλόμενο ακροκιβώτιο (4)

Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα για την κατασκευή μιας ψυχοσυστελλόμενης ακροκεφαλής:

1. Αφαιρούμε τον εξωτερικό μανδύα σε μήκος $A + B$. Οι διαστάσεις A , B υπάρχουν στις οδηγίες που συνοδεύει το ακροκιβώτιο. Για ακροκιβώτια των 20kV είναι, $A = 200 \text{ mm}$ και $B = 40 \text{ mm}$.
2. Τοποθετούμε τη μαστιχοταινία και λυγίζουμε τα συρματίδια της θωράκισης πάνω στη μαστιχοταινία. Τα στερεώνουμε με μονωτική ταινία.

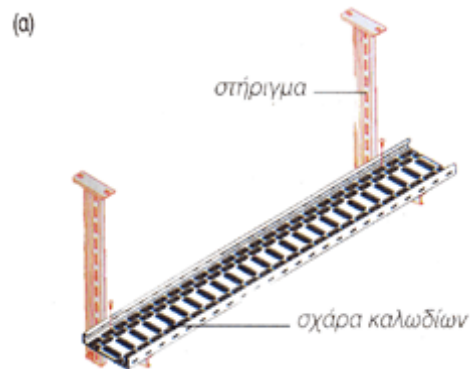
3. Αφαιρούμε την ημιαγώγιμη θωράκιση μέχρι 50 mm μπροστά από την άκρη του μανδύα.
4. Αφαιρούμε την κύρια μόνωση σύμφωνα με τη διάσταση Β.
5. Τοποθετούμε και συμπιέζουμε τον ακροδέκτη χρησιμοποιώντας χειροκίνητη ή υδραυλική πρέσα.
6. Τυλίγουμε τον ακροδέκτη με την ειδική μονωτική ταινία, μέχρι να φτάσει τη διάμετρο της κύριας μόνωσης.
7. Απλώνουμε το γράσο σιλικόνης στο τέλος της ημιαγώγιμης θωράκισης και για 40 mm πάνω στην κύρια μόνωση, προσπαθώντας να γεμίσουμε το σκαλοπάτι που δημιουργείται μεταξύ κύριας μόνωσης και ημιαγώγιμης θωράκισης.
8. Φοράμε το ακροκιβώτιο στο καλώδιο (τα πιάτα να κοιτάζουν προς τα κάτω) και το φέρνουμε μέχρι τη μονωτική ταινία.
9. Τραβάμε την άκρη του πλαστικού ελατηρίου προσέχοντας το ακροκιβώτιο να είναι στη θέση του.

4.3 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες

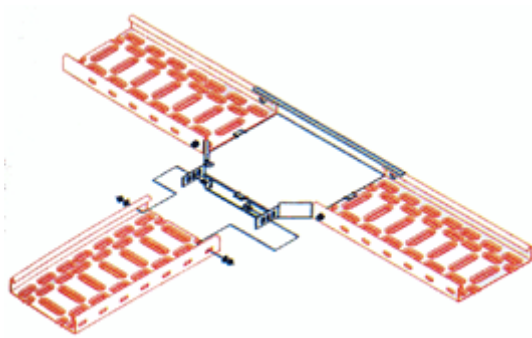
Η εγκατάσταση των καλωδίων μέσης τάσης στον αέρα γίνεται πάνω σε προκατασκευασμένες διάτρητες μεταλλικές σχάρες καλωδίων (Σχήμα 4-1). Οι σχάρες είναι διάτρητες για να μην εμποδίζουν το φυσικό αερισμό (ψύξη) των καλωδίων.

Κατασκευάζονται από γαλβανισμένη λαμαρίνα πάχους 0,5 έως 2 mm και σε μήκη από 2 έως 4 m. Οι σχάρες στηρίζονται στον τοίχο ή στην οροφή, ανά 1.5m περίπου, με ειδικά μεταλλικά στηρίγματα. Οι κατασκευαστές σχαρών καλωδίων, κατασκευάζουν και μια σειρά από εξαρτήματα όπως γωνίες, ταυ, σταυρούς κ.λπ (Σχήμα 4-2 και Εικόνα 4-3), που μας επιτρέπουν να συνδέσουμε τις σχάρες μεταξύ τους και να δημιουργήσουμε το δίκτυο των σχαρών καλωδίων μέσης και χαμηλής τάσης. Πάνω στις σχάρες μέσης τάσης τοποθετούνται μόνο τα καλώδια μέσης τάσης, ενώ στις σχάρες χαμηλής τάσης μόνο τα καλώδια χαμηλής τάσης.

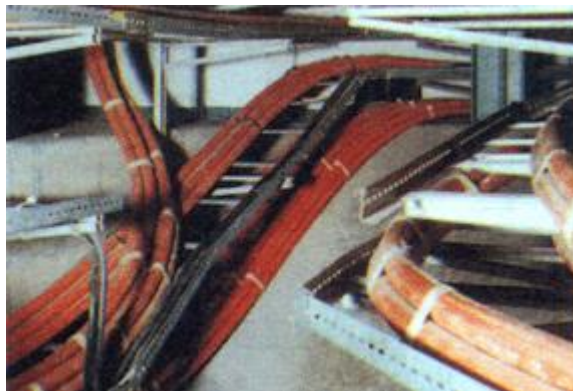
Τα καλώδια δένονται με πλαστικά κολάρα πάνω στις σχάρες ανά 20 cm περίπου. Μεταξύ των καλωδίων αφήνουμε απόσταση όση είναι περίπου η διάμετρος τους.



Σχήμα 4-1 Σχάρα καλωδίων με τα στηρίγματά της



Σχήμα 4-2 Εξάρτημα ταν για τη σύνδεση τριών σχαρών



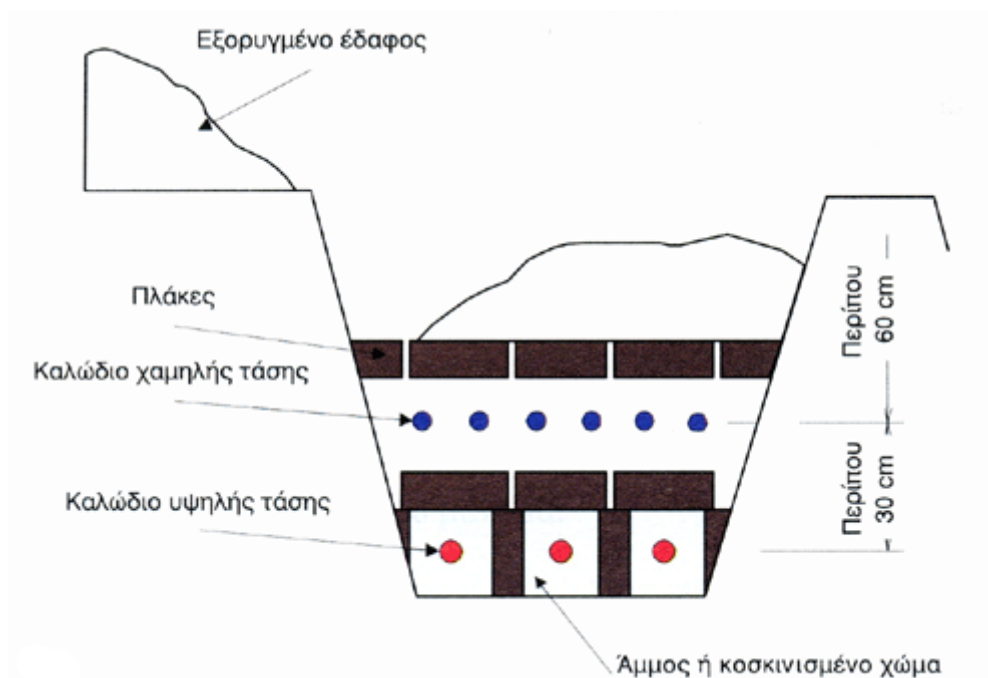
Εικόνα 4-3 Δέσιμο καλωδίων πάνω στις σχάρες

4.4 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος

Η εγκατάσταση των καλωδίων στο έδαφος γίνεται μέσα σε ειδικά χαντάκια που ανοίγονται κατά μήκος των δρόμων. Αν στο χαντάκι οδεύουν και καλώδια χαμηλής τάσης, τότε τα καλώδια μέσης τάσης τοποθετούνται στο κάτω μέρος του χαντακιού και διαχωρίζονται μεταξύ τους και με τα καλώδια χαμηλής τάσης με τσιμεντένιες πλάκες (Εικόνα 4-4).

Τα καλώδια παραδίδονται από το εργοστάσιο κατασκευής τους τυλιγμένα σε ξύλινα στροφεία (Εικόνα 4-5). Η τοποθέτηση των καλωδίων στο χαντάκι γίνεται με προσεκτικό ξετύλιγμα από το στροφείο και με τη βοήθεια ειδικών κυλιστήρων (ράουλα) που επιτρέπουν το τράβηγμα του καλωδίου χωρίς να τραυματίζεται η μόνωσή τους (Εικόνα 4-5).

Σε όλο το μήκος της διαδρομής τους τα καλώδια τοποθετούνται απ' ευθείας μέσα στο χαντάκι και καλύπτονται με άμμο ή κοσκινισμένο χώμα. Στα σημεία που το χαντάκι διασχίζει κάποιο δρόμο, τοποθετούνται σε πλαστικούς σωλήνες από PVC διαμέτρου $D > 100$ mm. Έτσι σε περίπτωση ζημιάς και αντικατάστασής τους, δε χρειάζεται να ξανασκαφτεί ο δρόμος.



Εικόνα 4-4 Τοποθέτηση καλωδίων στο έδαφος



Εικόνα 4-5 Μηχανισμός τοποθέτησης καλωδίων στο έδαφος

5 ΚΕΦΑΛΙΟ 5 - ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΓΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Ο κεραυνός είναι η μεγαλύτερη απειλή για τις ανεμογεννήτριες. Τα πτερύγια και οι πύργοι είναι επιρρεπείς σε κεραυνούς και οι απαγωγείς αστραπής δεν είναι τα κατάλληλα εργαλεία για την προστασία των ανεμογεννητριών από τα κεραυνικά πλήγματα.

Ο κεραυνός χτυπά συνήθως το αιχμηρότερο και ψηλότερο αντικείμενο σε μια περιοχή, επειδή τα φορτία εδάφους που εκπέμπονται από ψηλά αντικείμενα φτάνουν στα αντίθετα φορτισμένα σύννεφα νωρίτερα από τα φορτία χαμηλότερων αντικειμένων. Από την άλλη πλευρά, το ρεύμα αστραπής προσπαθεί να φτάσει στο έδαφος ακολουθώντας την συντομότερη και πιο αγωγίμη διαδρομή. Γι' αυτό, μια ανεμογεννήτρια σε ένα αιολικό πάρκο είναι ο πρωταρχικός στόχος για κεραυνούς σε μια ανοιχτή περιοχή.



Εικόνα 5-1 Πλήγμα κεραυνού σε ανεμογεννήτριες

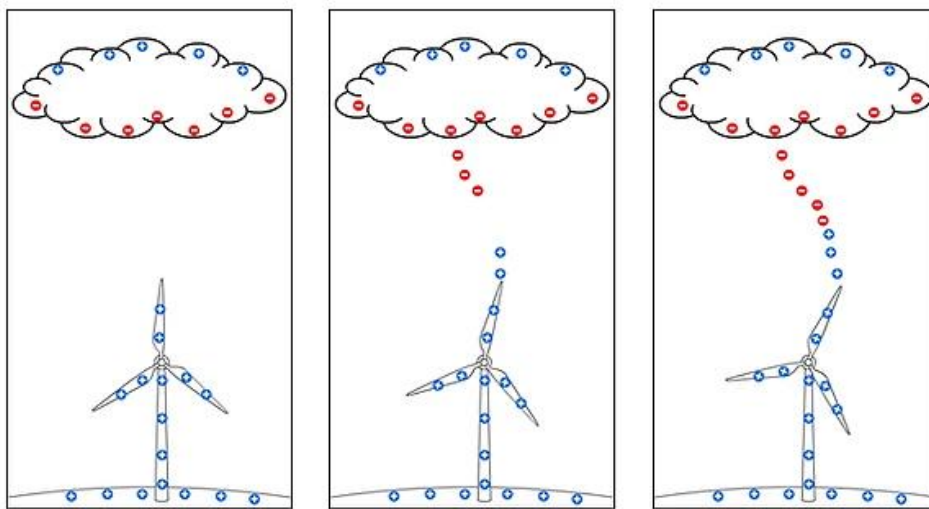
5.1 Απειλή από κεραυνούς στις ανεμογεννήτριες

Το ύψος των ανεμογεννητριών φτάνει τα 200 μέτρα με πύργους ύψους 40 έως 140 μέτρων και μήκος πτερυγίου 20 έως 60 μέτρα. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα από σύνθετο υλικό από υαλοβάμβακα, αλλά είναι επιρρεπείς σε κεραυνούς λόγω των αγωγίμων καλωδίων στο εσωτερικό τους. Επίσης, ο πύργος είναι κατασκευασμένος από αγωγίμο υλικό και αποτελεί ένα εύκολο σημείο για κεραυνούς.

Ο κεραυνός χτυπά κυρίως τις ανεμογεννήτριες στην άκρη των πτερυγίων. Τα πτερύγια έχουν χάλκινους αγωγούς μέσα και απαγωγούς αστραπής στην επιφάνεια για προστασία από κεραυνούς. Σκοπός αυτού του συνδυασμού είναι

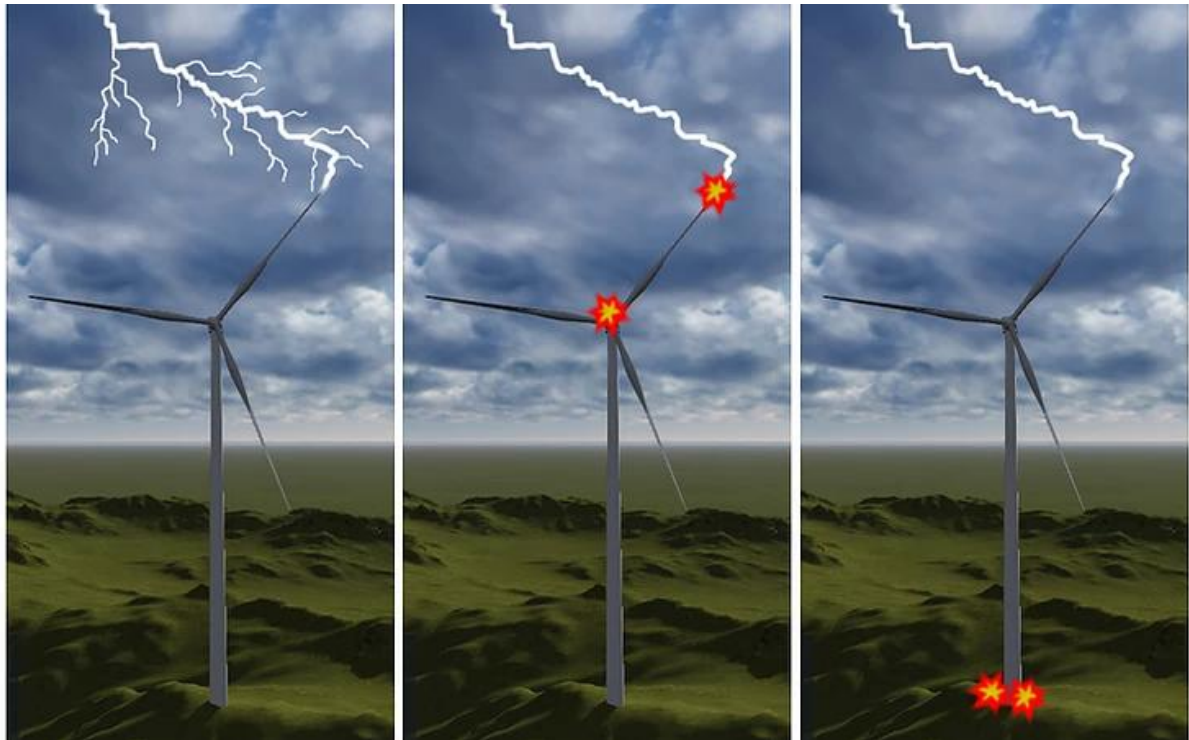
να περάσει το ρεύμα του κεραυνού από τους απαγωγείς στους χάλκινους αγωγούς και τέλος στο σύστημα γείωσης.

Ωστόσο, οι κεραυνοί συνοδεύονται ως επί το πλείστον με έντονη βροχή και αυτό καθιστά την επιφάνεια του πτερυγίου και το εσωτερικό μέρος υγρό και αγωγίμο ώστε το ρεύμα του κεραυνού να περνάει από το πτερύγιο ως διαδρομή προς το έδαφος. Όπως κάθε άλλη πηγή υψηλής τάσης, ο κεραυνός προτιμά να ακολουθεί μεγάλες επιφάνειες και συνεπώς το ρεύμα κεραυνού ρέει στην επιφάνεια αντί του αγωγού χαλκού μέσα στο πτερύγιο



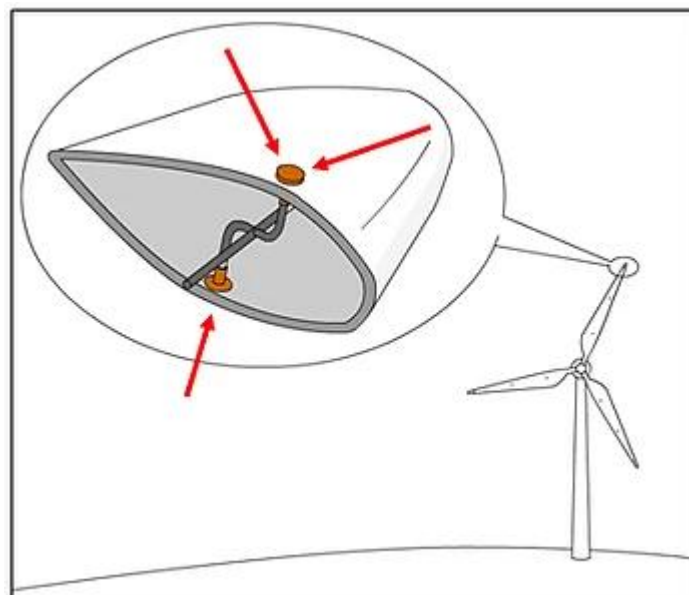
Εικόνα 5-2 Διαδικασία ενεργοποίησης κεραυνού

Όταν ο κεραυνός χτυπήσει το πτερύγιο, καταστρέφει την άκρη λόγω κρουστικού ρεύματος και ταχύτατης αύξηση της θερμοκρασίας. Το κεραυνικό ρεύμα προσπαθεί να φτάσει στο έδαφος με τον γρηγορότερο δυνατό τρόπο βλάπτοντας το περίβλημα και τον εξοπλισμό μέσα, όπως ρότορα, κιβώτιο ταχυτήτων και γεννήτρια. Τέλος, στο δρόμο προς το έδαφος, μπορεί να προκαλέσει ζημιά στους μετασχηματιστές στο κάτω μέρος του πύργου.



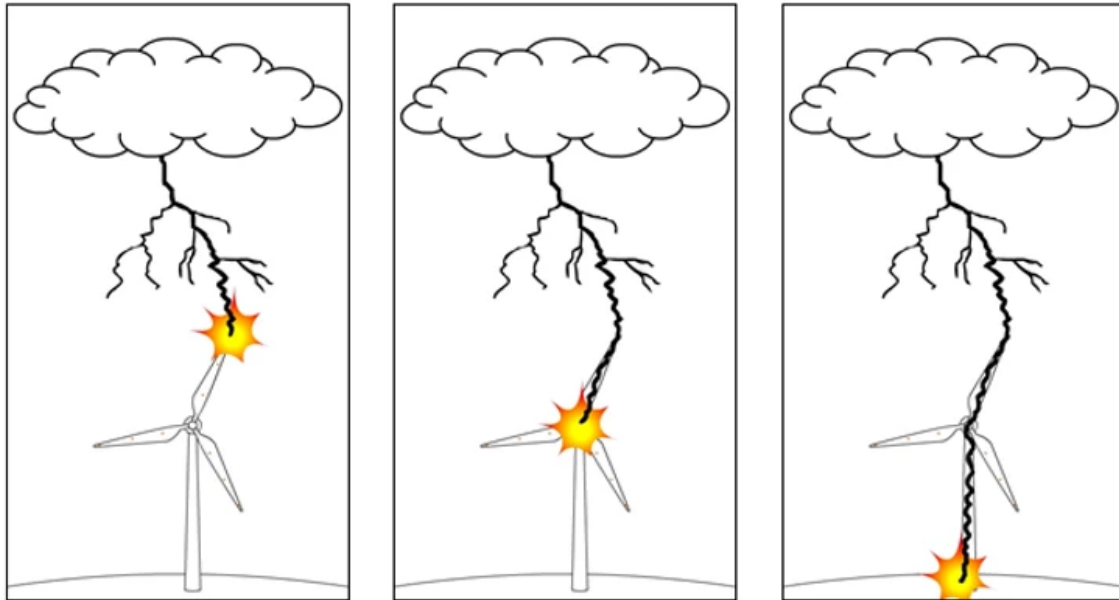
Εικόνα 5-3 Διαδρομή του κεραυνού μέσα στην ανεμογεννήτρια

Οι αγωγοί αστραπής σε μορφή κυκλικών μεταλλικών δίσκων τοποθετούνται και στις δύο πλευρές της επιφάνειας του πτερυγίου. Αυτοί οι αγωγοί συνδέονται μεταξύ τους με αγωγούς μέσα στο πτερύγιο που συνδέονται μεταξύ τους με τους αγωγούς κάτω μέσα στον πύργο και τέλος με το σύστημα γείωσης στο κάτω μέρος.



Εικόνα 5-4 Απαγωγός κεραυνού

Σκοπός της εφαρμογής αυτής είναι να προσελκύσει κεραυνούς στους απαγωγείς και να μην αφήσει κεραυνούς να χτυπήσουν σε οποιοδήποτε άλλο σημείο στα πτερύγια. Ωστόσο, το νερό που συλλέγεται μέσα στις άκρες του πτερυγίου και επίσης στην επιφάνειά το προσελκύει κεραυνούς στις άκρες αντί στους απαγωγείς και προκαλεί ζημιές.



Εικόνα 5-5 Ζημιά από πλήγμα κεραυνού μπορεί να συμβεί στα πτερύγια, στη νασέλα αλλά και στον πύργο

Το ρεύμα του κεραυνού μπορεί να ρέει μέσα από την επιφάνεια του πτερυγίου ή μέσα στους εσωτερικούς αγωγούς μετά από πλήγμα στο άκρο του. Και στις δύο περιπτώσεις, μπορεί να καταστρέψει το περίβλημα και τον εξοπλισμό στο εσωτερικό και επίσης να καταστρέψει τους μετασχηματιστές στο κάτω μέρος του πύργου.

Με μια καλή εφαρμογή συστήματος γείωσης, οι ζημιές στο περίβλημα και στον πύργο μπορούν να ελαχιστοποιηθούν, ωστόσο μελέτες και εμπειρίες από παρόμοια περιστατικά δείχνουν ότι αυτό δεν αρκεί για την προστασία του πύργου από κεραυνούς.

5.2 Σύστημα γείωσης

Τα ακόλουθα πρότυπα αποτελούν τη βάση για την εγκατάσταση των συστημάτων γείωσης σε ανεμογεννήτριες

- IEC 61400-24 - Διεθνές πρότυπο – Ανεμογεννήτριες-Μέρος 24: Κεραυνική προστασία
- IEC 60364-5-54-Διεθνές πρότυπο- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις Χ.Τ
- IEC 61936-1-Διεθνές πρότυπο-Εγκαταστάσεις ισχύος άνω του 1 kV a.c.
- IEC 62305-3-Διεθνές πρότυπο-Προστασία από αστραπή - Μέρος 3
- DIN 18014 - Ηλεκτρόδιο γείωσης θεμελίωσης

5.2.1 DIN 18014: Ηλεκτρόδιο γείωσης θεμελίωσης

Ο βασικός σχεδιασμός ενός ηλεκτροδίου θεμελίωσης καθορίζεται στο γερμανικό πρότυπο DIN 18014. Εάν ένα κτίριο είναι εξοπλισμένο με σύστημα προστασίας από κεραυνούς, Πρέπει επίσης να τηρούνται οι πρόσθετες απαιτήσεις στο IEC 62305-3.

Τα ηλεκτρόδια γείωσης θεμελίωσης αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ηλεκτρικής εγκατάστασης (DIN 18014, τμήμα 4) και εξασφαλίζουν λειτουργίες σχετικές με την ουσιαστική ασφάλεια. Επομένως, πρέπει να εγκατασταθούν από ή υπό την επίβλεψη ηλεκτρολόγου (ειδικού αντικεραυνικής προστασίας).

Τα ηλεκτρόδια γείωσης θεμελίωσης πρέπει να εγκατασταθούν ως κλειστός δακτύλιος και τακτοποιημένα στα θεμέλια των εξωτερικών τοίχων του κτίριο ή στην πλάκα θεμελίωσης σύμφωνα με το DIN 18014, ενότητα 5.1.

5.2.2 Σύστημα τερματισμού γης

Το σύστημα τερματισμού γης μιας ανεμογεννήτριας έχει τα εξής καθήκοντα:

- Προστατευτική γείωση με στόχο την ασφαλή σύνδεση του ηλεκτρικού εξοπλισμού στο έδαφος και προστασία των προσώπων και της ιδιοκτησία σε περίπτωση ηλεκτρικού σφάλματος.
- Λειτουργική γείωση με στόχο την ασφάλεια και απρόσκοπτη λειτουργία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

- Γείωση από κεραυνούς με αποστολή την ασφαλή διαδρομή που οδηγεί το ρεύμα κεραυνού από τους καθοδικούς αγωγούς στο έδαφος.

Ένα μόνο, κοινό σύστημα τερματισμού γης για όλους τους σκοπούς (π.χ σύστημα μέσης τάσης, παροχή χαμηλής τάσης, προστασία από κεραυνούς, ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, τηλεπικοινωνίες και συστήματα ελέγχου) εξυπηρετεί όλους τους σκοπούς προστασίας

Τα θεμέλια από οπλισμένο σκυρόδεμα των ανεμογεννητριών λειτουργεί ως ηλεκτρόδιο γείωσης. Παρέχουν χαμηλή αντίσταση γείωσης και αντιπροσωπεύουν μια εξαιρετική βάση για ισοδυναμικές συνδέσεις.

Ο σχεδιασμός συστημάτων τερματισμού γης σύμφωνα με το IEC 61936-1 πρέπει να πληροί τέσσερις απαιτήσεις:

- Πρέπει να εξασφαλίζεται μηχανική αντοχή και αντοχή στη διάβρωση
- Πρέπει να αντιμετωπιστεί το μέγιστο ρεύμα σφάλματος (υπολογισμένο) από θερμική άποψη
- Πρέπει να αποφεύγεται ζημιά σε αντικείμενα και εξοπλισμό
- Τα άτομα πρέπει να προστατεύονται από την τάση που εμφανίζεται στα συστήματα σε περίπτωση εμφάνισης ρεύματος από σφάλμα

Κατά συνέπεια, οι ακόλουθες παράμετροι είναι σημαντικές για τη διαστασιολόγηση του συστήματος τερματισμού γης:

- Σύνθεση του περιβάλλοντος εδάφους
- Πιθανά ρεύματα βραχυκύκλωσης σε περίπτωση βλάβης

Σε έναν στρόβιλο με διαφορετικές ονομαστικές τάσεις, αυτές οι απαιτήσεις πρέπει να πληρούνται για κάθε επίπεδο υψηλής τάσης. Ταυτόχρονες βλάβες σε γαλβανικά απομονωμένα μέρη δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψη.

Ο ουδέτερος ή αγωγός PEN του συστήματος χαμηλής τάσης μπορεί να συνδεθεί με το σύστημα γείωσης της μέσης τάσης εάν πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις σε περίπτωση σφάλματος γείωσης στο σύστημα μέσης τάσης:

- Δεν θα εμφανιστεί επικίνδυνη τάση αφής στο σύστημα χαμηλής τάσης ή στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή που συνδέονται με αυτό

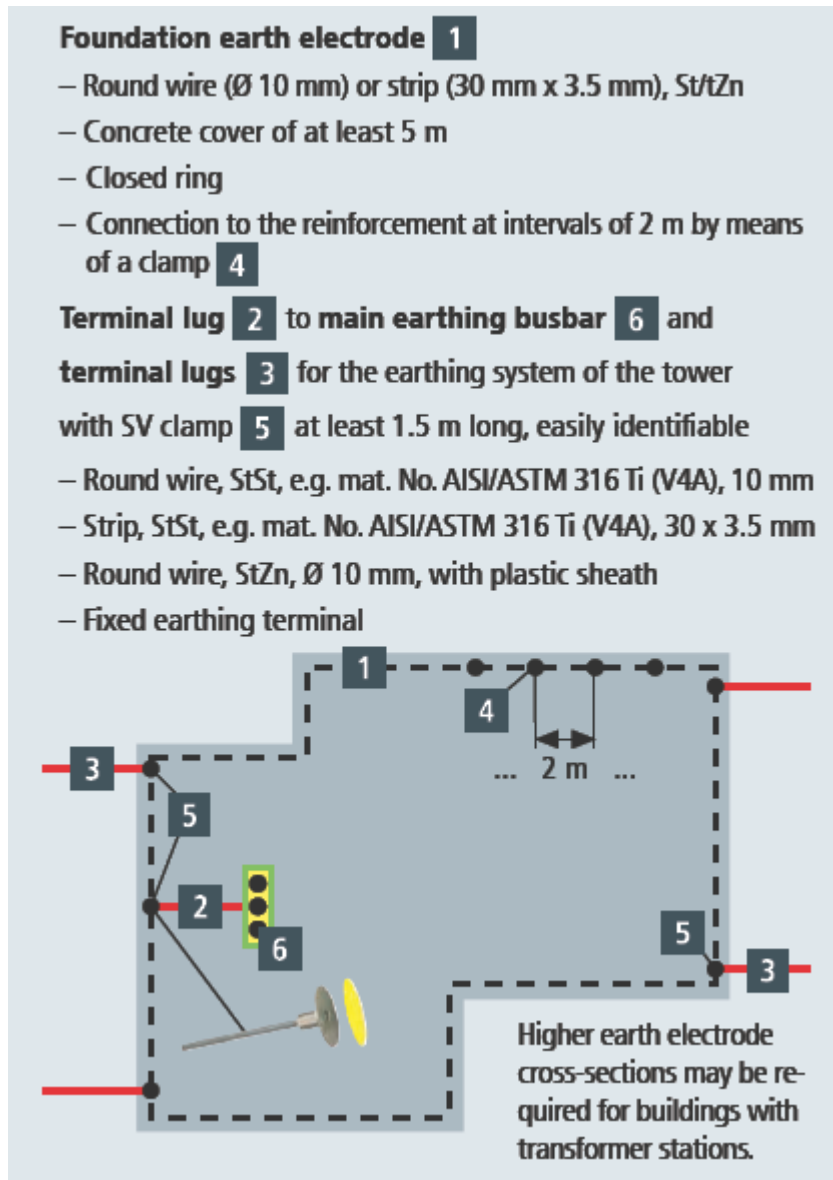
- Η τιμή της τάσης στις συσκευές χαμηλής τάσης στους καταναλωτές δεν θα υπερβαίνει τις τιμές που ορίζονται στο IEC 60364-4-41 ως αποτέλεσμα της δυνητικής αύξησης της τάσης στη χαμηλή τάση.

5.3 Ηλεκτρόδια γείωσης θεμελίωσης (περιμετρική ταινία γείωσης)

Τα ηλεκτρόδια γείωσης στη Γερμανία, πρέπει να σχεδιάζονται και να εγκαθίστανται σύμφωνα με το DIN 18014. Αποτελούν μέρος της ηλεκτρικής εγκατάστασης (DIN 18014, ενότητα 4) και εκπληρώνουν τις βασικές λειτουργίες ασφάλειας. Πρέπει να εγκατασταθούν ως κλειστός δακτύλιος και διατάσσονται στη βάση των εξωτερικών τοίχων του κτιρίου. Καλύπτονται από όλες τις πλευρές με σκυρόδεμα 5 cm. Πρέπει να είναι γαλβανισμένα ή μη γαλβανισμένα, στρογγυλά ή λωρίδα χάλυβα.

- Ο στρογγυλός χάλυβας πρέπει να έχει ελάχιστη διάμετρο 10 mm.
- Ο χάλυβας ταινίας πρέπει να έχει ελάχιστες διαστάσεις 30 mm x 3,5 mm

Το ηλεκτρόδιο γείωσης θεμελίωσης πρέπει να είναι συνδεδεμένο στην ισοδυναμική ράβδο συγκόλλησης μέσα στην ανεμογεννήτρια μέσω ένα στοιχείο σύνδεσης.



Σχήμα 5-1 Διασύνδεση θεμελιακής γείωσης με τη μπάρα γείωσης και με τους αγωγούς καθόδου

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62305-3 για την προστασία από κεραυνούς, το ηλεκτρόδιο γείωσης θεμελίωσης πρέπει να διαθέτει αναμονές ακροδεκτών για σύνδεση των αγωγών καθόδου του ΣΑΠ.



Εικόνα 5-6 Σύνδεση της γείωσης με την ταινία γείωσης



Εικόνα 5-7 Η περιμετρική ταινία στη βάση του οπλισμού

Η ταινία γείωσης πρέπει να συνδεθεί με ασφάλεια στον οπλισμό σε διαστήματα 2 m με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ηλεκτρικά αγωγίμο. Αυτό γίνεται με συγκόλληση, σύσφιξη ή πρεσσάρισμα. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται συνδετήρες σφήνας εάν είναι σκυρόδεμα συμπιέζεται μηχανικά (π.χ. από δονητές).



Εικόνα 5-8 Σύνδεση της τανίας γείωσης με το ΣΑΠ

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ

Οι διακόπτες ισχύος ή αυτόματοι διακόπτες είναι τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η διακοπή των βραχυκυκλωμάτων στα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής και επομένως αποτελούν κρίσιμα και αναπόσπαστα εξαρτήματα αυτών των δικτύων. Επίσης χρησιμοποιούνται για τους συνήθεις χειρισμούς του δικτύου, δηλαδή τις ζεύξεις και αποζεύξεις των γραμμών, των μετασχηματιστών, των γεννητριών κ.λ.π.

Οι διακόπτες περιλαμβάνουν ένα ζεύγος επαφών, μια σταθερή και μια κινητή. Ένας μηχανισμός κινεί την κινητή επαφή για να κλείσει ή να διακόψει το κύκλωμα. Ο μηχανισμός μπορεί να είναι ένα απλό σωληνοειδές, ένας μηχανισμός φορτισμένου ελατηρίου, υδραυλικός μηχανισμός, μηχανισμός πνευματικός ή μικτός υδραυλικοπνευματικός. Όταν απαιτείται διακοπή του κυκλώματος ο μηχανισμός κινεί και απομακρύνει τις επαφές, μεταξύ των οποίων σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό τόξο. Κύριο καθήκον λοιπόν του διακόπτη είναι να σβήσει το τόξο για να διακοπεί το ηλεκτρικό κύκλωμα. Η σβέση του τόξου επιτυγχάνεται με την εκτόξευση πάνω του ενός μέσου, δηλαδή μονωτικού ελαίου, πεπιεσμένου αέρα, ή άλλου αερίου μονωτικού μέσου, το οποίο χαρακτηρίζει και τον τύπο του διακόπτη. Έτσι οι κυριότεροι τύποι διακοπτών ισχύος υψηλής και μέσης τάσεως ανάλογα με το μέσο σβέσης είναι οι εξής :

- Διακόπτες ελαίου
- Διακόπτες πτωχού ελαίου
- Διακόπτες πεπιεσμένου αέρα
- Διακόπτες εξαφθοριούχου θείου (SF₆)
- Διακόπτες κενού.

Δεύτερον, ανάλογα με τα επίπεδα τάσης που λειτουργούν οι διακόπτες, υπάρχουν τρεις τύποι διακοπτών:

- Διακόπτες κυκλώματος χαμηλής τάσης
- Διακόπτες κυκλώματος μέσης τάσης
- Διακόπτες κυκλώματος υψηλής τάσης

Με βάση την αρχή λειτουργίας του διακόπτη, υπάρχουν τρεις τύποι διακοπών:

- Υδραυλικοί διακόπτες κυκλώματος
- Πνευματικοί διακόπτες κυκλώματος
- Διακόπτες κυκλώματος ενεργοποιημένοι από την άνοιξη

Μια άλλη πολύ σημαντική ταξινόμηση εξαρτάται από τη χρήση του διακόπτη κυκλώματος. Πρέπει να προσέξουμε εάν χρησιμοποιείται μέσα σε κτίριο ή πρέπει να εγκατασταθεί κάπου σε εξωτερικούς χώρους. Αυτό συμβαίνει επειδή το μηχανικό σώμα του διακόπτη πρέπει να σχεδιαστεί ανάλογα ή αλλιώς το κύκλωμα μπορεί να υποστεί ζημιά. Υπάρχουν δύο τύποι διακοπών:

- Διακόπτες κυκλώματος εξωτερικού χώρου
- Εσωτερικοί διακόπτες κυκλώματος

6.1 Τα μέρη του διακόπτη ισχύος

Ανεξάρτητα από το μονωτικό μέσο, όλοι οι διακόπτες ισχύος αποτελούνται από τα ίδια μέρη. Στην Εικόνα 6-1 βλέπουμε ένα διακόπτη ισχύος SF6 ονομαστικής τάσης 24 kV και ονομαστικού ρεύματος 400 A. Ο μηχανισμός λειτουργίας του διακόπτη ισχύος βασίζεται σε δύο ελατήρια που αποθηκεύουν μηχανική ενέργεια, όταν τανυστούν (τεντωθούν). Τα δύο ελατήρια είναι:

- το ελατήριο κλεισίματος
- το ελατήριο ανοίγματος

Τα δύο ελατήρια ξεχωρίζουν από το μέγεθός τους. Το ελατήριο κλεισίματος είναι μεγαλύτερο και, συνεπώς, ισχυρότερο από το ελατήριο ανοίγματος, επειδή το ελατήριο κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος.

Η απελευθέρωση και των δύο ελατηρίων δίνει κίνηση στον ίδιο άξονα. Στον άξονα αυτό συνδέονται με μοχλούς από μονωτικό υλικό, οι κινητές επαφές του διακόπτη ισχύος. Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος περιστρέφει τον άξονα, έτσι ώστε οι κινητές επαφές να έλθουν σε επαφή με τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης κλείνει. Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος περιστρέφει τον άξονα κατά την αντίθετη φορά, ώστε οι κινητές επαφές να απομακρυνθούν από τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης ανοίγει.

Η λειτουργία του αυτόματου διακόπτη ξεκινά με την τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος. Η τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με ένα μοχλό (μανιβέλα) (2)
- Ηλεκτρικά με τη βοήθεια ενός μικρού ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί με ΣΡ ή ΕΡ

Το ελατήριο κλεισίματος, αφού τανυθεί, αυτοσυγκρατείται.. Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με το κουμπί κλεισίματος (4)
- Ηλεκτρικά στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη κλεισίματος (closing solenoid)

Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος που αυτοσυγκρατείται. Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με το κουμπί ανοίγματος (3)
- Ηλεκτρικά στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη ανοίγματος (opening solenoid, shunt release, trip coil)



Εικόνα 6-1 Διακόπτης ισχύος μέσης τάσης με μόνωση αερίου 1.Ρελέ προστασίας 2. Άξονας για την τοποθέτηση των ελατηρίων κλεισίματος στην χειροκίνητη λειτουργία 3. Μπουτόν κλεισίματος 4.Μπουτόν έναρξης 5. Δείκτης για το κλείσιμο των ελατηρίων (κίτρινο στη φόρτιση και λευκό στην αποφόρτιση) 6. Διάταξη κλειδώματος του χώρου του αερίου SF6 υπό πίεση με σηματοδότηση (συσκευή με διακόπτη πίεσης) 7. Διακόπτες σηματοδότησης για συσκευή ανοικτή ή κλειστή 8. Ακροδέκτες μέσης τάσης 9.Αισθητήρας ρεύματος για τη λειτουργία του ρελέ προστασίας 10. Διακόπτες πόλων 11. Κλειδαριά 12.Μετρητής λειτουργίας

6.2 Αυτόματοι διακόπτες ελαίου

Σε τέτοιους διακόπτες, κάποιο μονωτικό λάδι (π.χ. λάδι μετασχηματιστή) χρησιμοποιείται ως μέσο σβέσης τόξου. Οι επαφές ανοίγουν κάτω από το λάδι και δημιουργείται ένα τόξο μεταξύ τους. Η θερμότητα του τόξου εξατμίζει το περιβάλλον λάδι και το διαχωρίζει σε αέριο υδρογόνο σε υψηλή πίεση. Το αέριο υδρογόνο καταλαμβάνει όγκο περίπου χίλιες φορές περισσότερο από το έλαιο που αποσυντίθεται. Συνεπώς, το έλαιο απομακρύνεται από το τόξο και μια φυσαλίδα αερίου υδρογόνου περιβάλλει την περιοχή του τόξου και παρακείμενα τμήματα των επαφών.

Η εξαφάνιση του τόξου διευκολύνεται κυρίως από δύο διαδικασίες. Πρώτον, το αέριο υδρογόνο έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα και ψύχει το τόξο, βοηθώντας έτσι τον απιονισμό του μέσου μεταξύ των επαφών. Δεύτερον, το

αέριο δημιουργεί αναταράξεις στο λάδι και το οδηγεί στο διάστημα μεταξύ των επαφών, εξαλείφοντας έτσι τα προϊόντα τόξου από τη διαδρομή τόξου. Το αποτέλεσμα είναι ότι το τόξο σβήνει και το ρεύμα του κυκλώματος διακόπτεται.

6.2.1 Πλεονεκτήματα των διακοπών λαδιού:

Τα πλεονεκτήματα του λαδιού ως μέσο σβέσης τόξου είναι:

- Απορροφά την ενέργεια του τόξου για να αποσυνθέσει το λάδι σε αέρια που έχουν εξαιρετικές ιδιότητες ψύξης.
- Λειτουργεί ως μονωτικό και επιτρέπει μικρότερη απόσταση μεταξύ των αγωγών και των γειωμένων εξαρτημάτων.
- Το περιβάλλον λάδι παρουσιάζει επιφάνεια ψύξης σε κοντινή απόσταση με το τόξο.

6.2.2 Μειονεκτήματα των διακοπών λαδιού:

Τα μειονεκτήματα του λαδιού ως μέσο σβέσης τόξου είναι:

- Είναι εύφλεκτο και υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς.
- Μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό μείγμα με αέρα
- Τα προϊόντα τόξου (π.χ. άνθρακας) παραμένουν στο λάδι και η ποιότητά του επιδεινώνεται με διαδοχικές λειτουργίες. Αυτό απαιτεί περιοδικό έλεγχο και αντικατάσταση λαδιού.

6.2.3 Τύποι διακόπτες κυκλώματος λαδιού:

Οι διακόπτες λαδιού βρίσκουν εκτεταμένη χρήση στο σύστημα ισχύος. Αυτά μπορούν να ταξινομηθούν στους ακόλουθους τύπους:

- Κανονικοί διακόπτες λαδιού που χρησιμοποιούν μεγάλη ποσότητα λαδιού. Το λάδι πρέπει να εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Πρώτον, σβήνει το τόξο κατά το άνοιγμα των επαφών και δεύτερον, μονώνει τα τρέχοντα αγωγίμα μέρη το ένα από το άλλο και από τη γειωμένη δεξαμενή. Τέτοιοι διακόπτες μπορούν να ταξινομηθούν σε: (α) Διακόπτες κυκλώματος λαδιού απλής διακοπής (β) Διακόπτες κυκλώματος λαδιού ελέγχου τόξου.
- Διακόπτες κυκλώματος πτωχού ελαίου που χρησιμοποιούν την ελάχιστη ποσότητα λαδιού. Σε αυτούς τους διακόπτες, το λάδι χρησιμοποιείται

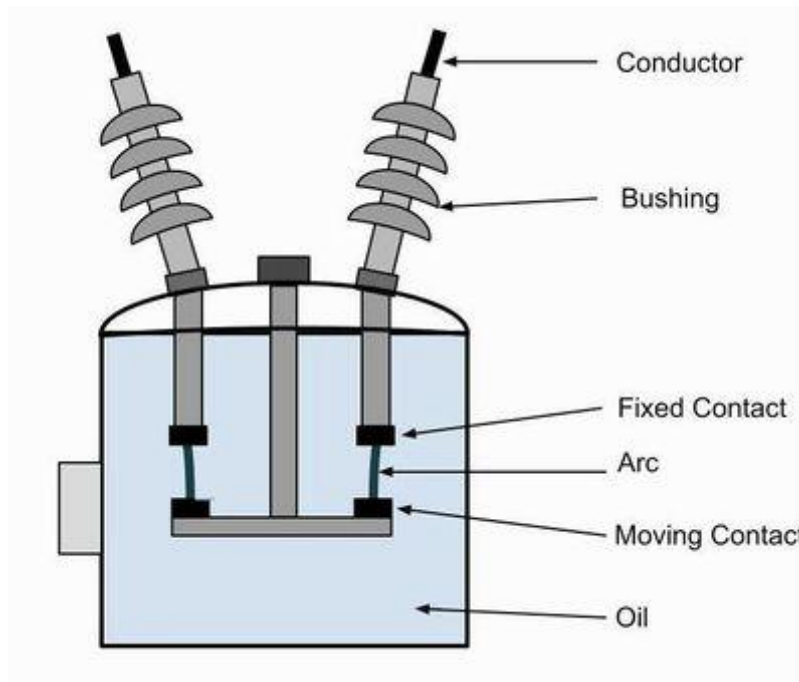
μόνο για την εξαφάνιση τόξου. τα τρέχοντα αγώγιμα μέρη είναι μονωμένα με αέρα ή πορσελάνη ή οργανικό μονωτικό υλικό.

6.2.3.1 α) Διακόπτες λαδιού απλής διακοπής

Ένας διακόπτης λαδιού απλής διακοπής περιλαμβάνει την απλή διαδικασία διαχωρισμού των επαφών κάτω από ολόκληρο το λάδι στη δεξαμενή. Δεν υπάρχει ειδικό σύστημα ελέγχου τόξου εκτός από την αύξηση του μήκους που προκαλείται από το διαχωρισμό των επαφών. Η εξαφάνιση του τόξου συμβαίνει όταν επιτευχθεί ένα ορισμένο κρίσιμο κενό μεταξύ των επαφών.

Ο διακόπτης λαδιού απλής διακοπής είναι ο πρώτος τύπος από τον οποίο έχουν αναπτυχθεί όλοι οι άλλοι διακόπτες. Έχει πολύ απλή κατασκευή. Αποτελείται από σταθερές και κινούμενες επαφές κλεισμένες σε μια ισχυρή δεμένη δεξαμενή γείωσης που περιέχει λάδι έως ένα ορισμένο επίπεδο και ένα μαξιλάρι αέρα πάνω από τη στάθμη λαδιού. Το μαξιλάρι αέρα παρέχει επαρκή χώρο ώστε να επιτρέπεται η λήψη αερίων τόξου χωρίς τη δημιουργία μη ασφαλούς πίεσης στον θόλο του διακόπτη κυκλώματος. Απορροφά επίσης το μηχανικό σοκ της ανοδικής κίνησης λαδιού.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει διπλό σπάσιμο απλού διακόπτη λαδιού. Ονομάζεται διπλό σπάσιμο επειδή παρέχει δύο διαλείμματα σε σειρά. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι σταθερές και κινούμενες επαφές παραμένουν κλειστές και ο διακόπτης μεταφέρει το κανονικό ρεύμα κυκλώματος. συμβαίνει, οι κινούμενες επαφές τραβιούνται προς τα κάτω από το προστατευτικό σύστημα και χτυπιέται τόξο που εξατμίζει το λάδι κυρίως σε αέριο υδρογόνο.



Εικόνα 6-2 Διακόπτης λαδιού απλής διακοπής

Η εξάλειψη του τόξου διευκολύνεται από τις ακόλουθες διαδικασίες:

- (i) Οι φυσαλίδες αερίου υδρογόνου που δημιουργούνται γύρω από το τόξο ψύχουν τη στήλη τόξου και βοηθούν τον απιονισμό του μέσου μεταξύ των επαφών.
- (ii) Το αέριο δημιουργεί αναταράξεις στο λάδι και βοηθά στην εξάλειψη των προϊόντων τόξου από τη διαδρομή τόξου.
- (iii) Καθώς το τόξο επιμηκύνεται λόγω των διαχωριστικών επαφών, η διηλεκτρική ισχύς του μέσου αυξάνεται. Το αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών είναι ότι σε κάποιο κρίσιμο μήκος διακένου, το τόξο σβήνει και το ρεύμα του κυκλώματος διακόπτεται.

Μειονεκτήματα των διακοπών λαδιού:

- Δεν υπάρχει ειδικός έλεγχος επί του τόξου, εκτός από την αύξηση του μήκους διαχωρίζοντας τις κινούμενες επαφές. Επομένως, για την επιτυχή διακοπή, απαιτείται μεγάλο μήκος τόξου.
- Αυτοί οι διακόπτες έχουν μεγάλους και ασυνεπείς χρόνους τόξου.
- Αυτοί οι διακόπτες δεν επιτρέπουν διακοπή υψηλής ταχύτητας.

Λόγω αυτών των μειονεκτημάτων, οι αυτόματοι διακόπτες λαδιού χρησιμοποιούνται μόνο για εφαρμογές χαμηλής τάσης, όπου οι υψηλές

ικανότητες θραύσης δεν είναι σημαντικές. Είναι συνηθισμένη πρακτική η χρήση τέτοιων διακοπών για εγκαταστάσεις χαμηλής χωρητικότητας για τάσεις που δεν υπερβαίνουν τα 11 kV.

6.2.3.2 β) Διακόπτες κυκλώματος λαδιού ελέγχου τόξου:

Σε περίπτωση διακόπτη ελαίου απλής διακοπής που συζητήθηκε παραπάνω, υπάρχει πολύ μικρός τεχνητός έλεγχος του τόξου. Ως εκ τούτου, το σχετικά μεγάλο μήκος τόξου είναι απαραίτητο, ώστε η αναταραχή στο λάδι που προκαλείται από το αέριο να βοηθήσει στην απόσβεσή του. Ωστόσο, είναι απαραίτητο και επιθυμητό να συμβεί η τελική εξαφάνιση τόξου ενώ το κενό επαφής είναι ακόμα μικρό. Για το σκοπό αυτό, ενσωματώνεται κάποιος έλεγχος τόξου και οι διακόπτες ονομάζονται τότε διακόπτες ελέγχου τόξου. Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων διακοπών, συγκεκριμένα :

(i) Αυτόματοι διακόπτες λαδιού λαδιού

(ii) Διακόπτες κυκλώματος λαδιού εξαναγκασμένης έκρηξης

i) Αυτόματοι διακόπτες λαδιού:

Σε αυτόν τον τύπο διακόπτη κυκλώματος, τα αέρια που παράγονται κατά την τόξο περιορίζονται σε μικρό όγκο με τη χρήση μονωτικού άκαμπτου θαλάμου πίεσης ή δοχείου που περιβάλλει τις επαφές. Δεδομένου ότι ο διαθέσιμος χώρος για τα αέρια τόξου περιορίζεται από τον θάλαμο, αναπτύσσεται πολύ υψηλή πίεση για να αναγκάσει το πετρέλαιο και το αέριο μέσω ή γύρω από το τόξο να το σβήσουν.

Το μέγεθος της πίεσης που αναπτύσσεται εξαρτάται από την τιμή του ρεύματος σφάλματος που πρέπει να διακοπεί. Καθώς η πίεση δημιουργείται από το ίδιο το τόξο, επομένως, αυτοί οι διακόπτες καλούνται μερικές φορές αυτόματοι διακόπτες πετρελαίου πίεσης. Ο θάλαμος πίεσης είναι σχετικά φθηνός και δίνει μειωμένο μήκος χάσματος τελικής εξαφάνισης τόξου και χρόνο τόξου έναντι του απλού διαλείμματος διακόπτη κυκλώματος λαδιού.

(ii) Διακόπτες κυκλώματος λαδιού εξαναγκασμένης έκρηξης:

Στους αυτόματους διακόπτες κυκλώματος λαδιού που συζητήθηκαν παραπάνω, το ίδιο το τόξο δημιουργεί την απαραίτητη πίεση για να εξαναγκάσει το λάδι κατά μήκος της διαδρομής τόξου. Ο κύριος περιορισμός αυτών των διακοπών

είναι ότι οι χρόνοι τόξου τείνουν να είναι μεγάλοι και ασυνεπείς όταν λειτουργούν σε ρεύματα πολύ μικρότερα από τα ονομαστικά ρεύματα. Είναι επειδή το αέριο που παράγεται μειώνεται πολύ σε χαμηλές τιμές ρευμάτων σφάλματος. Αυτή η δυσκολία ξεπερνιέται στους αυτόματους διακόπτες λαδιού, στους οποίους η απαραίτητη πίεση δημιουργείται με εξωτερικά μηχανικά μέσα ανεξάρτητα από τα ρεύματα βλάβης που πρόκειται να σπάσουν.

Σε έναν διακόπτη εξαναγκασμένου ελαστικού, η πίεση λαδιού δημιουργείται από τη διάταξη του κυλίνδρου εμβόλου. Η κίνηση του εμβόλου συνδέεται μηχανικά με την κινούμενη επαφή. Όταν προκύψει σφάλμα, οι επαφές διαχωρίζονται από το προστατευτικό σύστημα και χτυπά ένα τόξο μεταξύ των επαφών. Το έμβολο αναγκάζει ένα πίδακα λαδιού προς το διάκενο επαφής για να σβήσει το τόξο. Μπορεί να σημειωθεί ότι η απαραίτητη πίεση λαδιού που παράγεται δεν εξαρτάται με κανέναν τρόπο από το ρεύμα βλάβης που πρόκειται να σπάσει.

Πλεονεκτήματα:

(α) Δεδομένου ότι η πίεση λαδιού που αναπτύσσεται είναι ανεξάρτητη από το ρεύμα βλάβης που πρέπει να διακοπεί, η απόδοση σε χαμηλά ρεύματα είναι πιο συνεπής από ό, τι με τους αυτόματους διακόπτες λαδιού.

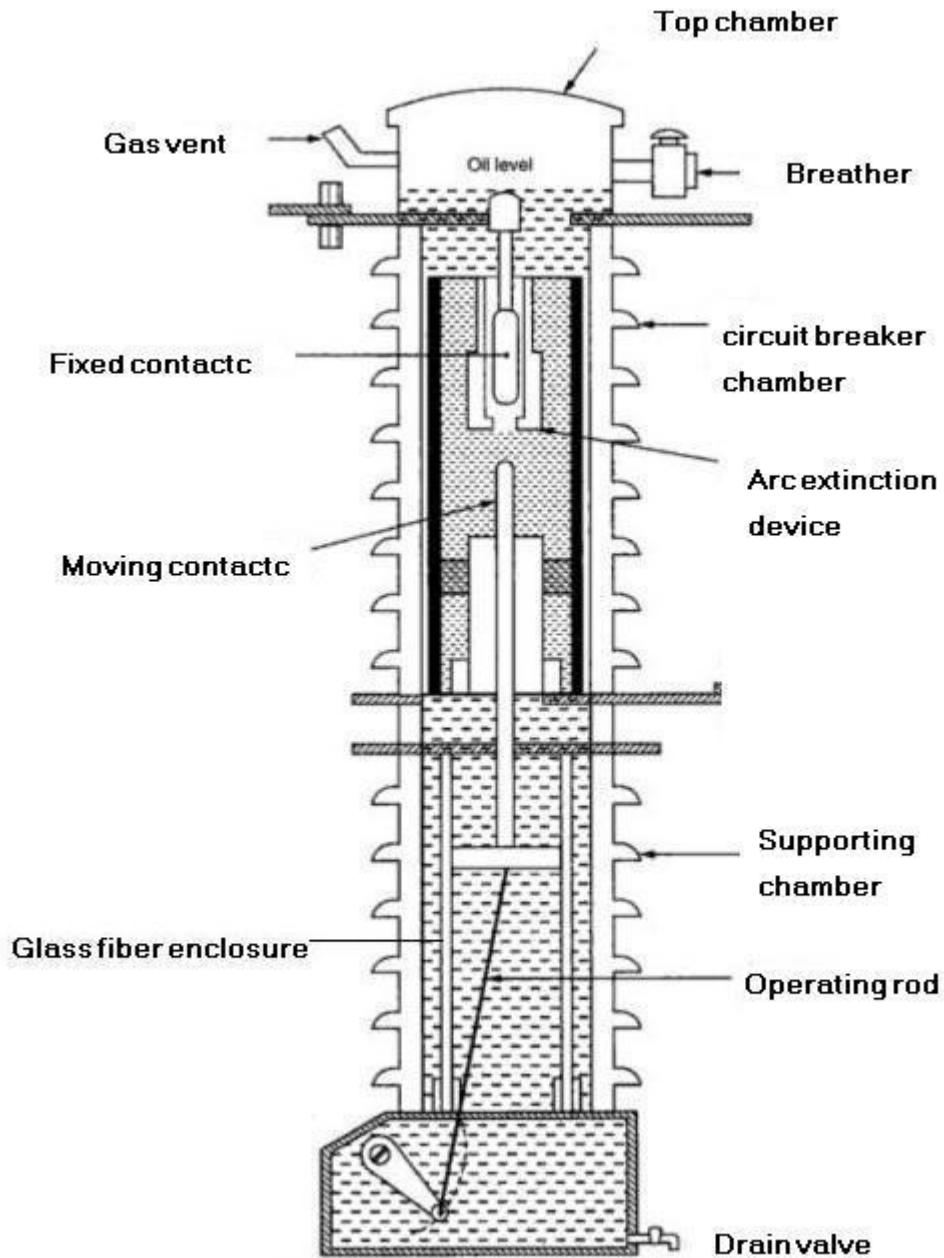
(β) Η απαιτούμενη ποσότητα λαδιού μειώνεται σημαντικά.

6.3 Αυτόματοι διακόπτες «πτωχού» ελαίου

Η ειδική του σχεδίαση επιτρέπει μεγάλο περιορισμό της ποσότητας του ελαίου που μολύνεται και ανθρακοποιείται κατά τη σβέση. Το λάδι όμως στους διακόπτες του τύπου αυτού χρησιμοποιείται μόνο για τη σβέση και δεν αποτελεί μόνωση. Η μόνωση εξασφαλίζεται από στερεά, συνθετικά ή φυσικά διηλεκτρικά υλικά (πορσελάνη, χαρτί, εποξειδική ρητίνη). Χρησιμοποιούνται συνήθως στην περιοχή 20-220 kV με ικανότητα διακοπής από 250-7500 MVA. Οι μοντέρνοι διακόπτες «πτωχού» ελαίου έχουν πολύ ανεπτυγμένους θαλάμους σβέσεως και αντιμετωπίζουν και τις πιο δύσκολες καταστάσεις. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν διακόπτες ελαίου και για τάσεις πάνω από 220 kV, με περισσότερους από έναν θαλάμους σβέσεως. Η χρησιμοποίηση περισσότερων από έναν θαλάμους σβέσεως στη σειρά εφαρμόζεται για τη

διακοπή ενός ρεύματος υπό πολλαπλάσια τάση και αποτελεί τη βασική αρχή των διακοπών ισχύος στα συστήματα υπερυψηλής τάσεως. Με τον τρόπο αυτόν μια ολόκληρη περιοχή τάσεων, π.χ. 72.5 kV έως 765 kV εξυπηρετείται από διακόπτες που συντίθενται από ορισμένο αριθμό ίδιων μοναδιαίων διακοπών ανά φάση. Το λάδι εκτοξεύεται επάνω στο τόξο από ένα έμβολο που παρασύρεται και κινείται μαζί με την κινητή επαφή. Το σύστημα των επαφών περιλαμβάνει μια ολισθαίνουσα κινητή επαφή κινούμενη προς τα κάτω και μια σταθερή επαφή στο επάνω μέρος. Ένα έμβολο στο κάτω μέρος εκτοξεύει λάδι στο θάλαμο σβέσεως μέσω διαφόρων βαλβίδων και συμβάλλει στη σβέση του τόξου. Το έμβολο αυτό είναι στερεωμένο στη συνδετική ράβδο μεταξύ της κινητής επαφής και του μηχανισμού κινήσεως του διακόπτη.

Το τόξο διακόπτεται μέσα στο θάλαμο σβέσεως με εγκάρσιο φύσημα λαδιού. Κατά το κλείσιμο του διακόπτη η κινητή επαφή κινείται με μεγάλη ταχύτητα και εκτοπίζει το λάδι προκαλώντας αύξηση πίεσεως στο θάλαμο τόξου. Αυτό αυξάνει τη διηλεκτρική αντοχή και εμποδίζει προέλαση του διακένου πριν ακουμπήσουν οι επαφές μεταξύ τους. Τα αέρια τα οποία παράγονται κατά τη σβέση του τόξου ανέρχονται στο επάνω διαμέρισμα του διακόπτη, διαχωρίζονται από το λάδι περνώντας μέσα από ένα λαβύρινθο και διαφεύγουν μέσω μιας βαλβίδας στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 6-3 Αυτόματοι διακόπτες «πτώχου» ελαίου

Πλεονεκτήματα του ελάχιστου διακόπτη λαδιού:

Ένας διακόπτης χαμηλού λαδιού έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα έναντι ενός διακόπτη κυκλώματος λαδιού:

- (i) Απαιτεί μικρότερη ποσότητα λαδιού.
- (ii) Απαιτεί μικρότερο χώρο.
- (iii) Υπάρχει μειωμένος κίνδυνος πυρκαγιάς.

(iv) Τα προβλήματα συντήρησης μειώνονται.

Μειονεκτήματα του ελάχιστου διακόπτη λαδιού:

Ένας ελάχιστος διακόπτης λαδιού έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα σε σύγκριση με έναν διακόπτη χύδην λαδιού:

(i) Λόγω της μικρότερης ποσότητας λαδιού, ο βαθμός ενανθράκωσης αυξάνεται.

(ii) Υπάρχει δυσκολία αφαίρεσης των αερίων από το χώρο επαφής εγκαίρως.

(iii) Η διηλεκτρική αντοχή του λαδιού επιδεινώνεται γρήγορα λόγω του υψηλού βαθμού ενανθράκωσης.

6.4 Αυτόματοι διακόπτες αέρα

Αυτοί οι διακόπτες χρησιμοποιούν μια έκρηξη αέρα υψηλής πίεσης ως μέσο σβέσης τόξου. Οι επαφές ανοίγονται σε μια ροή αέρα που δημιουργείται από το άνοιγμα της βαλβίδας έκρηξης. Η έκρηξη αέρα ψύχει το τόξο και προωθεί τα προϊόντα τόξου στην ατμόσφαιρα. Αυτό αυξάνει γρήγορα τη διηλεκτρική ισχύ του μέσου μεταξύ των επαφών και εμποδίζει την αποκατάσταση του τόξου. Κατά συνέπεια, το τόξο σβήνει και η ροή του ρεύματος διακόπτεται.

Πλεονεκτήματα των διακόπτες κυκλώματος αέρα:

- Εξαλείφεται ο κίνδυνος πυρκαγιάς.
- Τα προϊόντα τόξου απομακρύνονται πλήρως από την έκρηξη, ενώ το λάδι αλλοιώνεται με διαδοχικές λειτουργίες · αποφεύγεται η τακτική αντικατάσταση λαδιού.
- Η αύξηση της διηλεκτρικής αντοχής είναι τόσο γρήγορη που το κενό που απαιτείται για την εξαφάνιση του τόξου είναι πολύ μικρό. Αυτό μειώνει το μέγεθος της συσκευής.
- Ο χρόνος τόξου είναι πολύ μικρός λόγω της ταχείας ανάπτυξης της διηλεκτρικής αντοχής μεταξύ των επαφών. Επομένως, η ενέργεια του τόξου είναι μόνο ένα κλάσμα αυτής των διακοπών ελαίου, με αποτέλεσμα λιγότερο κάψιμο των επαφών.
- Λόγω της μικρότερης ενέργειας τόξου, οι αυτόματοι διακόπτες αέρος είναι πολύ κατάλληλοι για συνθήκες όπου απαιτείται συχνή λειτουργία.

- Η ενέργεια που παρέχεται για την εξαφάνιση τόξου λαμβάνεται από αέρα υψηλής πίεσης και είναι ανεξάρτητη από το ρεύμα που θα διακοπεί.

Μειονεκτήματα των διακοπών αέρα έκρηξης:

Η χρήση αέρα ως μέσο σβέσης τόξου προσφέρει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Ο αέρας έχει σχετικά κατώτερες ιδιότητες σβεσης τόξου.
- Οι αυτόματοι διακόπτες αέρα είναι πολύ ευαίσθητοι στις διακυμάνσεις του ρυθμού ανόδου της τάσης επαναφοράς.
- Απαιτείται σημαντική συντήρηση για τη μονάδα συμπιεστών που παρέχει την έκρηξη αέρα.

Οι αυτόματοι διακόπτες αέρος βρίσκουν ευρείες εφαρμογές σε εγκαταστάσεις υψηλής τάσης. Η πλειοψηφία των διακοπών για τάσεις άνω των 110 kV είναι αυτού του τύπου.

6.4.1 Τύποι αυτόματων διακοπών αέρα

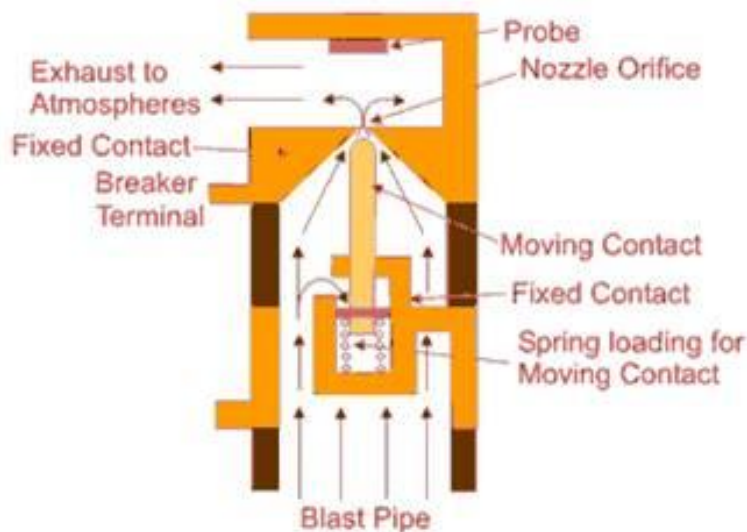
Ανάλογα με την κατεύθυνση της έκρηξης αέρα σε σχέση με το τόξο, οι τύποι διακοπών αέρα είναι:

- Διακόπτης κυκλώματος αξονικής έκρηξης αέρα
- Διακόπτης κυκλώματος διασταύρωσης αέρα

θ) Διακόπτης κυκλώματος αξονικής έκρηξης αέρα:

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα βασικά συστατικά ενός τυπικού διακόπτη αξονικής έκρηξης αέρα. Οι σταθερές και κινούμενες επαφές διατηρούνται στην κλειστή θέση υπό πίεση ελατηρίου υπό κανονικές συνθήκες. Το δοχείο αέρα συνδέεται με τον θάλαμο τόξου μέσω μιας βαλβίδας αέρα. Αυτή η βαλβίδα παραμένει κλειστό υπό κανονικές συνθήκες αλλά ανοίγει αυτόματα από την ώθηση ενεργοποίησης όταν προκύψει βλάβη στο σύστημα.

Schematic diagram of axial blast air circuit breaker



Εικόνα 6-4 Διακόπτης κυκλώματος αξονικής έκρηξης

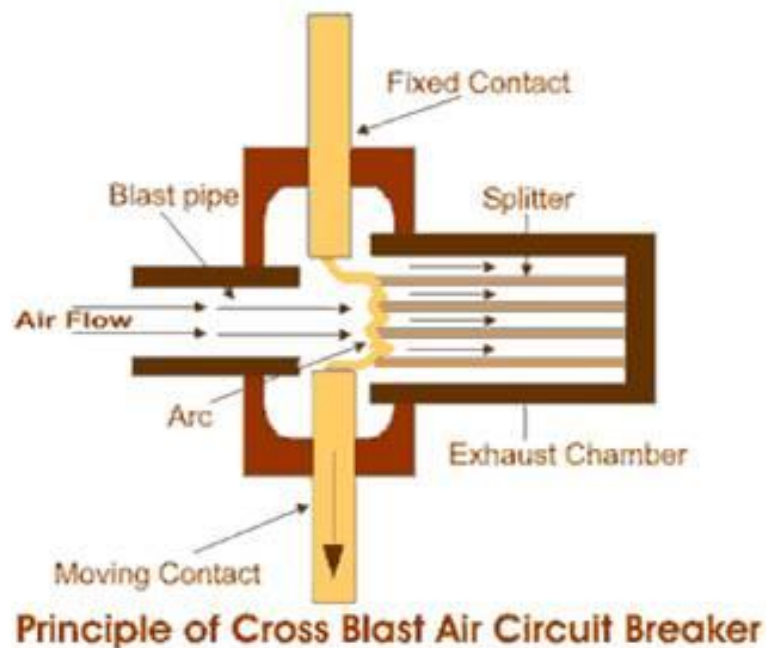
Όταν προκύψει σφάλμα, η ώθηση ενεργοποίησης προκαλεί άνοιγμα της βαλβίδας αέρα που συνδέει τη δεξαμενή του διακόπτη κυκλώματος με τον θάλαμο τόξου. Ο αέρας υψηλής πίεσης που εισέρχεται στον θάλαμο τόξου απομακρύνει την κινούμενη επαφή από την πίεση του ελατηρίου. Η κινούμενη επαφή διαχωρίζεται και ένα τόξο χτυπιέται. Ταυτόχρονα, μια έκρηξη αέρα υψηλής πίεσης ρέει κατά μήκος του τόξου και απομακρύνει τα ιονισμένα αέρια μαζί με αυτό. Κατά συνέπεια, το τόξο σβήνει και η ροή του ρεύματος διακόπτεται.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε τέτοιους διακόπτες, ο διαχωρισμός επαφών που απαιτείται για διακοπή είναι γενικά μικρός (1,75 cm περίπου). Ένα τέτοιο μικρό κενό μπορεί να συνιστά ανεπαρκή απόσταση για την κανονική τάση λειτουργίας. Επομένως, ένας διακόπτης απομόνωσης ενσωματώνεται ως μέρος αυτού του τύπου διακόπτη κυκλώματος. Αυτός ο διακόπτης ανοίγει αμέσως μετά τη διακοπή βλάβης για να παρέχει την απαραίτητη απόσταση για τη μόνωση.

(ii) Διακόπτης διασταύρωσης αέρα (ή διακόπτης εγκάρσιας έκρηξης)

Στον διακόπτη εγκάρσιας έκρηξης, μια έκρηξη αέρα κατευθύνεται σε ορθή γωνία προς το τόξο. Η διασταυρούμενη έκρηξη επιμηκύνει και ωθεί το τόξο σε έναν κατάλληλο αγωγό για εξαφάνιση τόξου. Το παρακάτω σχήμα δείχνει

τα βασικά μέρη ενός τυπικού κυκλώματος αέρα διασταυρούμενης έκρηξης διακόπτης. Όταν απομακρύνεται η κινούμενη επαφή, χτυπά ένα τόξο μεταξύ των σταθερών και των κινούμενων επαφών. Η διασταυρούμενη έκρηξη υψηλής πίεσης αναγκάζει το τόξο σε έναν αγωγό που αποτελείται από διαχωριστές τόξου και διαφράγματα.

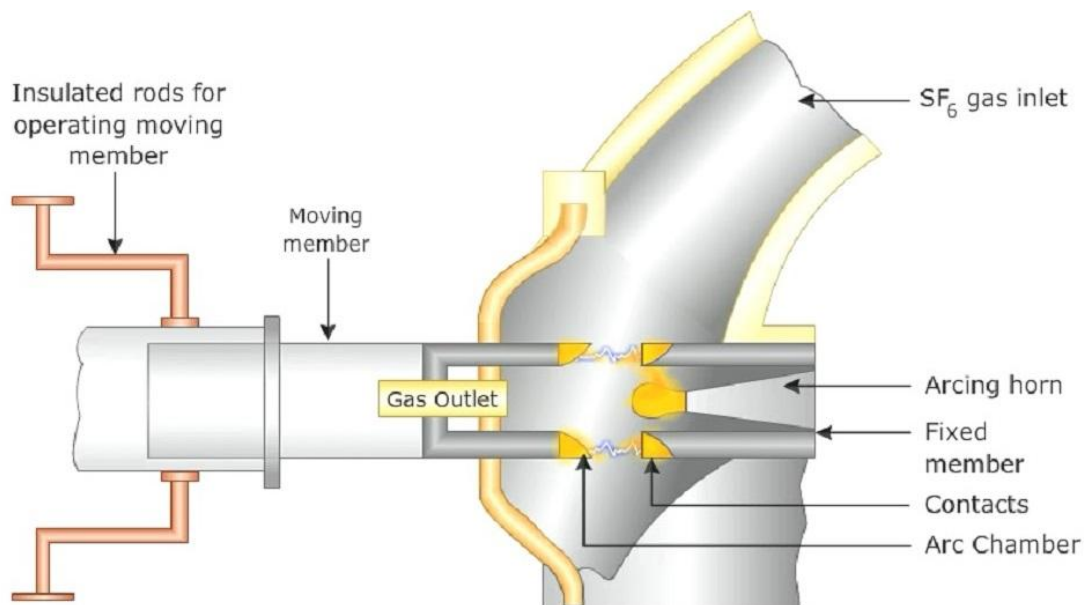


Εικόνα 6-5 Διακόπτης εγκάρσιας έκρηξης

Οι διαχωριστές χρησιμεύουν για να αυξήσουν το μήκος του τόξου και τα διαφράγματα παρέχουν βελτιωμένη ψύξη. Το αποτέλεσμα είναι ότι το τόξο σβήνει και η ροή του ρεύματος διακόπτεται. Δεδομένου ότι η πίεση έκρηξης είναι ίδια για όλα τα ρεύματα, η αναποτελεσματικότητα σε χαμηλά ρεύματα εξαλείφεται. για διακοπή είναι αρκετά μεγάλη για να δώσει κανονικό διάκενο μόνωσης, έτσι ώστε ένας διακόπτης απομόνωσης σειράς δεν είναι απαραίτητος. Αυτό αφορά τους διακόπτες κυκλώματος έκρηξης αέρα.

6.5 Αυτόματοι διακόπτες εξαφθοριούχου θείου SF₆

Στους διακόπτες SF₆, το αέριο εξαφθοριούχο θείο (SF₆) χρησιμοποιείται ως μέσο σβέσης τόξου. Το SF₆ είναι ένα ηλεκτρο-αρνητικό αέριο και έχει μια ισχυρή τάση να απορροφά ελεύθερα ηλεκτρόνια. Οι επαφές του διακόπτη ανοίγουν σε ροή υψηλής πίεσης αερίου SF₆ και απαλείφεται το τόξο μεταξύ τους. Τα ελεύθερα αγωγιμα ηλεκτρόνια στο τόξο συλλαμβάνονται γρήγορα από το αέριο για να σχηματίσουν σχετικά ακίνητα αρνητικά ιόντα. Αυτή η απώλεια αγωγιμων ηλεκτρονίων στο τόξο δημιουργεί γρήγορα αρκετή μόνωση για να σβήσει το τόξο. Οι διακόπτες κυκλώματος SF₆ έχουν βρεθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματικοί για εφαρμογές υψηλής ισχύος και υψηλής τάσης.



Εικόνα 6-6 Τα μέρη ενός τυπικού διακόπτη SF₆

Το παραπάνω σχήμα δείχνει τα μέρη ενός τυπικού διακόπτη κυκλώματος SF₆. Αποτελείται από σταθερές και κινούμενες επαφές κλεισμένες σε ένα θάλαμο (που ονομάζεται θάλαμος διακοπής τόξου) που περιέχει αέριο SF₆. Αυτός ο θάλαμος συνδέεται με τη δεξαμενή αερίου SF₆. Όταν ανοίγουν οι επαφές του διακόπτη, ο μηχανισμός βαλβίδας επιτρέπει ένα αέριο SF₆ υψηλής πίεσης από τη δεξαμενή να ρέει προς το θάλαμο διακοπής τόξου.

Η σταθερή επαφή είναι μια κοίλη κυλινδρική επαφή μεταφοράς ρεύματος εξοπλισμένη με ένα τόξο με κέρατο. Η κινούμενη επαφή είναι επίσης ένας κοίλος κύλινδρος με ορθογώνιες οπές στις πλευρές που επιτρέπουν στο αέριο SF₆ να βγαίνει από αυτές τις οπές αφού ρέει κατά μήκος και κατά μήκος του

τόξου. Οι άκρες της σταθερής επαφής, της κίνησης μιας επαφής και του τόξου κέρατος είναι επικαλυμμένες με υλικό ανθεκτικό σε τόξο από χαλκό-βολφράμιο. Δεδομένου ότι το αέριο SF₆ είναι δαπανηρό, ανακαινίζεται και ανακτάται από ένα κατάλληλο βοηθητικό σύστημα μετά από κάθε λειτουργία του διακόπτη.

6.5.1 Αρχή λειτουργίας του διακόπτη κυκλώματος SF₆:

Στην κλειστή θέση του διακόπτη κυκλώματος SF₆, οι επαφές παραμένουν περιτριγυρισμένες από αέριο SF₆ σε πίεση περίπου $2 \cdot 8 \text{ kg/cm}^2$. Όταν λειτουργεί ο διακόπτης, η κινούμενη επαφή απομακρύνεται και χάνεται ένα τόξο μεταξύ των επαφών. Η κίνηση της κινούμενης επαφής συγχρονίζεται με το άνοιγμα μιας βαλβίδας που επιτρέπει αέριο SF₆ σε πίεση 14 kg/cm^2 από τη δεξαμενή στον θάλαμο διακοπής τόξου.

Η ροή υψηλής πίεσης του SF₆ απορροφά γρήγορα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στη διαδρομή του τόξου για να σχηματίσει ακίνητα αρνητικά ιόντα τα οποία είναι αναποτελεσματικά ως φορείς φορτίου. Το αποτέλεσμα είναι ότι το μέσο μεταξύ των επαφών δημιουργεί γρήγορα υψηλή διηλεκτρική αντοχή και προκαλεί την εξαφάνιση του τόξου. Μετά τη λειτουργία του διακόπτη (δηλαδή, μετά την εξαφάνιση του τόξου), η βαλβίδα κλείνει με τη δράση ενός συνόλου ελατηρίων.

6.5.2 Πλεονεκτήματα:

Λόγω των ανώτερων ιδιοτήτων σβέσης τόξου του αερίου SF₆, οι αυτόματοι διακόπτες SF₆ έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους διακόπτες λαδιού ή αέρα. Μερικά από αυτά παρατίθενται παρακάτω:

- Λόγω της ανώτερης ιδιότητας σβέσης τόξου του SF₆, αυτοί οι διακόπτες έχουν πολύ μικρό χρόνο τόξου.
- Δεδομένου ότι η διηλεκτρική ισχύς του αερίου SF₆ είναι 2 έως 3 φορές αυτή του αέρα, αυτοί οι διακόπτες μπορούν να διακόψουν πολύ μεγαλύτερα ρεύματα.
- Ο διακόπτης κυκλώματος SF₆ παρέχει αθόρυβη λειτουργία λόγω του κλειστού κυκλώματος αερίου και της εξάτμισης στην ατμόσφαιρα, σε αντίθεση με τον διακόπτη κυκλώματος έκρηξης αέρα.

- Το κλειστό περίβλημα αερίου διατηρεί το εσωτερικό στεγνό έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα υγρασίας.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς σε τέτοιους διακόπτες επειδή το αέριο SF6 δεν είναι εύφλεκτο.
- Δεν υπάρχουν αποθέσεις άνθρακα έτσι ώστε να εξαλειφθούν τα προβλήματα παρακολούθησης και μόνωσης.
- Οι διακόπτες κυκλώματος SF6 έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης, ελαφρές απαιτήσεις θεμελίωσης και ελάχιστο βοηθητικό εξοπλισμό.
- Δεδομένου ότι οι διακόπτες SF6 είναι εντελώς κλειστοί και σφραγισμένοι από την ατμόσφαιρα, είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι όταν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης, π.χ. ανθρακωρυχεία.

6.5.3 Διακόπτες SF6 Μειονεκτήματα:

- Οι διακόπτες SF6 είναι δαπανηροί λόγω του υψηλού κόστους του SF6.
- Δεδομένου ότι το αέριο SF6 πρέπει να ανακαινιστεί μετά από κάθε λειτουργία του διακόπτη, απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός για το σκοπό αυτό.

6.5.4 Εφαρμογές διακοπών κυκλώματος SF6

Ένας τυπικός διακόπτης SF6 αποτελείται από μονάδες διακοπών, η κάθε μία ικανή να αντιμετωπίσει ρεύματα έως 60 kA και τάσεις στην περιοχή 50-80 kVA αριθμός μονάδων συνδέονται σε σειρά ανάλογα με την τάση του συστήματος. Οι διακόπτες κυκλώματος SF6 έχουν αναπτυχθεί για τάσεις 115 kV έως 230 kV, ονομαστική ισχύς 10 MVA έως 20 MVA και χρόνος διακοπής μικρότερος από 3 κύκλους.

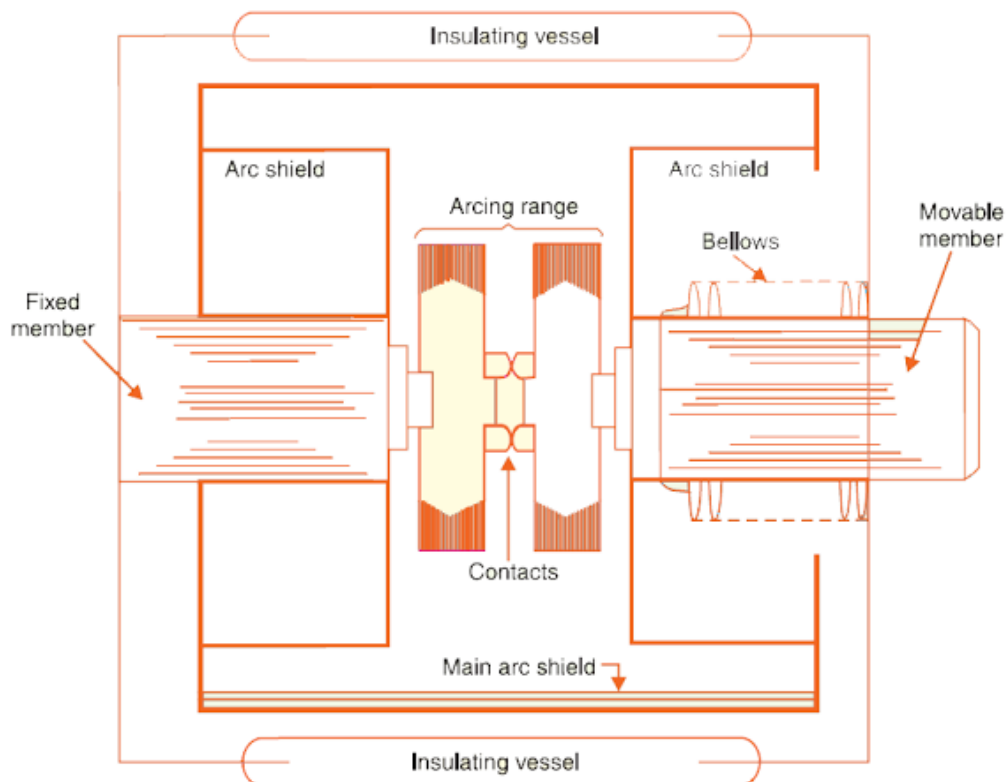
6.6 Αυτόματοι διακόπτες κενού

Στους διακόπτες κυκλώματος κενού, το κενό (ο βαθμός κενού κυμαίνεται από 10 - 7 έως 10 - 5 torr) χρησιμοποιείται ως μέσο σβέσης τόξου. Δεδομένου ότι το κενό προσφέρει την υψηλότερη μονωτική δύναμη, έχει πολύ ανώτερες ιδιότητες σβέσης τόξου από οποιαδήποτε άλλη μέσο. Για παράδειγμα, όταν οι επαφές ενός διακόπτη ανοίγουν στο κενό, η διακοπή συμβαίνει στο πρώτο ρεύμα μηδέν με διηλεκτρική ισχύ μεταξύ των επαφών να αυξάνεται με ρυθμό

χιλιάδες φορές υψηλότερο από αυτόν που λαμβάνεται με άλλους διακόπτες κυκλώματος.

6.6.1 Αρχή των αυτόματων διακοπών:

Η παραγωγή τόξου σε διακόπτη κυκλώματος κενού και η εξαφάνισή του μπορούν να εξηγηθούν ως εξής: Όταν οι επαφές του διακόπτη ανοίγουν υπό κενό (10^{-7} έως 10^{-5} torr), παράγεται τόξο μεταξύ των επαφών με ιονισμό μεταλλικών ατμών επαφών. Ωστόσο, το τόξο σβήνει γρήγορα επειδή οι μεταλλικοί ατμοί, ηλεκτρόνια και τα ιόντα που παράγονται κατά τη διάρκεια του τόξου συμπυκνώνονται γρήγορα στις επιφάνειες των επαφών του διακόπτη, με αποτέλεσμα την γρήγορη ανάκτηση της διηλεκτρικής αντοχής. Ο αναγνώστης μπορεί να σημειώσει το εξέχον χαρακτηριστικό του κενού ως μέσο σβέσης τόξου. Μόλις το τόξο παράγεται υπό κενό, σβήνει γρήγορα λόγω του γρήγορου ρυθμού ανάκτησης της διηλεκτρικής αντοχής στο κενό.



Εικόνα 6-7 Αυτόματος διακόπτης κενού

6.6.2 Κατασκευή διακοπών κενού

Το παρακάτω σχήμα δείχνει την κατασκευή του διακόπτη κενού. Αποτελείται από σταθερή επαφή, κινούμενη επαφή και ασπίδα τόξου τοποθετημένη μέσα σε έναν θάλαμο κενού. Το κινητό μέλος συνδέεται με τον μηχανισμό ελέγχου

με φυσούνα από ανοξειδωτο ατσάλι. Αυτό επιτρέπει τη μόνιμη σφράγιση του κενού θάλαμο έτσι ώστε να εξαλειφθεί η πιθανότητα διαρροής. Ένα γυάλινο δοχείο ή ένα κεραμικό δοχείο χρησιμοποιείται ως εξωτερικό μονωτικό σώμα. Η ασπίδα τόξου αποτρέπει την υποβάθμιση της εσωτερικής διηλεκτρικής αντοχής εμποδίζοντας την πτώση μεταλλικών ατμών στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού μονωτικού καλύμματος.

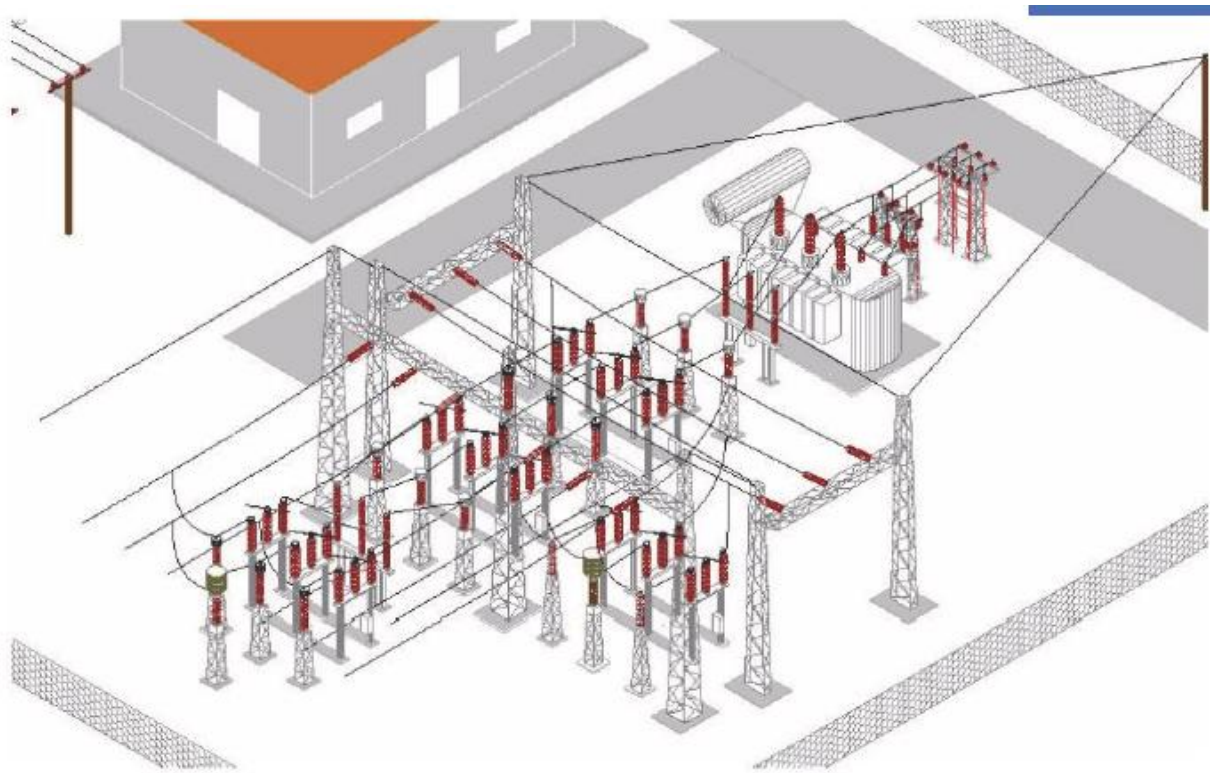
6.6.3 Πλεονεκτήματα των διακόπτες κυκλώματος κενού:

Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Είναι συμπαγή, αξιόπιστα και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Δεν υπάρχουν κίνδυνοι πυρκαγιάς.
- Δεν υπάρχει παραγωγή αερίου κατά τη διάρκεια και μετά τη λειτουργία.
- Μπορούν να διακόψουν οποιοδήποτε ρεύμα βλάβης. Το εξαιρετικό χαρακτηριστικό ενός VCB είναι ότι μπορεί να σπάσει τέλεια οποιοδήποτε ρεύμα βλάβης τέλεια ακριβώς πριν οι επαφές φτάσουν στην οριστική ανοικτή θέση.
- Απαιτούν μικρή συντήρηση και είναι αθόρυβα κατά τη λειτουργία.
- Μπορούν να αντέξουν επιτυχώς τις εκρήξεις κεραυνού.
- Έχουν χαμηλή ενέργεια τόξου.
- Έχουν χαμηλή αδράνεια και ως εκ τούτου απαιτούν μικρότερη ισχύ για τον μηχανισμό ελέγχου.

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Σχεδόν σε κάθε αιολικό πάρκο κατασκευάζεται ένας ενισχυμένος υποσταθμός για τη συλλογή όλης της ενέργειας που παράγεται από τους στρόβιλους και λαμβάνεται μέσω των καλωδίων MT. Εξαιρούνται τα νέα αιολικά πάρκα ή οι υπάρχουσες επεκτάσεις αιολικών πάρκων που κατασκευάζονται κοντά σε υποσταθμό που μπορούν να αναβαθμιστούν για να απορροφήσουν την επιπλέον ενέργεια που παράγεται: σε αυτές τις περιπτώσεις, δημιουργείται μόνο ένα κέντρο ελέγχου με το SCADA και το σύστημα μέσης τάσης.



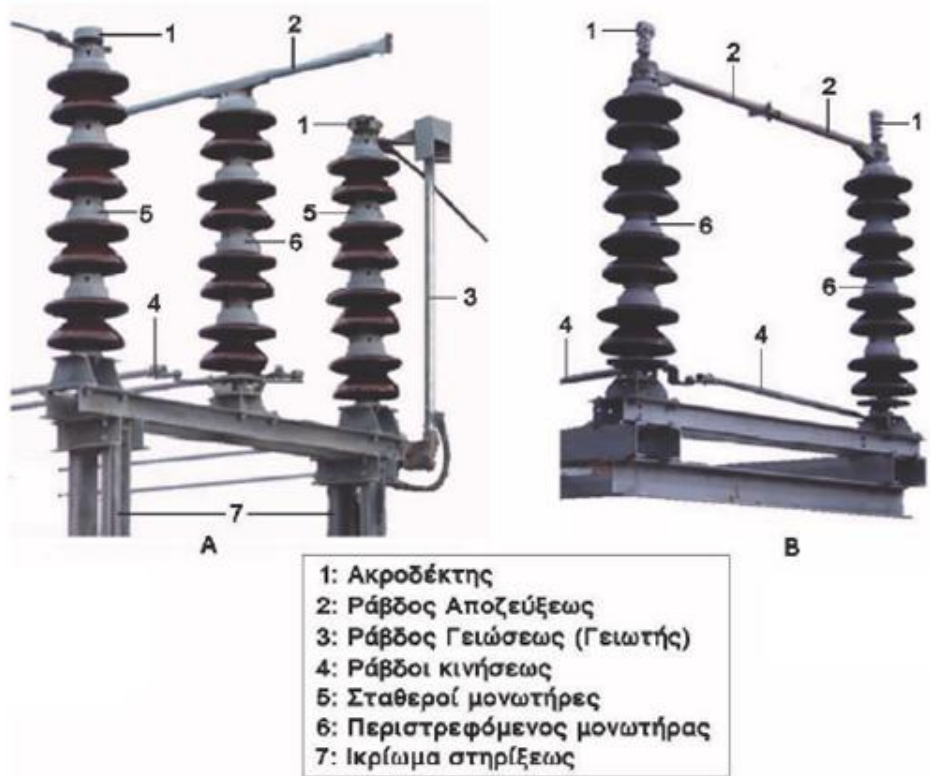
Εικόνα 7-1 Σχηματική αναπαράσταση υποσταθμού

Αν και υπάρχουν διαφορετικές πιθανές τεχνικές λύσεις, συνήθως ένας υποσταθμός θα αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

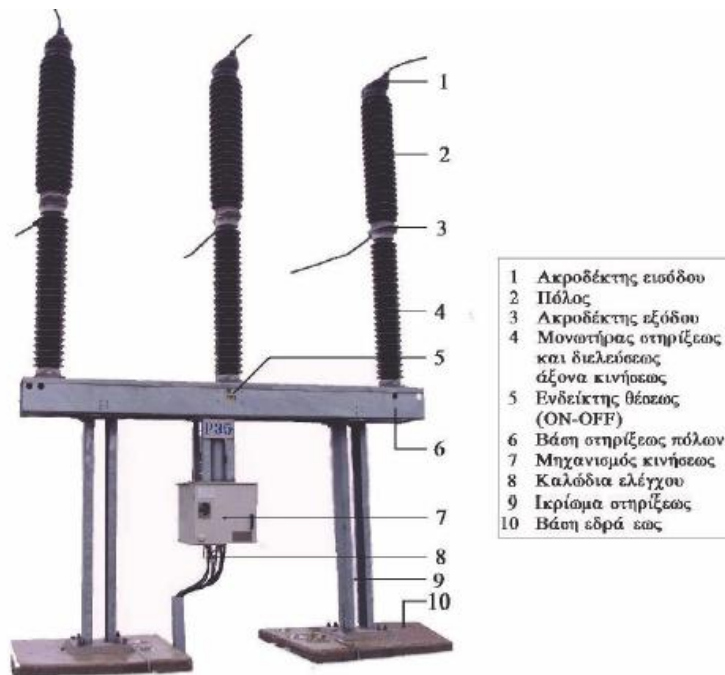
- Σύστημα μέσης τάσης
- Σύστημα υψηλής τάσης
- Συστοιχίες πυκνωτών
- Βοηθητικές υπηρεσίες
- Σύστημα ελέγχου, προστασίας και μέτρησης
- Σύστημα επικοινωνίας
- Συστήματα πυροπροστασίας και προστασίας από εισβολείς

7.1 Σύστημα μέσης τάσης

Το σύστημα μέσης τάσης αποτελείται από τον γενικό ζυγό, αποζεύκτες, διακόπτες κυκλώματος και μετασχηματιστή ρεύματος.



Εικόνα 7-2 Αποζεύκτης ΥΤ διπλής απόζευξης με γειωτή (Α) και Αποζεύκτης ΥΤ απλής απόζευξης (Β)



Εικόνα 7-3 Διακόπτης ισχύος



Εικόνα 7-4 Διακόπτης ισχύος



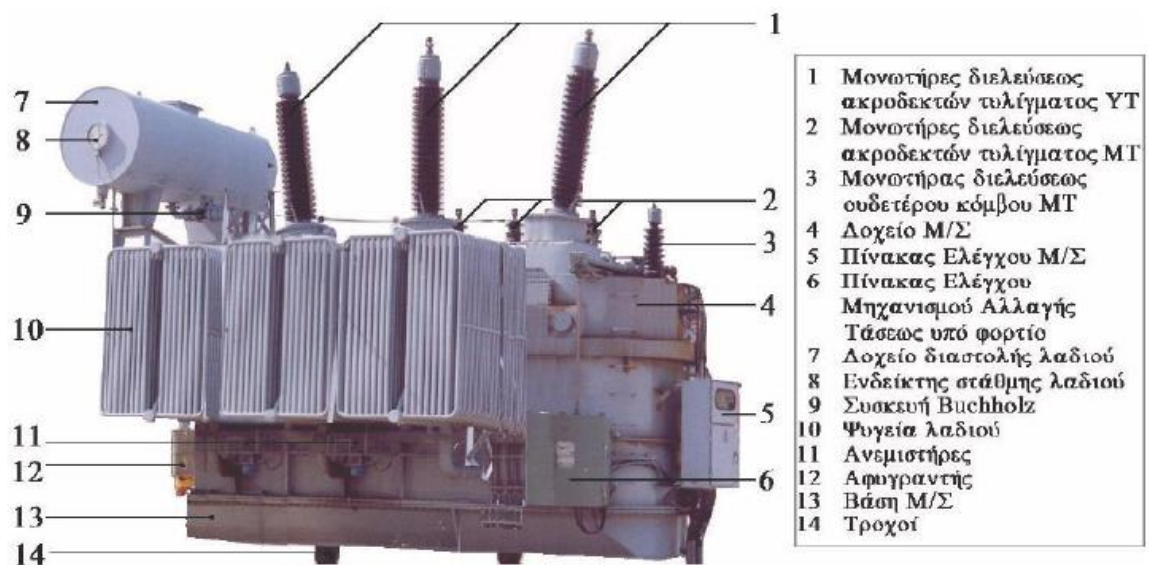
Εικόνα 7-5 Μετασχηματιστής έντασης 170kV

7.2 Σύστημα υψηλής τάσης

Το σύστημα υψηλής τάσης αποτελείται από έναν ή περισσότερους μετασχηματιστές, μαζί με αντίσταση γείωσης, αγωγούς υπερτάσεων, μετασχηματιστή ρεύματος, μετασχηματιστή τάσης, διακόπτη κυκλώματος και αποζεύκτη με διακόπτη γείωσης.



Εικόνα 7-6 Μετασχηματιστής τάσης 170kV



Εικόνα 7-7 Μετασχηματιστής ισχύος



Εικόνα 7-8 Μετασχηματιστής ισχύος

7.3 Συστοιχίες πυκνωτών

Οι συστοιχίες πυκνωτών εγκαθίστανται για να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του δικτύου σχετικά με την ενεργό και άεργο ισχύ.



Εικόνα 7-9 Συστοιχίες πυκνωτών

7.4 Βοηθητικές υπηρεσίες

Οι βοηθητικές υπηρεσίες παρέχουν ενέργεια τόσο σε ρεύμα AC/DC, όσο και με μια ομάδα μπαταρίας που μπορεί να παράγει ενέργεια για αρκετές ώρες για τη λειτουργία του υποσταθμού σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, έναν ανορθωτή και συχνά μια εφεδρική γεννήτρια ντίζελ, με μια δεξαμενή αρκετά μεγάλη για παρέχει ενέργεια για 3 ημέρες..

7.5 Σύστημα ελέγχου, προστασίας και μέτρησης

Το σύστημα ελέγχου, προστασίας και μέτρησης επιτρέπει τη σωστή λειτουργία του αιολικού πάρκου σύμφωνα με τους τοπικούς κανονισμούς και τις απαιτήσεις του δικτύου. Βασικά είναι ρελέ προστασίας για τον πίνακα διανομής και τους μετασχηματιστές ισχύος

7.6 Σύστημα επικοινωνίας

Το σύστημα επικοινωνίας, πρέπει να εγγυάται τη σωστή επικοινωνία με τους παρακείμενους υποσταθμούς και με το κέντρο ελέγχου του ιδιοκτήτη του δικτύου, ώστε να είναι δυνατή η σωστή λειτουργία του υποσταθμού αιολικού πάρκου. Συνήθως οι επικοινωνίες γίνονται μέσω οπτικών ινών/μεταφερόμενου σύρματος.

7.7 Σύστημα πυροπροστασίας

Το σύστημα πυροπροστασίας συνήθως αποτελείται από οπτικούς ή υπέρυθρους ανιχνευτές, πυροσβεστήρα, εξωτερικά κουδούνια ή σειρήνα, ενώ το σύστημα προστασίας από εισβολείς είναι συνήθως ένας φράχτης συν ένα κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης.

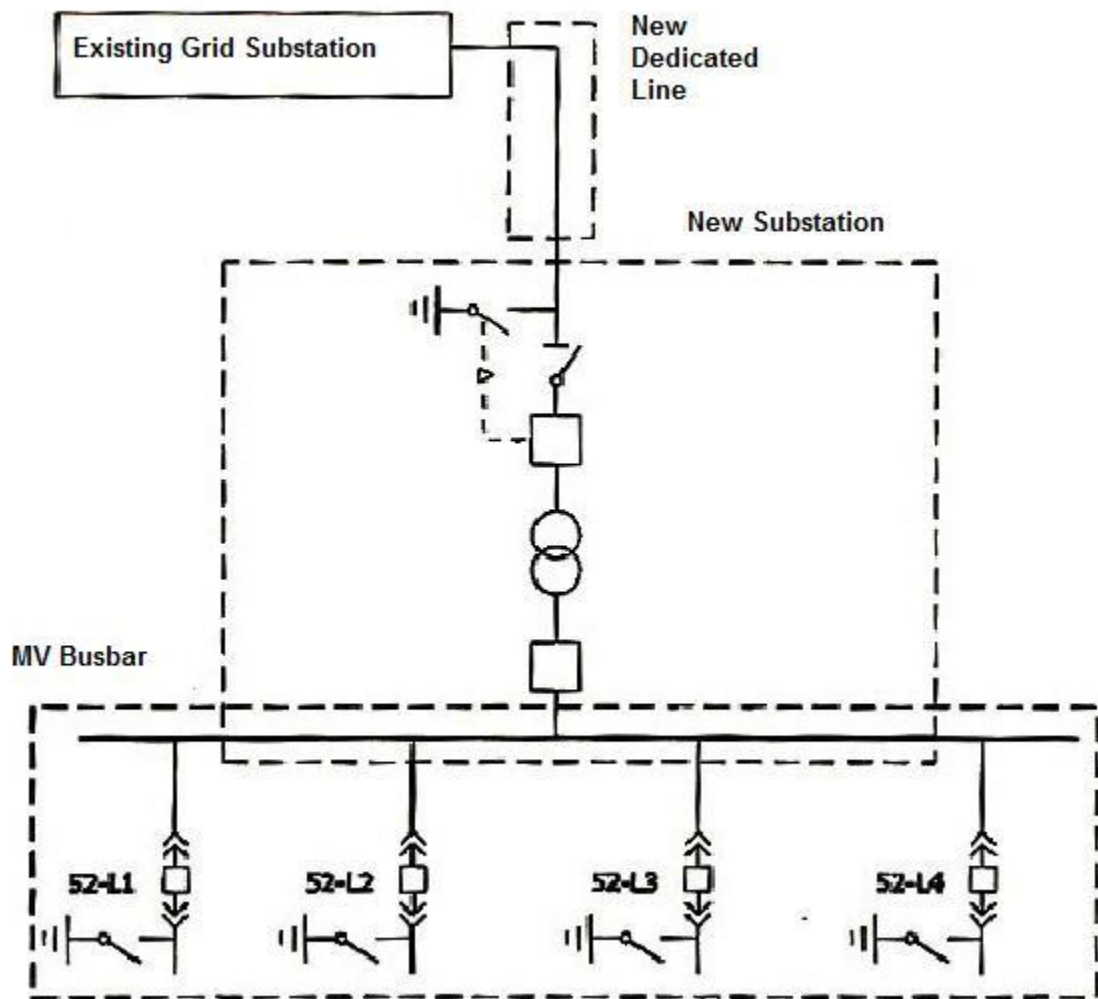
7.8 Διακομιστής SCADA

Επίσης ο διακομιστής SCADA βρίσκεται συνήθως μέσα στον υποσταθμό, μαζί με μια παραβολική κεραία για την παροχή σύνδεσης ευρείας ζώνης.

7.9 Τρόποι διασύνδεσης με το υπάρχον δίκτυο

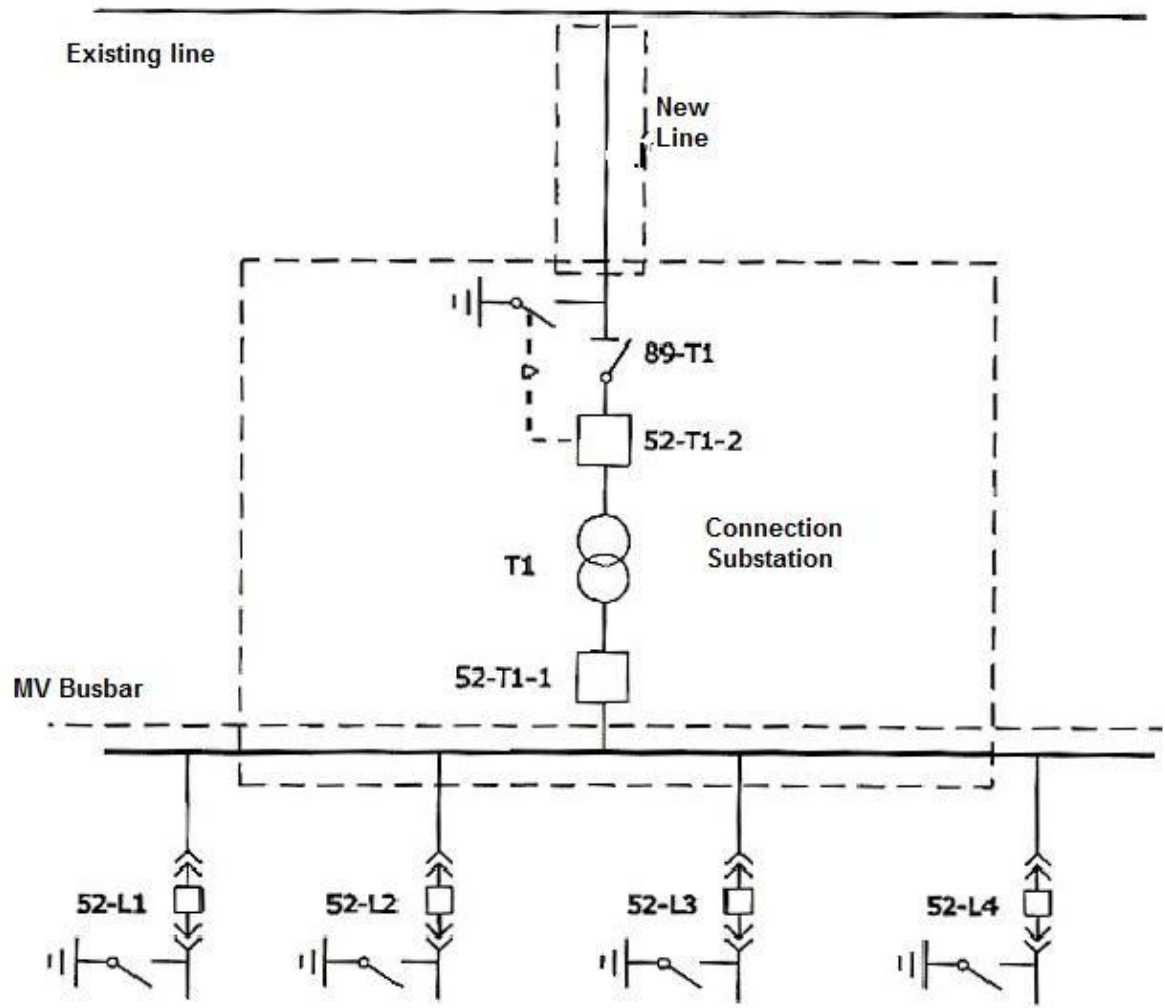
Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες λύσεις για τη σύνδεση με το υπάρχον δίκτυο διανομής υψηλής τάσης: συνήθως χρησιμοποιείται μια αποκλειστική γραμμή, ενώ σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιείται μια σύνδεση Tap off (ή «T»). Μια τρίτη λύση είναι να ανοίξει η υπάρχουσα γραμμή μεταξύ 2 υποσταθμών.

Οι 3 λύσεις φαίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα:



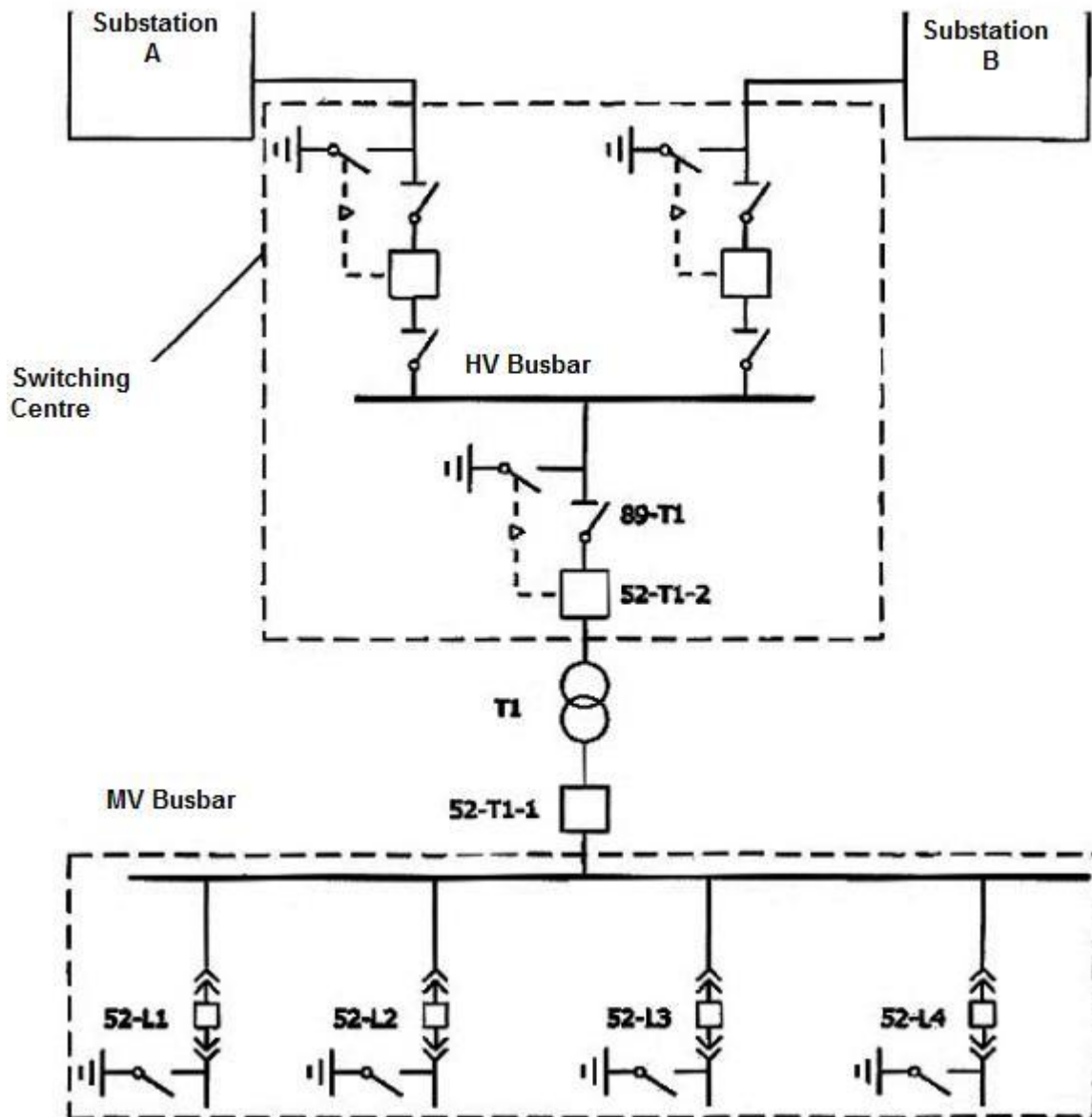
Διάγραμμα 7-1

Χρήση αποκλειστικής γραμμής



Διάγραμμα 7-2

σύνδεση Tap off (ή «T»)



Διάγραμμα 7-3 Άνοιγμα υπάρχουσας γραμμής μεταξύ 2 υποσταθμών

7.10 Μετασχηματιστής ισχύος

Ο μετασχηματιστής ισχύος είναι ένας τύπος μετασχηματιστή που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε οποιοδήποτε στοιχείο του ηλεκτρονικού ή ηλεκτρικού κυκλώματος μεταξύ των πρωτεύοντων κυκλωμάτων διανομής και της γεννήτριας. Αυτοί οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής για τη διασύνδεση υποβιβάζοντας ή ανυψώνοντας την τάση. Η συνήθης μορφή του

μετασχηματιστή ισχύος είναι βυθισμένος σε υγρό και ο κύκλος ζωής αυτών των οργάνων είναι περίπου 30 χρόνια.

7.10.1 Διαφορά μεταξύ μετασχηματιστή ισχύος και μετασχηματιστή διανομής

Ο μετασχηματιστής ισχύος χρησιμοποιείται συνήθως σε πλήρες φορτίο, καθώς έχει σχεδιαστεί για να έχει υψηλή απόδοση σε 100% φορτίο. Αντίθετα, ο μετασχηματιστής διανομής έχει υψηλή απόδοση όταν το φορτίο παραμείνει μεταξύ 50% και 70%. Έτσι, οι μετασχηματιστές διανομής δεν είναι επιθυμητό να λειτουργούν με φορτίο 100% συνεχώς.

Επειδή οι μετασχηματιστές ισχύος διαχειρίζονται μεγάλες τάσεις κατά τον υποβιβασμό και την ανύψωση, οι περιελίξεις έχουν εξαιρετική μόνωση σε σύγκριση με τους ΜΣ διανομής ή τους μετασχηματιστές οργάνων. Εξαιτίας αυτής της μόνωσης, έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος και είναι επίσης πολύ βαριά.



Εικόνα 7-10 Μετασχηματιστής ισχύος και μετασχηματιστής διανομής

Δεδομένου ότι οι μετασχηματιστές ισχύος συνήθως δεν συνδέονται απευθείας με τους καταναλωτές, παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις φορτίου, ενώ από την άλλη πλευρά, οι ΜΣ διανομής παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις φορτίου.

7.10.2 Συνδεσμολογία τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ισχύος

Όπως γνωρίζουμε από τη θεωρία των τριφασικών εναλλασσόμενων ρευμάτων, ένα τριφασικό σύστημα αποτελείται από τρία πηνία που συνδέονται σε τρίγωνο ή αστέρα.

Η εναλλασσόμενη τάση κάθε πηνίου παριστάνεται με ένα διάνυσμα, δηλαδή ένα βέλος. Στην περίπτωση συνδεσμολογίας τριγώνου, τα διανύσματα των τριών φάσεων σχηματίζουν ένα ισόπλευρο τρίγωνο ή το κεφαλαίο γράμμα Δ. Στην περίπτωση συνδεσμολογίας αστέρα, τα διανύσματα των τριών φάσεων σχηματίζουν έναν αστέρα ή το κεφαλαίο γράμμα V.

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις η γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών διανυσμάτων είναι 120° ή αλλιώς μπορούμε να πούμε, ότι η φασική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων είναι 120 μοίρες.

Στην περίπτωση του Μ/Σ έχουμε δύο τριφασικά συστήματα, ένα στην πλευρά της μέσης και ένα στην πλευρά της χαμηλής τάσης. Για να μπορέσουμε να χαρακτηρίσουμε τη συνδεσμολογία κάθε πλευράς του Μ/Σ και ταυτόχρονα και τη φασική διαφορά μεταξύ των δύο πλευρών, χρησιμοποιούμε τα γράμματα D και Y σε συνδυασμό με έναν αριθμό από το 1 ως το 12.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7-11δ, η συνδεσμολογία των Μ/Σ είναι συνήθως Dyn5 ή Dyn 11-(το Dyn5 διαβάζεται δέλτα-ύψιλον-νι-πέντε).

Παρακάτω αναλύεται η σημασία του κάθε γράμματος-αριθμού:

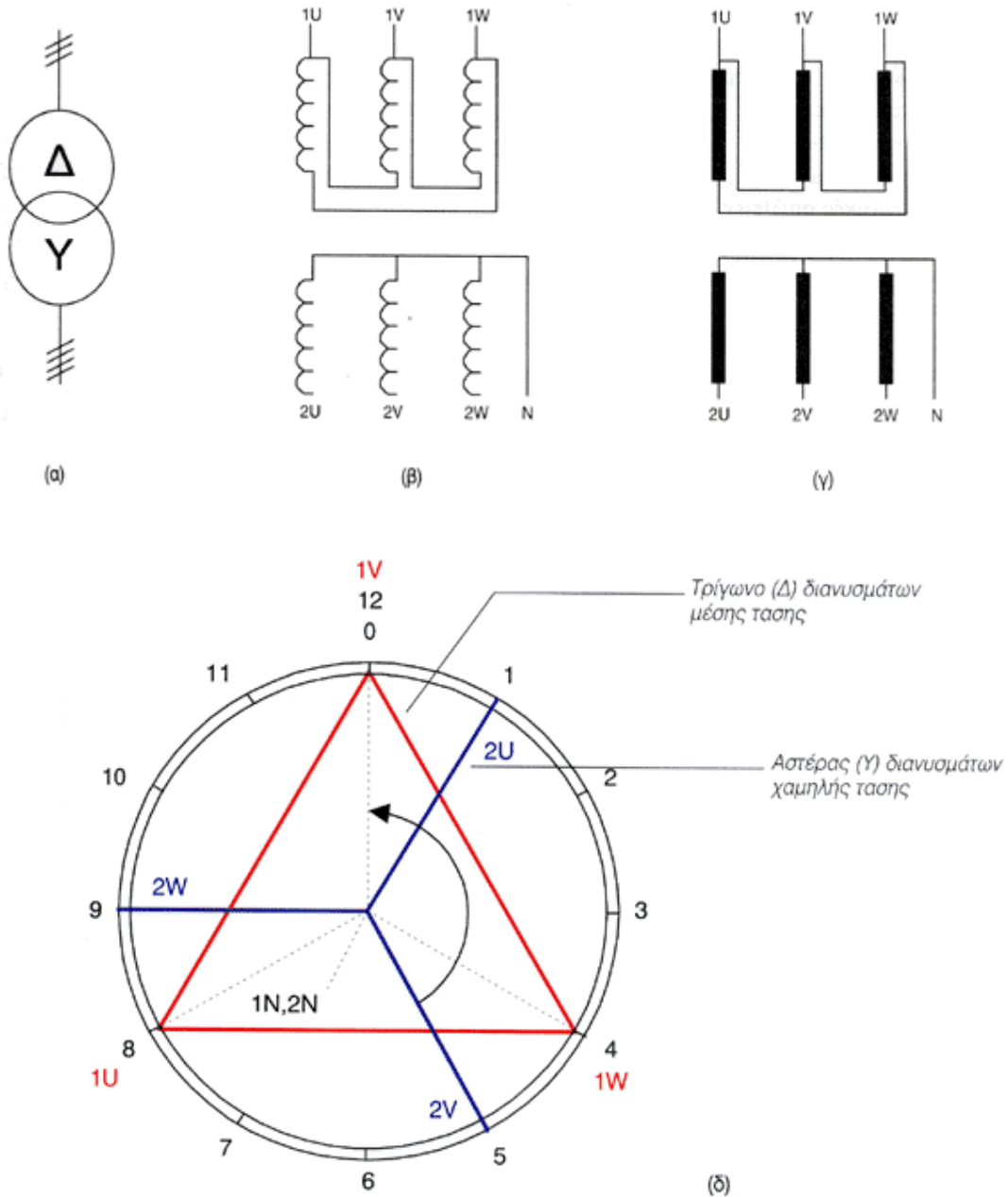
Το πρώτο κεφαλαίο γράμμα D σημαίνει ότι τα τρία τυλίγματα στην πλευρά των 20 kV είναι συνδεδεμένα σε τρίγωνο, δηλαδή σχηματίζουν τογράμμα Δ.

Το δεύτερο μικρό γράμμα y σημαίνει ότι τα τρία τυλίγματα στην πλευρά των 400 V είναι συνδεδεμένα σε αστέρα, δηλαδή σχηματίζουν το γράμμα y. Για να δηλώσουμε ότι είμαστε στη χαμηλή τάση το γράφουμε μικρό y.

Το τρίτο μικρό γράμμα n σημαίνει ότι στην πλευρά χαμηλής τάσης υπάρχει ακροδέκτης ουδετέρου (neutral)

Ο τέταρτος αριθμός δείχνει τη φασική διαφορά μεταξύ των διανυσμάτων των τάσεων της ίδιας φάσης στην πλευρά μέσης και της χαμηλής τάσης. Αν το διάνυσμα τάσης της μέσης τάσης (1 V) το θεωρήσουμε ότι είναι στη θέση 12

του ρολογιού, τότε το αντίστοιχο διάνυσμα της χαμηλής τάσης (2 V) είναι στην ώρα 5. Συνεπώς η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων 1V και 2V είναι $5 \times 30 = 150^\circ$.



Εικόνα 7-11 Συμβολισμοί τριφασικού μετασχηματιστή:

- α. Μονογραμμικό σύμβολο
- β. Σύμβολο με ακροδέκτες κατά IEC
- γ. Σύμβολο με ακροδέκτες (παλαιό σύμβολο)
- δ. Ομάδα διανυσμάτων Dyn5

Σημειώνουμε ότι ικανή και αναγκαία συνθήκη για να μπορέσουν δύο Μ/Σ να λειτουργήσουν παράλληλα (να παραλληλιστούν) είναι:

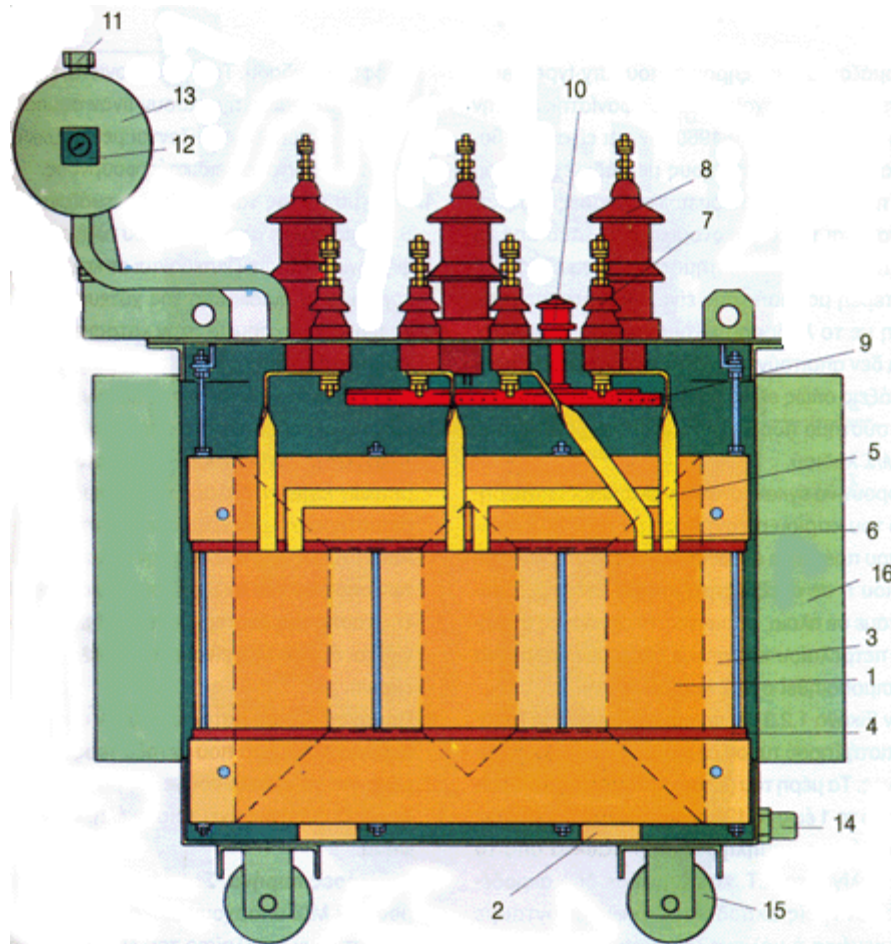
να έχουν τον ίδιο λόγο μετασχηματισμού π.χ 20/0,4 kV

να έχουν την ίδια συνδεσμολογία, π.χ Dyn5

να μη διαφέρουν σημαντικά οι ονομαστικές σχέσεις τους.

7.10.3 Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού

Στην Εικόνα 7-12 βλέπουμε την τομή ενός τριφασικού Μ/Σ λαδιού. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 16 και αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 7-12 Μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού

1. Πυρήνας (Core)

Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.

2. Στηρίγματα πυρήνα (Core support)

Μεταξύ του πυθμένα του δοχείου και του πυρήνα μεσολαβεί κάποια απόσταση για να μπορεί να κυκλοφορεί το λάδι.

3. Τυλίγματα (Winding)

Σε κάθε σκέλος του πυρήνα υπάρχουν δύο τυλίγματα (πηνία). Στο εσωτερικό βρίσκεται το τύλιγμα της χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) και εξωτερικά το τύλιγμα της μέσης τάσης. Το τύλιγμα Χ.Τ. είναι κατασκευασμένο από χάλκινες ή αλουμινένιες μπάρες, ενώ το τύλιγμα της Μ.Τ. είναι από χάλκινο σύρμα.

4. Στηρίγματα τυλιγμάτων (winding support)

Η στερέωση των τυλιγμάτων Χ.Τ. και Μ.Τ. τόσο μεταξύ τους όσο και πάνω στον πυρήνα είναι πολύ κρίσιμη και γίνεται με μονωτικά στηρίγματα. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, αναπτύσσονται στα τυλίγματα μεγάλες δυνάμεις Laplace που μπορούν να καταστρέψουν το Μ/Σ.

5. Άκρα των τυλιγμάτων (α)

Τα τρία άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης γεφυρώνονται με χάλκινη μπάρα και δημιουργείται ο ουδέτερος κόμβος. Ο ουδέτερος συνδέεται στο κάτω μέρος του μονωτήρα διέλευσης και προκύπτει έτσι ο ακροδέκτης του ουδετέρου (n).

6. Άκρα των τυλιγμάτων (β)

Τα τρία άλλα άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης συνδέονται στους μονωτήρες διέλευσης και προκύπτουν οι ακροδέκτες 2U, 2V, 2W.

7. Μονωτήρες διέλευσης Χ.Τ. (LV bushing) από πορσελάνη

Ονομάζονται μονωτήρες διέλευσης, διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα Χ.Τ.. Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Χ.Τ.. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Χ.Τ. που αναχωρούν από το Μ/Σ.

8. Μονωτήρες διέλευσης Μ.Τ. (MV bushing) από πορσελάνη.

Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Μ.Τ.. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Μ.Τ. που έρχονται από την κυψέλη προστασίας του Μ/Σ.

9. Ρυθμιστής τάσης (off-circuit tap changer)

Τα τυλίγματα μέσης τάσης έχουν ενδιάμεσα λήψεις που καταλήγουν σε ένα περιστροφικό διακόπτη. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (off-circuit).

10. Χειριστήριο ρυθμιστή τάσης

11. Δοχείο διαστολής (expansion vessel)

Η θερμοκρασία του λαδιού σε κανονική λειτουργία του Μ/Σ φτάνει τους 100°C, με αποτέλεσμα τη διαστολή του . Το δοχείο διαστολής συνδέεται με σωλήνα με το δοχείο του Μ/Σ και όσο η θερμοκρασία του λαδιού ανεβαίνει, ανεβαίνει η στάθμη του λαδιού, διώχνοντας τον αέρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοχείου. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία του λαδιού κατεβαίνει. Σήμερα κατασκευάζονται στεγανοί Μ/Σ λαδιού, με ειδικά σχεδιασμένα πτερύγια ψύξης που παίρνουν τις διαστολές του λαδιού και, συνεπώς, δεν χρειάζονται δοχείο διαστολής. Οι στεγανοί (sealed tank) Μ/Σ δεν χρειάζονται συντήρηση, διότι το λάδι δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και έτσι δεν αλλοιώνεται

12. Δείκτης στάθμης λαδιού (oil-level indicator)

Μάς δείχνει τη στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής.

13. Τάπα αερισμού και πλήρωσης με λάδι (Ventilation and filling cap)

Από εδώ εξέρχεται ο αέρας που υπάρχει στο δοχείο διαστολής όταν θερμαίνεται το λάδι του Μ/Σ.

14. Βάνα αποχέτευσης του λαδιού (Drain plug)

Από εδώ γίνεται η εκκένωση του λαδιού.

15. Τροχοί κύλησης (Roller)

Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.

16. Ψυκτήρες (cooling ribs)

Μοιάζουν με τις φέτες των θερμομαντικών σωμάτων ακτινοβολίας και χρησιμεύουν για τη φυσική ψύξη του λαδιού.

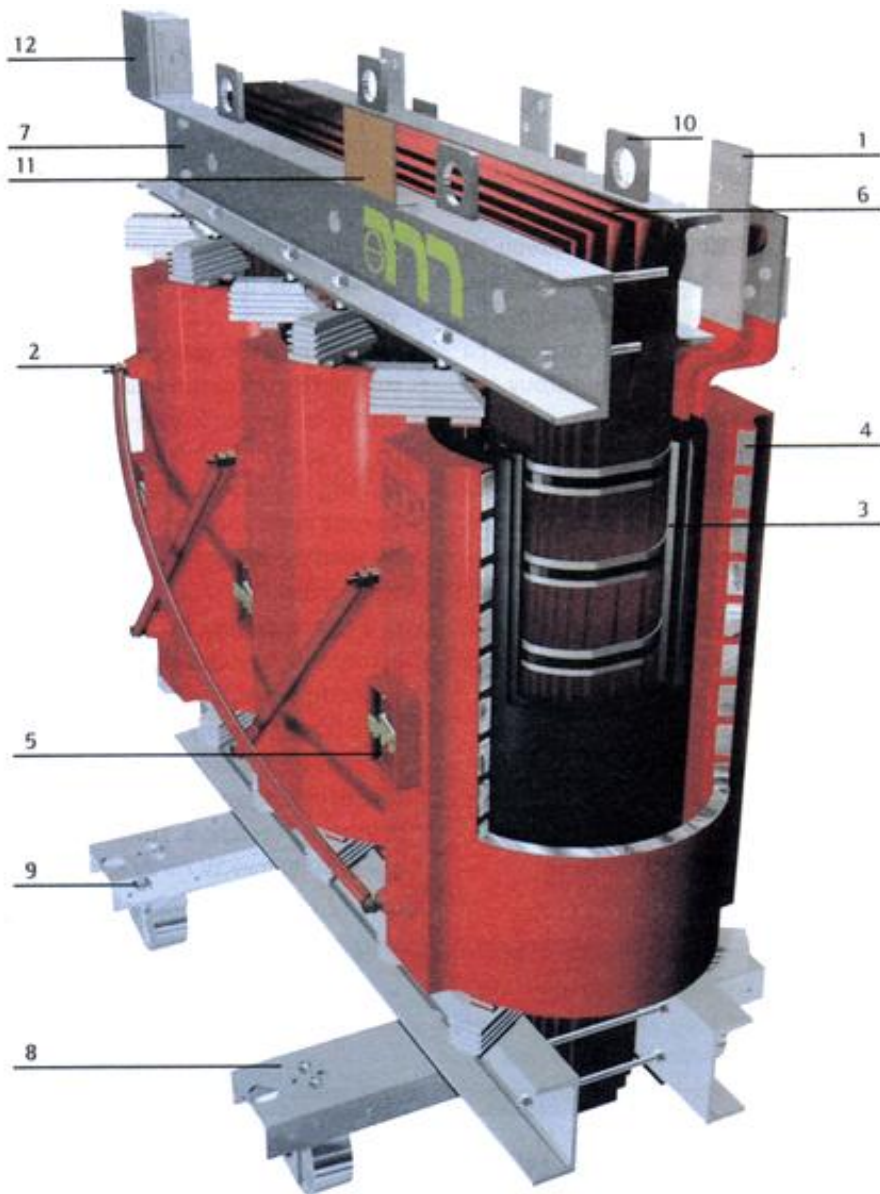
7.10.4 Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης

Ονομάζονται Μ/Σ ξηρού τύπου (dry-type transformers) διότι δεν έχουν λάδι. Εμφανίστηκαν στην αγορά τη δεκαετία του 1960. Αν και είναι ακριβότεροι από τους αντίστοιχους με λάδι, έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα που πολλές φορές τους κάνουν να είναι τελικά οικονομικότεροι. Δύο από τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

Η στερεή μόνωσή τους είναι άκαυστη, σε αντίθεση με το λάδι που είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο. Έτσι δεν απαιτούνται μια σειρά από ειδικές προφυλάξεις όπως ελαιοδεξαμενή, τοίχοι πυράντοχοι, σύστημα πυρόσβεσης κ.ά. που συναντάμε σε Μ/Σ λαδιού.

Μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε σημείο του κτιρίου σε αντίθεση με τους Μ/Σ λαδιού που πρέπει να εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου ή σε ανεξάρτητα κτίρια. Έτσι τους συναντάμε σε πλοία, σήραγγες, πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου και γενικά όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο Μ/Σ λαδιού.

Στην Εικόνα 7-13 βλέπουμε την τομή ενός μετασχηματιστή ξηρού τύπου με μόνωση εποξειδικής χυτορητίνης. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 12 και αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 7-13 Μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση εποξειδικής χυτορητίνης

1. Ακροδέκτες χαμηλής τάσης

Καθένα από τα τρία τυλίγματα Χ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι τρεις ακροδέκτες γεφυρώνονται με αλουμινένια ή χάλκινη μπάρα και προκύπτει ο ακροδέκτης του ουδετέρου. Τα υπόλοιπα τρία άκρα καταλήγουν στους ακροδέκτες Χ.Τ., όπου συνδέονται τα καλώδια των 400 V.

2. Ακροδέκτες μέσης τάσης

Καθένα από τα τρία τυλίγματα Μ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι ακροδέκτες γεφυρώνονται χιαστί με μονωμένους αγωγούς για να δημιουργήσουν το τρίγωνο (Δ) των τυλιγμάτων της μέσης τάσης.

3. Τύλιγμα χαμηλής τάσης

Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή κυλίνδρου. Τα φύλλα μονώνονται μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν έναν συμπαγή κύλινδρο. Κατόπιν εμποτίζονται με εποξεική ρητίνη και ψήνονται σε ειδικούς φούρνους.

4. Τύλιγμα μέσης τάσης

Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή πηνίου. Κατόπιν χυτεύονται σε καλούπια με χυτορητίνη. Η διαδικασία της χύτευσης αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο στην κατασκευή του Μ/Σ.

5. Ρυθμιστής τάσης

Κάθε τύλιγμα μέσης τάσης έχει ενδιάμεσες λήψεις που καταλήγουν σε ένα κιβώτιο ακροδεκτών στο μπροστινό μέρος κάθε τυλίγματος. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (offcircuit).

6. Πυρήνας (Core)

Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.

7. Σφικτήρες πυρήνα

Στο πάνω και στο κάτω μέρος του Μ/Σ υπάρχουν σιδερένια δοκάρια που σχηματίζουν το πλαίσιο του Μ/Σ και ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται για τη σύσφιξη των ελασμάτων του πυρήνα.

8. Τροχοί κύλησης (Roller)

Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.

9. Ακροδέκτης γείωσης

Στον ακροδέκτη αυτό γειώνονται όλα τα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ (πυρήνας, πλαίσιο κ.λπ.) που δε διαρρέονται από ρεύμα.

10. Άγκιστρα ανύψωσης

Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του Μ/Σ.

11. Πινακίδα

Στην πινακίδα αυτή αναγράφονται τα τεχνικά στοιχεία του Μ/Σ, το εργοστάσιο και το έτος κατασκευής του.

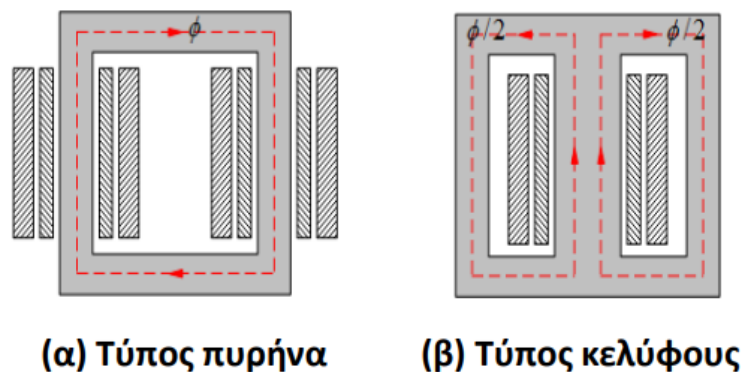
12. Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας

Στο κουτί αυτό καταλήγουν τα καλώδια από τους θερμίστορες που υπάρχουν στα τυλίγματα Χ.Τ. και μας επιτρέπουν να προστατεύουμε το Μ/Σ από υπερφόρτιση.

7.10.5 Πυρήνες Μετασχηματιστών

Για τον περιορισμό των απωλειών από δινορρεύματα, οι πυρήνες των μετασχηματιστών δεν είναι συμπαγείς αλλά κατασκευάζονται από ελάσματα καταλλήλου πάχους (περίπου από 0,25 – 0,5 mm). Τα ελάσματα αυτά είναι κατασκευασμένα από πυριτιούχο χάλυβα (πρόσμειξη πυριτίου , για την αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης του κράματος) και είναι επίσης μονωμένα μεταξύ τους με κατάλληλα βερνίκια, για τον περιορισμό των δινορρευμάτων.

Ανάλογα με το σχήμα του πυρήνα, οι μετασχηματιστές διακρίνονται σε δύο τύπους, τον τύπο πυρήνα (core-type transformer) και τον τύπο κελύφους (shell-type transformer)



Εικόνα 7-14 Πυρήνες μετασχηματιστών

Για τον περιορισμό των απωλειών σκέδασης στο μετασχηματιστή τύπου πυρήνα, τα τυλίγματα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος μοιράζονται εξίσου και στα δύο σκέλη. Οι αγωγοί των τυλιγμάτων κατασκευάζονται από χαλκό ή αλουμίνιο.

7.10.6 Απώλειες ισχύος

Οι απώλειες ισχύος P_a χωρίζονται :

α) Σε απώλειες σιδήρου P_{fe} η μαγνητικές απώλειες , που οφείλονται στην κατανάλωση ενέργειας στο σιδηροπυρήνα (Δινορρεύματα και μαγνητική υστέρηση). Οι απώλειες αυτές είναι σταθερές και σχεδόν ίδιες σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του M/T (χωρίς η με φορτίο)

β) Απώλειες χαλκού (P_{cu}) η ηλεκτρικές απώλειες , που οφείλονται στην κατανάλωση ενέργειας στην ισοδύναμη ωμική αντίσταση του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τυλίγματος του M/Σ

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα ισχύει:

$$P_a = P_{cu} + P_{fe}$$

Σε συνέπεια των απωλειών είναι η ανάπτυξη θερμοκρασίας στο M/T (λόγω δινορρευμάτων)

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

«Ηπιες μορφές ενέργειας», Παπαϊωάννου, Γ. Συλλογικό έργο Harterich, Manfred Herr, H., Εκδότης :Ίων

«Περιβάλλον & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Καπλάνης Ν. Σωκράτης, Εκδότης:Ίων

9 ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

https://el.wikipedia.org/wiki/Αιολική_ενέργεια

<https://www.naftemporiki.gr/story/1686026/rekor-gia-tin-aioliki-energeia-stin-ellada-to-2020>

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONIKES_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKAS.pdf

https://www.ti-soft.com/el/support/help/electricaldesign/knowledgebase/middlevoltage/panelcad_kalwdia/panelcad_termatismos_kalwdiwn_meshs_tashs

<https://www.mto.com.tr/single-post/wind-turbines-lightning-protection>

<https://www.windfarmbop.com/wind-farm-substation-an-overview/>

<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/EEE259/1.METAΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ.pdf>

https://www.ti-soft.com/el/support/help/electricaldesign/knowledgebase/middlevoltage/panelcad_metaximatistes_isxuos/panelcad_syndesmologia_tuligmatwn_tou_metaximatisti_isxuos

<https://www.electricalengineeringinfo.com/2016/03/types-of-oil-circuit-breaker-bulk-oil-circuit-breaker-and-minimum-oil-circuit-breaker.html>

<https://www.linquip.com/blog/what-is-power-transformer/>

<http://www.2en.gr/sw-turbines.php>