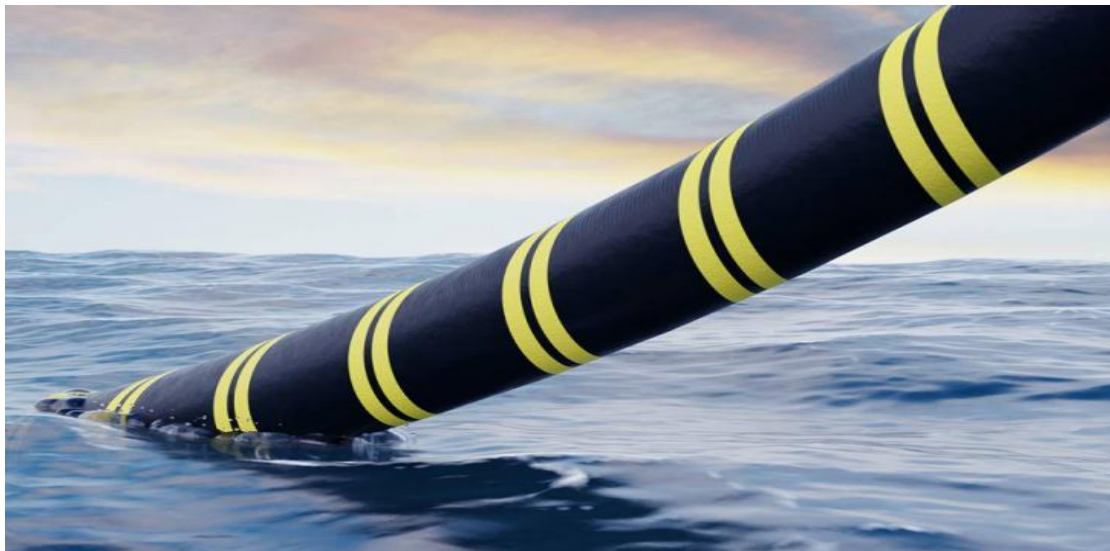




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΣΧΟΛΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΜΕ
ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ (HVDC).



ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ
ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η πλήρης περιγραφή ενός καινοτόμου συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς τάσης-ρεύματος με αναλυτική περιγραφή στα επιμέρους κεφάλαια ,ως

Εισαγωγικό κεφάλαιο μια αρχική εισαγωγή στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και πως αυτή διανεμόταν και συνεχίζεται να διανέμεται παγκοσμίως

Ως 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η πρώτη εικόνα του συστήματος HVDC και των επιμέρους γενικών χαρακτηριστικών του, των διασυνδέσεων που επικρατούν όπως επίσης και των εφαρμογών τους ,εκτός και εντός της ελληνικής χώρας.

Ως 2^ο κεφάλαιο αναδεικνύονται οι κυρίαρχοι τύποι ηλεκτρονικών διακοπών ισχύος και η λειτουργία αυτών ,αλλά και οι μετατροπείς που κατασκευάζονται και τοποθετούνται σε λειτουργία με τους ανωτέρω διακόπτες .Μια αναφορά επίσης γίνεται και στα φίλτρα των σταθμών μετατροπής της ενέργειας όπως και ο αντίκτυπος που έχουν στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Ως 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις εναέριας η υποβρύχιας αλλά και τα βασικά ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά αυτών.

Ως 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται δομικά ένας σταθμός μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας και ακολούθως αναλύεται και απεικονίζεται υποβρύχια εγκατάσταση καλωδίου υψηλής DC τάσης συστήματος HVDC αλλά και ο εξοπλισμός που χρειάζεται για την προσεδάφιση αυτού

Και ως 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο εξομοιώνεται το σύστημα σε καταστάσεις σφάλματος και μελετάται η συμπεριφορά του .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	8
- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	8
- ΤΟ HVDC ΣΥΣΤΗΜΑ	8
- ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ HVDC ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	10
- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ HVDC ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	15
- ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	18
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	20
- ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	20
- ΤΟ THYRISTOR.....	20
- ΤΟ IGBT.....	24
- ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ.....	28
- VSC'S-VOLTAGE SOURCE CONVERTERS (ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΠΗΓΗΣ ΤΑΣΗΣ)	28
- CSC's-CURRENT SOURCE CONVERTERS (ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΠΗΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ)	30
- ΣΥΓΚΡΙΣΗ VSC-CSC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ.....	33
- ΦΙΛΤΡΑ.....	37
- ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.....	37
- ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.....	38
- ΦΙΛΤΡΑ ΓΙΑ CSC ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ.....	39
- ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ.....	41

- ΠΗΝΙΟ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ.....	41
- ΦΙΛΤΡΑ ΓΙΑ VSC ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ.....	42
- ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ.....	42
- ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗ ΓΡΑΜΜΗΣ.....	42
- ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ.....	42
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	43
- ΚΑΛΩΔΙΑ HVDC.....	43
4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	48
- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	48
- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	51
5 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	56
- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ HVDC ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ(SIMULINK)	56
- ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1 ^η DC ΣΦΑΛΜΑ (DC FAULT)	57
- ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2 ^η ΣΦΑΛΜΑ AC (Α ΦΑΣΗ ΜΕ ΓΕΙΩΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΑΝΟΡΘΩΤΗ).....	59

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

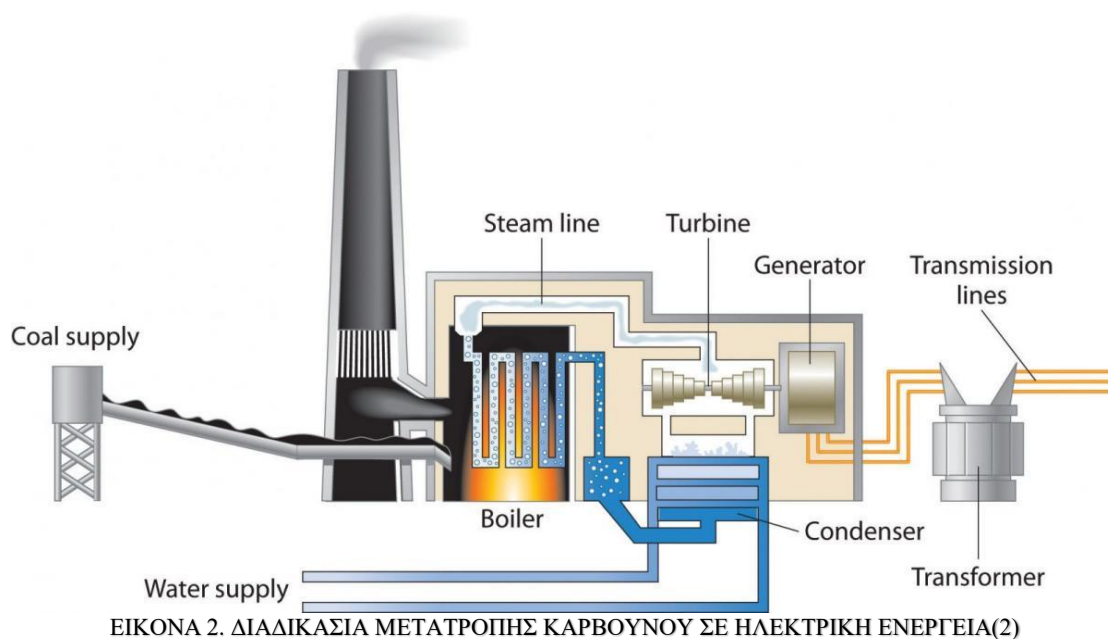
Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μελετιούνται και κατασκευάζονται ανοδικά με τη πάροδο του χρόνου διότι λαμβάνουν μέρος στην μεταφορά της σημαντικότερης ανάγκης του σύγχρονου ανθρώπου, την ηλεκτρική ενέργεια .Η σημερινή εποχή με τις αστέρευτες ανάγκες των ανθρώπων για βιωσιμότητα, ανάπτυξη ,και συνάμα καλό βιός μας οδηγεί σε τρομερά αυξημένες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε νοικοκυριά, επιχειρήσεις ,αγροκτήματα και βιομηχανίες και καθιστούν την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας είτε από ήπειρο σε ήπειρο είτε από χώρα σε χώρα μια τρομερά σημαντική υπόθεση.



ΕΙΚΟΝΑ 1. ΠΥΛΩΝΕΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(1)

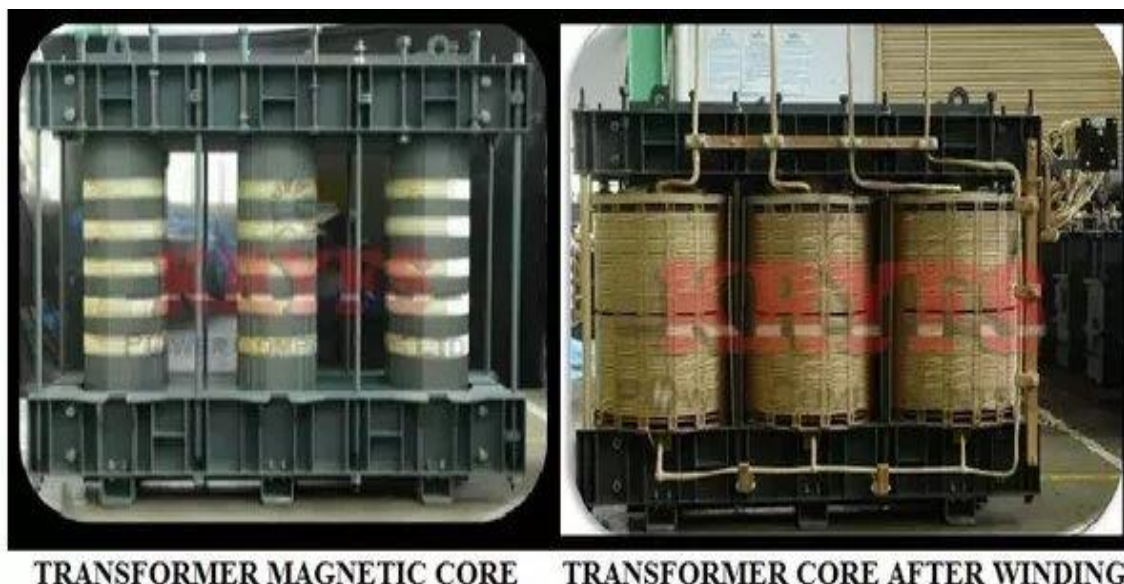
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αρχή γίνεται δημιουργώντας αυτό το πολύτιμο αγαθό που ονομάζεται ηλεκτρική ενέργεια. Εκμεταλλεύοντας τις παροχές της φύσης όπως τα ορμητικά νερά ενός ποταμού , τα ορυκτά καύσιμα και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορεί με ποικίλους τρόπους να μετασχηματιστεί η ενέργεια τους σε αυτή που χρειάζεται. Ο κυρίαρχος εδώ και πολλά χρόνια είναι τα ορυκτά καύσιμα που λαμβάνουν μέρος στο 86% της παγκόσμιας ανάγκης σε ενέργεια αναφέρονται σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με λιγνίτη , πυρηνικά υλικά και φυσικό αέριο . Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια κατέχουν το 6% και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή ,αιολική) σχεδόν 1% της παγκόσμιας ζήτησης αλλά πρέπει να συμμεριστεί κανείς και τις επιπτώσεις αυτών, παραθέτοντας ότι τα ορυκτά καύσιμα όπως το κάρβουνο το πετρέλαιο και άλλα , χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να δημιουργηθούν ,είναι ιδιαίτερα ρυπογόνα και λιγοστεύουν με τον καιρό λόγω της μεγάλης ζήτησης τους .Αυτό το γεγονός ανησυχεί και παράλληλα ευαισθητοποιεί την κοινωνία που φαίνεται να στρέφεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με την βοήθεια των παροχών της φύσης , μετασχηματίστηκε μετά από πολλά στάδια η ενέργεια καταλήγοντας στο τελικό της στάδιο που πλέον είναι ηλεκτρική ,ολοκληρώνοντας το πρώτο στάδιο της διαδικασίας.



Εν συνεχεία η παραγόμενη ενέργεια πρέπει να μεταφερθεί στους καταναλωτές .Το δεύτερο μέρος της διαδικασίας εκκινεί στο κιβώτιο των ηλεκτρικών συνδέσεων της γεννήτριας που από εκεί η εναλλασσόμενη τάση πρέπει να ανυψωθεί σε επίπεδα κατάλληλα ώστε η μεταφορά της ισχύος να είναι όσο τον δυνατόν αποδοτικότερη .Κάποιες τυπικές τιμές τάσεων για διανομή στην Ελλάδα είναι τα 400KV για υπερυψηλή τάση και 150KV για υψηλή. Όμως σε τόσο μεγάλα επίπεδα τάσης δεν συνδέεται σχεδόν κανένας καταναλωτής απευθείας στην Ελλάδα εκτός από λίγες

εξαιρέσεις. Έτσι δημιουργούνται οι υποσταθμοί που εκεί τροφοδοτείτε η υψηλή τάση και από εκεί διανέμεται στους καταναλωτές σε πλέον μέση τάση 20KV για καταναλωτές που χρειάζονται περισσότερη ισχύ όπως εργοστάσια αλλά και στον πλησιέστερο μετασχηματιστή της γειτονιάς που θα υποβιβάσει την μέση τάση σε χαμηλή σε επίπεδα πολικών τάσεων των 400V. Όπως παρατηρείται το κύριο μέσο που δίνει την δυνατότητα να ανυψώνεται και να υποβιβάζεται το επίπεδο των τάσεων είναι ο μετασχηματιστής. Η κατασκευή του μετασχηματιστή τάσης είναι ιδιαίτερα απλή και βασίζεται στην επαγωγή τάσης από ένα τύλιγμα σε ένα άλλο.



ΕΙΚΟΝΑ 5. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΛΗΞΗ ΤΟΥ(5)

Η συγκεκριμένη μέθοδος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας είναι κυρίαρχος από το 1891 αλλά η εξέλιξή του είχε ξεκινήσει από παλιότερα με σκοπό να λύσει πολλά προβλήματα αποδοτικότητας που δημιουργούσε η πρώτη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία λειτουργούσε σε συνεχή τάση. Αυτά ήταν η δυσκολία μεταβολής του επιπέδου τάσης για την μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις αλλά και στο μοίρασμα της ισχύος σε μία γραμμή όλων των καταναλωτών. Η λύση τότε δόθηκε σε γραμμές μεταφοράς όπου βρίσκονταν σε διαφορετικό επίπεδο τάσης και χρησιμοποιούνταν η κάθε μία για διαφορετικού τύπου καταναλωτή όπως οι λάμπες πυρακτώσεως του Tomas Edison λειτουργούσαν σε 110V ,ο δημοτικός φωτισμός της νέας Υόρκης χρειαζόταν 10KV για πολλές συνδεδεμένες σειριακά λάμπες .Κάποια οχήματα που είχαν κατασκευαστεί για την δημόσια μεταφορά των πολιτών χρειαζόντουσαν 500V και εργοστάσια τα

οποία βρισκόντουσαν σε άλλο επίπεδο τάσης λειτουργούσαν και αυτά σε ξεχωριστή γραμμή [2.1]. Κατανοείται ότι η ιδέα αυτή φέρνει την απόδοση του συστήματος σε πολύ χαμηλά επίπεδα και όλα αυτά διότι όπως προαναφέρθηκε το κυρίως πρόβλημα εκείνης της εποχής ήταν η μεταβολή του επιπέδου της DC τάσης όπου εκεί το AC σύστημα πλεονεκτούσε διότι με τον μετασχηματιστή μετατρέποταν πολύ πιο εύκολα και αποδοτικά . Η τεχνολογία όμως συνεχώς ψάχνει λύσεις για την βελτίωση της συνολικής απόδοσης της ευρύτερης έννοιας της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και μετέβη σε επαναστατικές μεθόδους ελέγχου ισχύος σε συστήματα DC τα οποία είναι ο βασικός στόχος της παρούσας εργασίας.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΟ HVDC ΣΥΣΤΗΜΑ

Το HVDC σύστημα δηλαδή HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας και όχι εναλλασσόμενο . Τα περισσότερα HVDC συστήματα λειτουργούν σε τάσεις από 100KV έως 800KV και έχουν μεγάλες δυνατότητες .Η σύνδεση μεταξύ δικτύων που λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες πλέον είναι υλοποιήσιμη και δίνει τρομερή ευελιξία στο σύστημα όπως παραδείγματος χάρη της διασύνδεσης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης στα 50 HZ και του συστήματος της Αμερικής στα 60 HZ .Μέσω της DC διασύνδεσης μεταξύ των δύο AC συστημάτων δεν δημιουργείται πρόβλημα συντονισμού λόγω διαφορετικής συχνότητας .Το HVDC έχει την δυνατότητα να ελέγχει χωριστά την πηγή και το φορτίο όπως επίσης και να ρυθμίζει τις απότομες μεταβολές ισχύος στο δίκτυο. Ακόμα και απτή φύση του το DC δεν παρουσιάζει παρασιτικές επαγωγικές και χωρητικές συμπεριφορές δηλαδή δεν χρειάζεται ο πυλώνας στήριξης της εναέριας γραμμής να είναι πολύ μακριά από έδαφος η τα καλώδια να βρίσκονται αρκετά μακριά το ένα από το άλλο για να περιορίζεται η παρασιτική χωρητικότητα μεταξύ τους. Εντονότερα παρουσιάζεται αυτό το φαινόμενο σε υποβρύχιες γραμμές μεταφοράς που το HVDC παρουσιάζει μηδενικές χωρητικές και επαγωγικές συμπεριφορές ενώ το HVAC το αντίθετο λόγω της αναγκαστικά κοντινής απόστασης μεταξύ των αγωγών και της γης. Έτσι η απορρόφηση επιπλέον ρευμάτων, η εγκατάσταση μεγαλύτερων καλωδίων και η προσθήκη μεγαλύτερων και ακριβότερων πυλώνων για την κάλυψη αυτών των απωλειών με το HVDC απαλείφονται και οδηγούν σε ένα οικονομικότερο εξ ολοκλήρου δίκτυο.



ΕΙΚΟΝΑ 6. ΕΝΑΕΡΙΑ ΓΡΑΜΜΗ HVDC



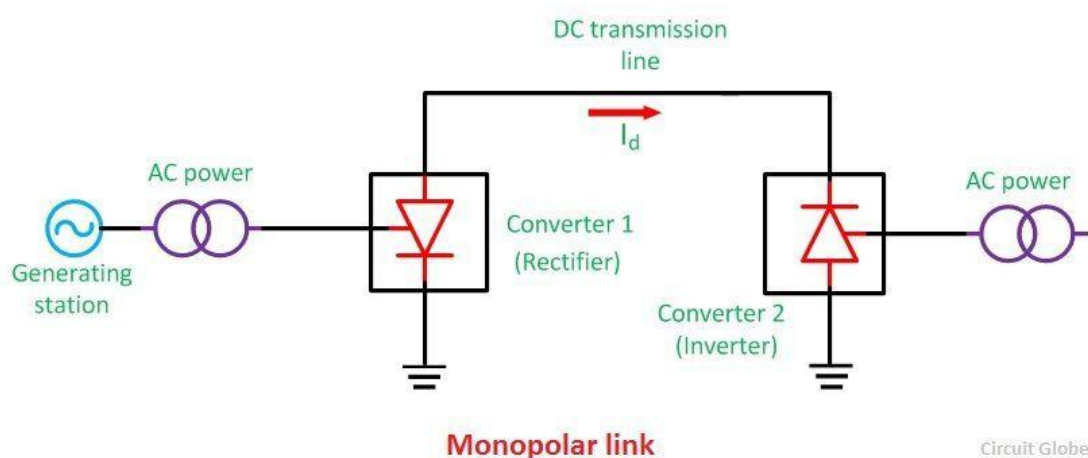
ΕΙΚΟΝΑ 7. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΓΡΑΜΜΗ HVDC

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΗΥDC ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα είδη των διασυνδέσεων εξαρτιόνται από παράγοντες όπως την απόσταση μεταξύ σταθμών μετατροπής της ενέργειας και το είδος της σύνδεσης μεταξύ τους .

1^η κατηγορία. Μονοπολική διασύνδεση

Αυτή η διασύνδεση πραγματοποιείται μεταξύ σταθμών με ένα καλώδιο αναχώρησης θετικής ή αρνητικής πολικότητας και σαν επιστροφή χρησιμοποιείται η γη, η θάλασσα ή καμία φορά μεταλλικός αγωγός. (εικόνα 8).

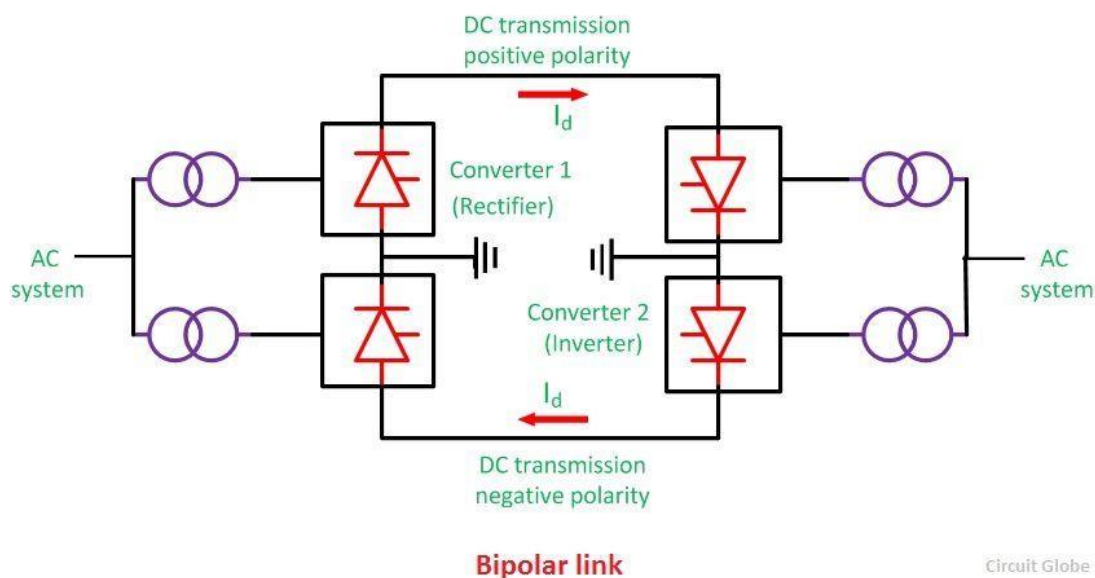


ΕΙΚΟΝΑ 8. ΜΟΝΟΠΟΛΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ (8).

Είναι η απλούστερη και η οικονομικότερη διασύνδεση .Τοποθετείται το καλώδιο αναχώρησης και 20-50 χιλιόμετρα μακριά από κάθε σταθμό τοποθετείται η ράβδος γείωσης. Τα μειονεκτήματα αυτής της σύνδεσης είναι η ποιοτικά κακή μέθοδος επιστροφής του ρεύματος και η ευελιξίας της γραμμής. Η τιμή της αντίστασης μεταβάλλεται ανάλογα τις συνθήκες που θα βρεθεί το ηλεκτρόδιο άρα δεν είναι πάντα ιδανικές συνθήκες για αυτή τη διασύνδεση. Το σύστημα υστερεί σε ευελιξία διότι αν συμβεί κάποιο σφάλμα στη γραμμή πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας έως αποκατάστασης της βλάβης.

2^η κατηγορία. Διπολική διασύνδεση

Αυτή η διασύνδεση πραγματοποιείται μεταξύ σταθμών με δύο καλώδια ένα θετικής και ένα αρνητικής πολικότητας που το σημείο κοινής διασύνδεσης των σταθμών γειώνεται (εικόνα 9).

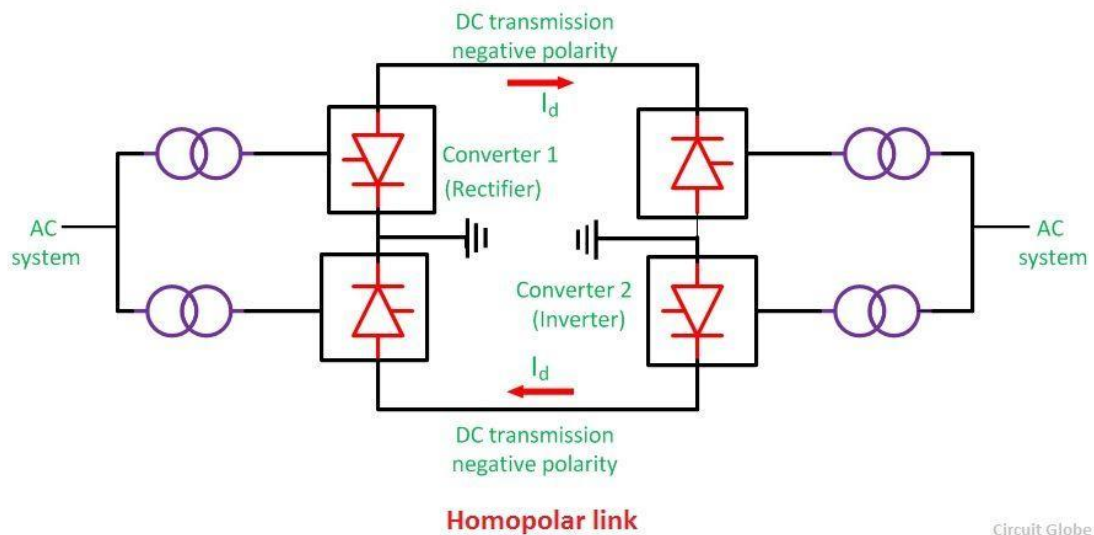


ΕΙΚΟΝΑ 9. ΔΙΠΟΛΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ (9).

Μεταξύ γείωσης ο ένας αγωγός φέρει θετική πολικότητα ενώ ο άλλος αρνητική και παρουσιάζει την μισή τάση από ότι το πλάτος της τάσης που δημιουργείται μεταξύ των δύο αγωγών. Η διασύνδεση αυτή διαθέτει μεγαλύτερη δυνατότητα μεταφοράς ισχύος απτή μονοπολική διότι δεν επιστρέφει ρεύμα μέσω της γης αλλά μέσω του δευτέρου αγωγού. Επίσης η αξιοπιστία που παρουσιάζει είναι αυξημένη λόγω της παρουσίας του δευτέρου αγωγού που σε περίπτωση σφάλματος του ενός ,η διασύνδεση έχει την δυνατότητα μεταγωγής σε μονοπολική, δίχως να υπάρξει διακοπή ηλεκτροδότησης . Η παρούσα διασύνδεση συναντάται συνήθως σε HVDC συστήματα με μοναδικό μειονέκτημα το κόστος εγκατάστασης λόγω του δευτέρου αγωγού που εγκαθίσταται.

3^η κατηγορία. Ομοπολική διασύνδεση

Η διασύνδεση αυτή διαθέτει δύο αγωγούς ίδιας πολικότητας συνήθως αρνητικής και λειτουργεί σαν την μονοπολική, δηλαδή η γείωση μοιράζεται το μέρος της επιστροφής του ρεύματος (εικόνα 10). Το θετικό της συγκεκριμένης διασύνδεσης βρίσκεται στο γεγονός ότι οι βρόχοι εργάζονται παράλληλα με αποτέλεσμα για την ίδια μεταφορά ισχύος να μην δημιουργείται ανάγκη τοποθέτησης μεγάλων διατομών στα καλώδια. Η διασύνδεση δεν χρησιμοποιείται επί του παρόντος.

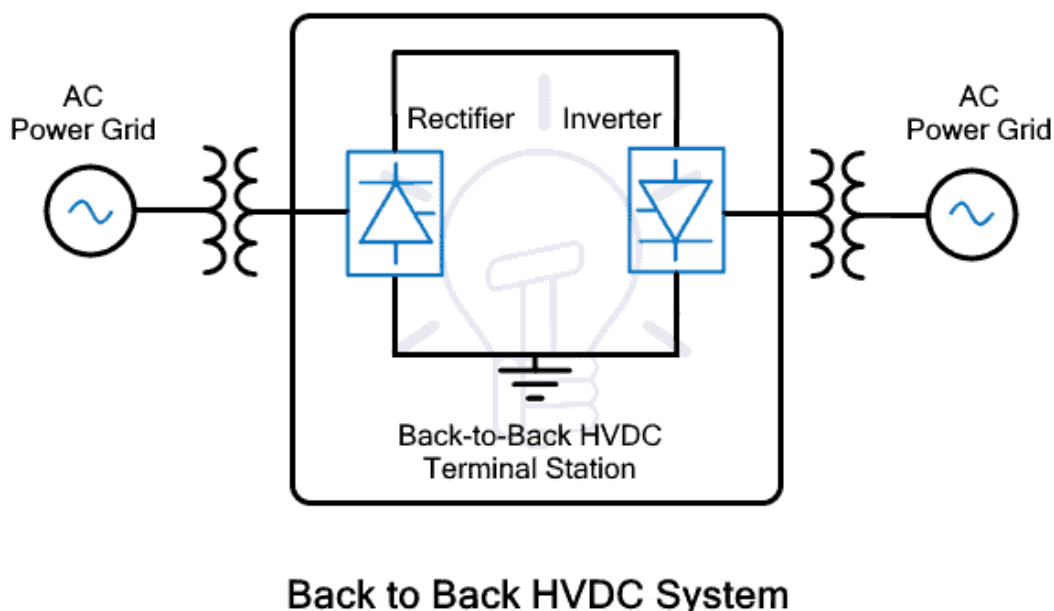


ΕΙΚΟΝΑ 10. ΟΜΟΠΟΛΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ (10).

Circuit Globe.

2^η κατηγορία. Back to Back διασύνδεση

Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα και εφαρμόζεται στην περίπτωση διασύνδεσης HVAC ασύγχρονων δικτύων που λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα (εικόνα 11). Στη περίπτωση αυτή ο ανορθωτής και ο αντιστροφέας βρίσκονται στον ίδιο υποσταθμό σε κάθε πλευρά.

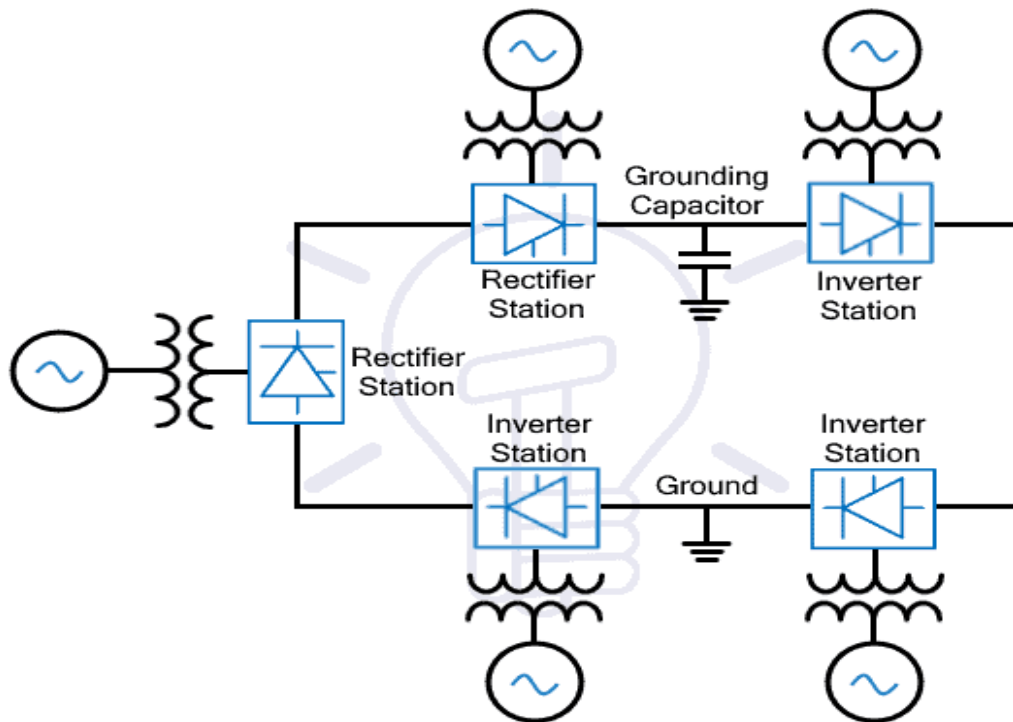


ΕΙΚΟΝΑ 11. BACK TO BACK ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ (11).

5^η κατηγορία. Πολυτερματική διασύνδεση (MTDC)

Αυτές οι διασυνδέσεις χρησιμοποιούνται όταν η σύνδεση μεταξύ πολλών δικτύων είναι απαραίτητη. Διακρίνονται σε δυο υποκατηγορίες την σειριακή πολυτερματική και την παράλληλη πολυτερματική διασύνδεση (εικόνας 12,13).

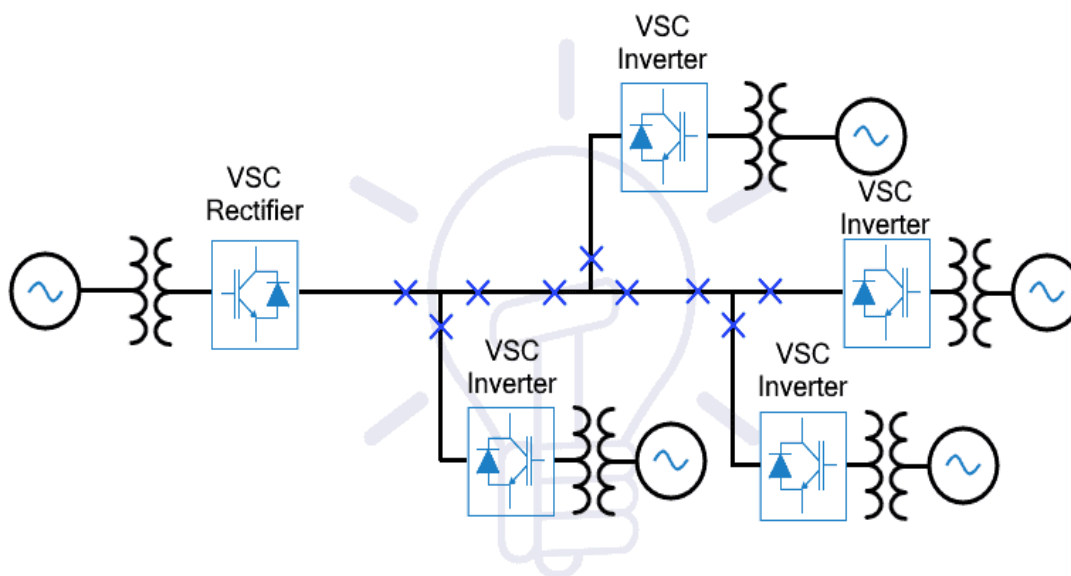
⁽¹⁾Στην σειριακή πολυτερματική διασύνδεση ο κάθε σταθμός συνδέεται σε σειρά με τον επόμενο και διαρρέονται από κοινό ρεύμα. Παρατηρούμε τον πυκνωτή στο σχηματικό της (εικόνας 12) το οποίο τοποθετείται για την εξουδετέρωση transient AC συνιστωσών στον DC βρόγχο. Η διασύνδεση λειτουργεί με μονοπολικές συνήθως διασυνδέσεις. Η ικανότητα μεταφοράς ισχύος είναι υποδεέστερη αυτής της παράλληλης πολυτερματικής διασυνδέσεως λόγω του ότι η ισχύς ελέγχεται μέσω ρύθμισης της τάσης σε κάθε σταθμό.



Series Multi-Terminal DC (MTDC) System

ΕΙΚΟΝΑ 12. ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΠΟΛΥΤΕΡΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ (12).

⁽¹¹⁾Η παράλληλη πολυτερματική διασύνδεση είναι πιο σύνθετη σε σχέση με την σειριακή. Χρησιμοποιεί πολλούς σταθμούς μετατροπής DC-AC (inverters) και σταθμούς φορτίου που βρίσκονται συνδεδεμένοι σε κοινό σταθμό μετατροπής ανορθωτή AC-DC ο οποίος τροφοδοτεί όλο το σύστημα. Το κοινό επίπεδο τάσης που έχουν όλοι οι σταθμοί ορίζεται από έναν από αυτούς και η δυνατότητα του συστήματος υπερτερεί του σειριακού MTDC. Παρατηρούμε στο σχηματικό ότι χρησιμοποιούνται VSC's (Voltage Source Converters) τύποι μετατροπέων με δυνατότητα ελέγχου της ροής ισχύος αλλά και έγχυσης ρεύματος σε συγκεκριμένη γραμμή όταν αυτό χρειάζεται. Επίσης σε κατάσταση σφάλματος μίας γραμμής ο DC κλάδος παραμένει ενεργός και δεν πάυει να τροφοδοτεί τους υπόλοιπους μετατροπείς.



Parallel Multi-Terminal DC (MTDC) System

ΕΙΚΟΝΑ 13.ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΠΟΛΥΤΕΡΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ (13).

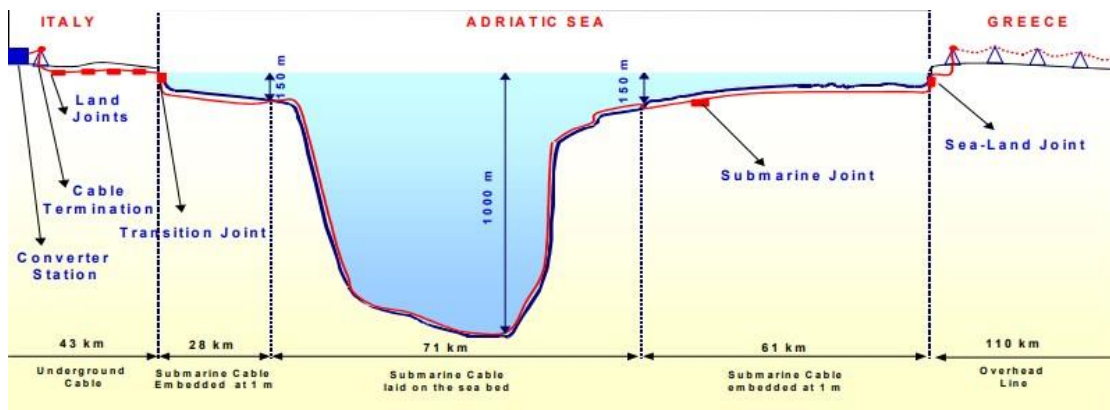
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΥΔC ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το ΗΥΔC σύστημα βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε διασυνδέσεις μεγάλου μήκους διότι με αυτό τον τρόπο, η υλοποίηση και η συντήρηση του κοστίζει λιγότερο από κόστος μεταφοράς και απωλειών του HVAC και πλέον συνολικά συμφέρει στην διεκπεραίωση και την λειτουργία του. Μεταξύ Ελλάδας-Ιταλίας μια σημαντική διασύνδεση έχει λάβει μέρος ενώνοντας τις δυο αυτές χώρες, προσφέροντας μείωση της τιμής του ρεύματος αλλά και ευελιξία του παρόχου της ηλεκτρικής ενέργειας τόσο της Ελλάδας όσο και της Ιταλίας αλλά και ολόκληρης της Ευρώπης. Το ένα άκρο της διασύνδεσης αυτής ξεκινά απτή γειτονική χώρα ανατολικά, στην πόλη της Galatina μέσω υποβρυχίου καλωδίου και συνδέεται μονοπολικά στην περιοχή του Αράχθου βορείως της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας με ικανότητα μεταφοράς ενεργού ισχύος έως 500MW σε τάση λειτουργείας 400kV DC. Ο σχεδιασμός του συστήματος επιτρέπει και την μεταφορά της διπλάσιας ενεργού ισχύος με την προϋπόθεση εγκατάστασης ενός ακόμα καλωδίου. Η ολική εγκατάσταση περιλαμβάνει έναν πλήρη σταθμό μετατροπής ενέργειας σε κάθε πλευρά και έχει ρόλο ανορθωτή και αντιστροφέα διότι συνδέει δυο συστήματα εναλλασσόμενου των 50 HZ δια μέσω DC Link. Δυο ηλεκτρόδια επίσης είναι τοποθετημένα σε κάθε ακτή που παρέχουν την επιστροφή του ρεύματος. Το καλώδιο βρίσκεται στην πλευρά της Ιταλίας απτον σταθμό έως την στιγμή που εκκινεί η πορεία του εντός θάλασσας ενταφιασμένο για περίπου 43 km από Galatina έως Otranto που από εκεί και μετά

βρίσκεται υποβρυχίως για 163km έως άφιξης του στην περιοχή του Αετού. Από εκεί μέσω εναερίου καλωδίου DC καταφθάνει στην περιοχή του Αράχθου που τερματίζεται στον σταθμό και μετασχηματίζεται σε AC για την διανομή του στους καταναλωτές.



ΕΙΚΟΝΑ 14. ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ – ΙΤΑΛΙΑΣ(14)



ΕΙΚΟΝΑ 15. ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΛΩΔΙΑΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ(15)

Το βυθομετρικό προφίλ της εικόνας 15 απεικονίζει αναλυτικά την πορεία του καλωδίου αλλά και τον τρόπο προσεδάφισης του .

Πολλά ακόμα έργα έχουν ορίσει ημερομηνία και θα λάβουν χώρα στον ελληνικό βυθό με ένα "μεγαλειώδες" project το οποίο πρόκειται να ενώσει την Αίγυπτο με την Ελλάδα δια μέσω συστήματος HVDC με βασικό στόχο το οικονομικό ενδιαφέρον και την πράσινη ενέργεια διότι το έργο αυτό συνδυάζεται με την ανάπτυξη αιολικών συστάδων στο Ras Ghareb της Αιγύπτου χωρητικότητας άνω των 2 GW μετατρέποντας την Ευρώπη σε ενεργειακό κόμβο αποδίδοντας μεγάλα οικονομικά οφέλη. Το έργο αυτό περιλαμβάνει 1.373 χιλιόμετρα καλωδίου ,ειδικότερα 30 χιλιόμετρα υπογείου ,500 χιλιόμετρα εναερίου και 843 χιλιόμετρα υποβρυχίου καλωδίου συνεχούς ρεύματος με πορεία Ras Ghareb-Nile West-Wadi El Natroon-Acharnes(Αχαρνές) .⁽¹⁶⁾Στο σκέλος Wadi El Natroon-Acharnes προβλέπονται δυο σταθμοί μετατροπής. Στο σκέλος Ras Ghareb-Nile West θα υπάρχει γραμμή διασύνδεσης 500KV, που θα συνδέει τα αιολικά πάρκα στο Ras Ghareb με το Nile West point. Στο σκέλος Nile West Point-Wadi El Natroon EHV Center θα υπάρχουν δύο εναέρια γραμμές διπλού κυκλώματος 500KV



ΕΙΚΟΝΑ 17. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΕΛΛΑΔΑΣ-ΑΙΓΥΠΤΟΥ(17)

HVDC ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Τα υβριδικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ευέλικτα συστήματα που περιλαμβάνουν όλες τις μορφές ηλεκτρικής ενέργειας είτε από κλασική παραγωγή με ορυκτά καύσιμα είτε από παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως φωτοβολταικά πάρκα , πάρκα ανεμογεννητριών και κάθε άλλης μορφής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που συνεχώς η παραγωγή τους αυξάνεται. Το HVDC σύστημα παρέχει μεγάλες δυνατότητες σε ένα παγκόσμιο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνδυάζοντας την ανταλλαγή ισχύος ασύμβατων δικτύων κάθε χώρας, με την εισαγωγή των Α.Π.Ε στο δίκτυο αλλά και άλλων μελλοντικών τεχνολογιών. Μέσω συνεχούς ρεύματος διασύνδεσης λύνονται πολλά προβλήματα συντονισμού μεταξύ συστημάτων που λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα και αυτό συμβαίνει λόγω ύπαρξης της DC διασύνδεσης μεταξύ κάθε σταθμού που εν συνεχεία θα μετασχηματιστεί σε εναλλασσόμενο και θα οριστεί η συχνότητα που επικρατεί στο εκάστοτε δίκτυο μέσω των ηλεκτρονικών διατάξεων του μετατροπέα. Τα λεγόμενα offshore πάρκα που βρίσκονται χιλιόμετρα μακριά απτή ακτή πλέον μπορούν να διαθέσουν αποδοτικά την ενέργεια που παράγουν στο δίκτυο μέσω της HVDC διασύνδεσης και να συνδράμουν και αυτά στην παγκόσμια αλυσίδα της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης εγκαταστάσεις φωτοβολταικών πάρκων τεραστίων διαστάσεων που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις τους δίνεται η δυνατότητα και αυτών να διαθέσουν αποδοτικά την ενέργεια τους. Η δημιουργία του HVDC συστήματος μπορεί να καλεστεί εύκολα ένας "υπερ- διάδρομος" για ενοποίηση μεγάλης κλίμακας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την προσφορά διασυνδεδεμένων δικτύων ,τα οποία είναι αρκετά αξιόπιστα και ευέλικτα για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της νέας οικονομίας .



ΕΙΚΟΝΑ 18.OFFSHORE ANEMOΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (18)



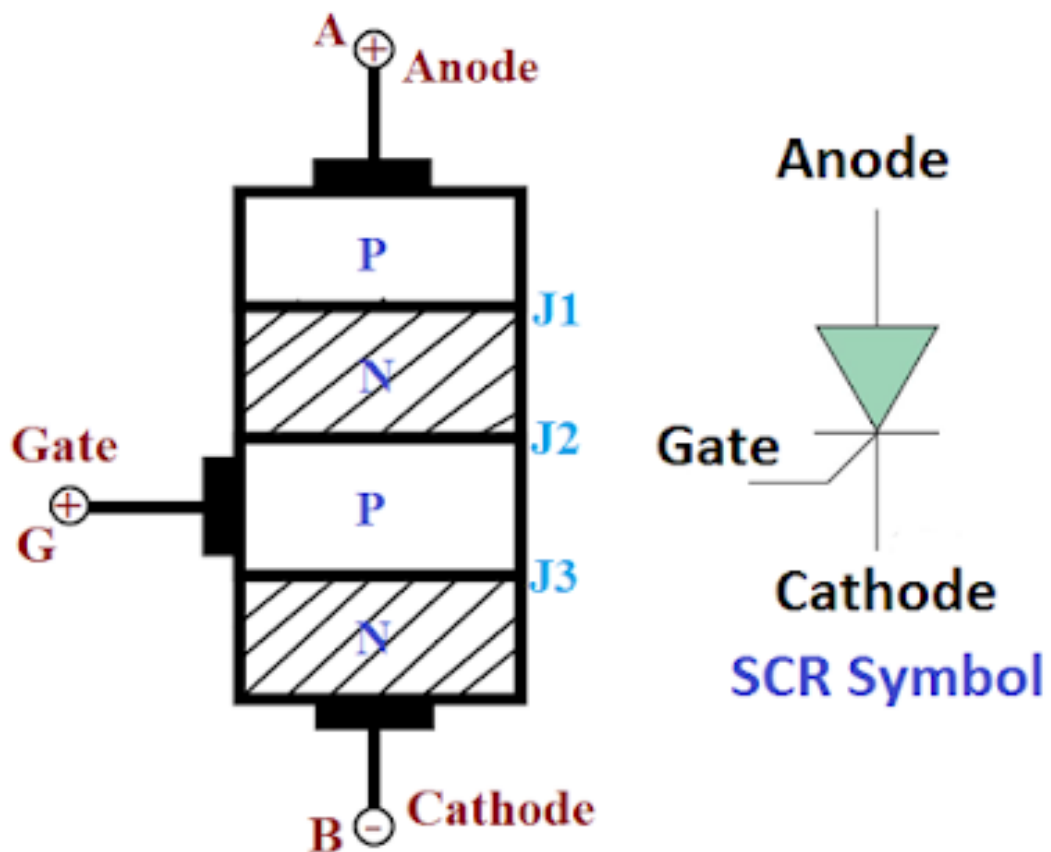
ΕΙΚΟΝΑ 19. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΦΑΡΜΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΣΙΑ(19)

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

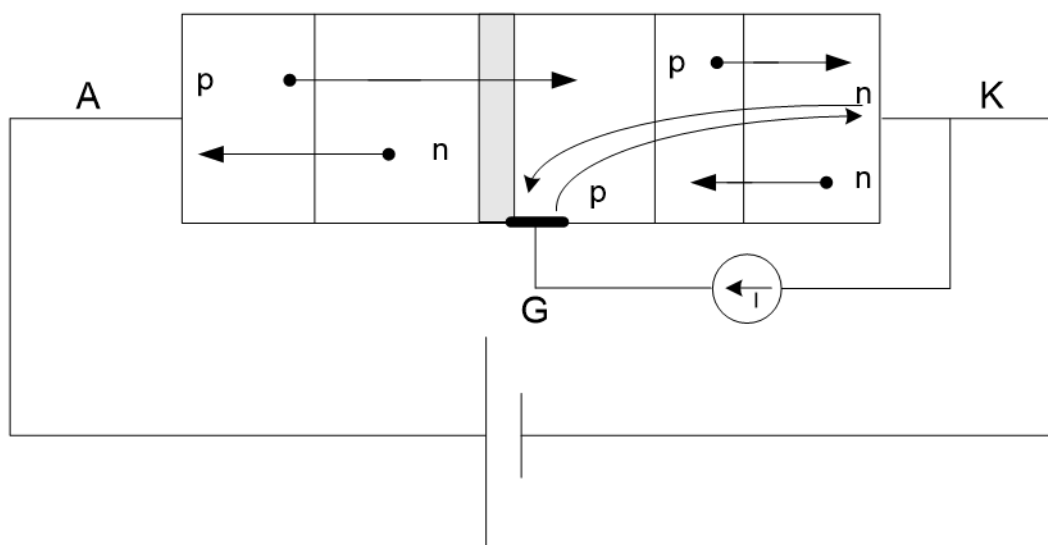
ΤΟ THYRISTOR

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έδωσε λύσεις όσον αφορά την ελεγχόμενη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή μέσω ενός ηλεκτρονικού στοιχείου με το όνομα THYRISTOR(θυρίστορ). Ένα σχηματικό διάγραμμα του στοιχείου φαίνεται στην εικόνα 23.



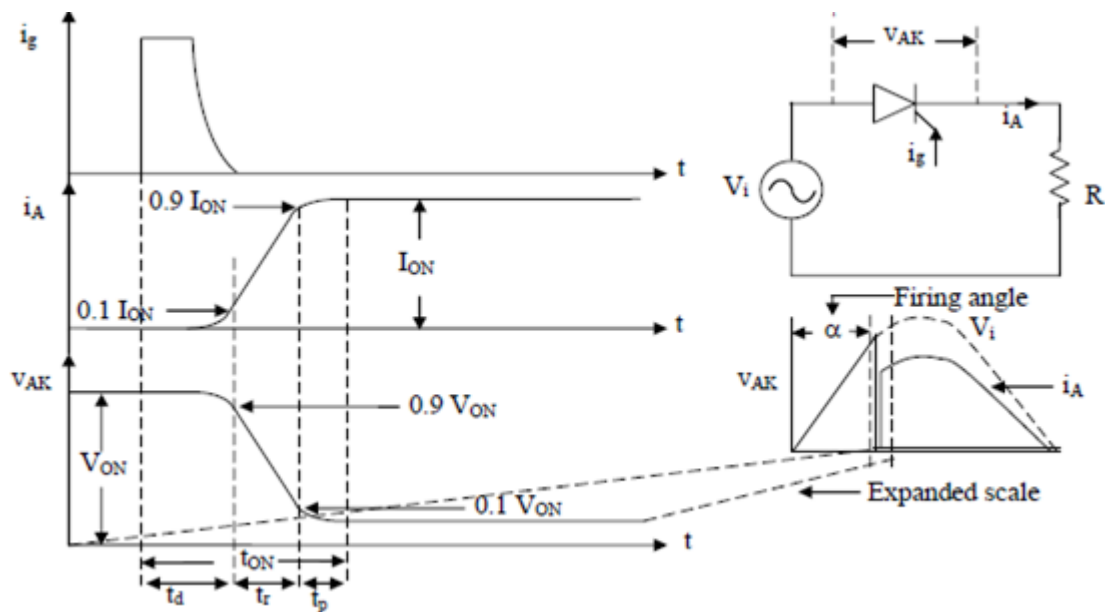
ΕΙΚΟΝΑ 23.ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΘΥΡΙΣΤΟΡ

Το στοιχείο αυτό λειτουργεί σαν δίοδος που ελέγχεται η αγωγή της αλλά όχι η σβέση της πάντα προς μία κατεύθυνση, για αυτό και έχει ανορθωτικό χαρακτήρα, διαθέτοντας τρεις ακροδέκτες με κατακόρυφη σειρά (εικόνας 23) την άνοδο την πύλη και την κάθοδο. Δομικά αποτελείται από 4 περιοχές που η κάθε μία έχει υποστεί την διαδικασία του Doping .Η περιοχή που βρίσκεται σε πλεόνασμα ηλεκτρονίων αναγράφεται στην (εικόνα 23) σαν περιοχή 'N' ενώ η περιοχή με ονομασία 'P' υποδηλώνει το έλλειμα ηλεκτρονίων .Το thyristor σε κατάσταση ηρεμίας είναι σαν ανοικτός διακόπτης και δεν επιτρέπει την ροή ρεύματος από την άνοδο στην κάθοδο .Η διαδικασία που απαιτείται για την έναυση του ημιαγωγικού στοιχείου είναι η ορθή πόλωση αυτού και ένας παλμός ρεύματος μεταξύ πύλης – καθόδου, σχετικά πολύ μικρότερης τιμής σε σχέση με το ρεύμα των κυρίων επαφών ισχύος (εικόνα 24).



ΕΙΚΟΝΑ 24.ΠΑΛΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΥΛΗ-ΚΑΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ (24)

Παρατηρείται ότι έχοντας θετική τάση στο στοιχείο με πολικότητες ,θετική στην άνοδο και αρνητική στην κάθοδο ,εφαρμόζοντας παλμό ρεύματος μεταξύ πύλης – καθόδου οι περιοχές (εικόνα 23), J1,J2,J3 διασπώνται και εκκινεί η αγωγή του ρεύματος μέσω των επαφών ισχύος .Η καμπύλη της (εικόνας 25) αποτυπώνει χρονικά την συμπεριφορά του thyristor από την στιγμή εισόδου του παλμού έως την έναυση του στοιχείου που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον διότι από την διαδικασία της έναυσης διαπιστώνονται οι διακοπτικές απώλειες και οι απώλειες αγωγής.



ΕΙΚΟΝΑ 25. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΘΥΡΙΣΤΟΡ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΑΥΣΗΣ

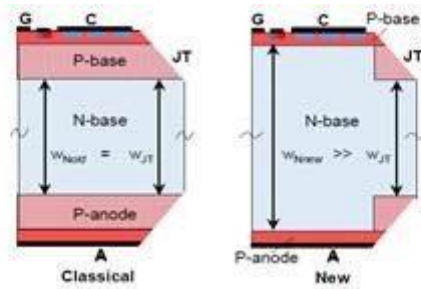
Η διάταξη της εικόνας 25 περιλαμβάνει μια πηγή εναλλασσόμενης τάσης (V_i), το θυρίστορ και ένα ωμικό φορτίο. Κάτω απτή διάταξη αποτυπώνεται η ημιπερίοδος της εναλλασσόμενης τάσης της πηγής αλλά και του ρεύματος που εκείνη προσφέρει στο φορτίο. Παρατηρούμε ότι στο πρώτο διάγραμμα μετά από μια χρονική στιγμή μεταξύ της αρχής των αξόνων του διαγράμματος έως την στιγμή εισόδου του ρεύματος πύλης που ονομάζεται γωνία έναυσης (α), εφαρμόζεται παλμός ρεύματος στην πύλη και το θυρίστορ δεν εκκινεί απευθείας. Από σημείο εισχώρησης του παλμού έως να βρεθεί το θυρίστορ σε αγωγή παρατηρείται ότι υπάρχει τάση πάνω στο στοιχείο και απορροφά ρεύμα δηλαδή το γινόμενο των δύο αποτυπώνει μία ισχύ, η οποία δεν χρησιμοποιείται ωφέλιμα παρά μόνο θερμαίνει το θυρίστορ. Αυτή η ισχύς χαρακτηρίζεται ως ισχύς απωλειών διακοπτικού χαρακτήρα. Ισχύς καταναλώνεται θερμικά στο θυρίστορ και σε κατάσταση αγωγής και ονομάζεται ισχύς απωλειών αγωγής. Αυτές οι απώλειες οφείλονται στον μη ιδανικό σχεδιασμό του ημιαγωγικού στοιχείου που παρουσιάζει αντίσταση στην ροή του ρεύματος άρα και θερμότητα. Σημαντικό μειονέκτημα είναι ο έλεγχος σβέσης του θυρίστορ. Το στοιχείο αυτό μπορεί να βρεθεί σε αγωγή από έναν στιγμιαίο μη διαρκή αλλά επαρκή παλμό ρεύματος παρόλα αυτά η απώλεια παλμού ρεύματος στην πύλη δεν έχει την δυνατότητα να καταστήσει το θυρίστορ σβηστό. Για την ελεγχόμενη σβέση του, πρέπει να πληρούνται προϋποθέσεις που ποικίλουν ανάλογα την τάση την οποία ελέγχει όπως το ρεύμα που ρέει απτις επαφές ισχύος να ελαττωθεί κάτω από ρεύμα συγκράτησης του στοιχείου, που αυτό σε ένα σύστημα HVDC είναι αδύνατον εν ώρα λειτουργίας ή να εφαρμοστεί αναστροφή τάσης στους ακροδέκτες ανόδου – καθόδου. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι σε κύκλωμα με εναλλασσόμενη τάση το θυρίστορ θα σβήσει όταν η τάση διέλθει από μηδέν σχεδόν απευθείας ή μη, ανάλογα την φύση(ωμική-ωμικο-επαγωγική) του φορτίου που τροφοδοτεί ο μετατροπέας με θυρίστορ.

Το θυρίστορ κατέχει την κυρίαρχη θέση σαν συσκευή στερεάς κατάστασης (solid state device) στα HVDC συστήματα διότι παρόλο την δυσκολία ελέγχου του σε σχέση με άλλα ημιαγωγικά στοιχεία λόγω είδους και απλότητας κατασκευής μπορεί να διαχειριστεί σημαντικά μεγάλη ισχύ . Ένα θυρίστορ μεγάλης ισχύος απεικονίζεται στην (εικόνα 21),



ΕΙΚΟΝΑ 21. ΘΥΡΙΣΤΟΡ ΜΕΓΑΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ HVDC ΣΥΣΤΗΜΑ(21)

Το εξωτερικό του HVDC θυρίστορ δεν παρουσιάζει μεγάλη αλλαγή σε εξαρτήματα σε σχέση με το θυρίστορ πριν 25 χρόνια εκτός του μεγέθους που σημαντικά έχει αυξηθεί . Μεγαλύτερα και βαρύτερα χάλκινα ηλεκτρόδια έρχονται αντιμέτωπα με μεγάλα ηλεκτρικά ρεύματα που σε καμία περίπτωση θυρίστορ παλιότερης τεχνολογίας θα μπορούσε να αντέξει. Το κεραμικό υλικό προσφέρει ηλεκτρική μόνωση και δυσκολεύει πραγματικά την διάβρωση του στοιχείου. Εκ πρώτης όψης όμως δεν φαίνεται κάποια σημαντική διαφορά διότι αυτή δεν βρίσκεται εξωτερικά αλλά στην "καρδιά" του στοιχείου αυτού. Στην εικόνα 22 φαίνεται η διαφορά μεταξύ κλασσικού και νέου θυρίστορ.

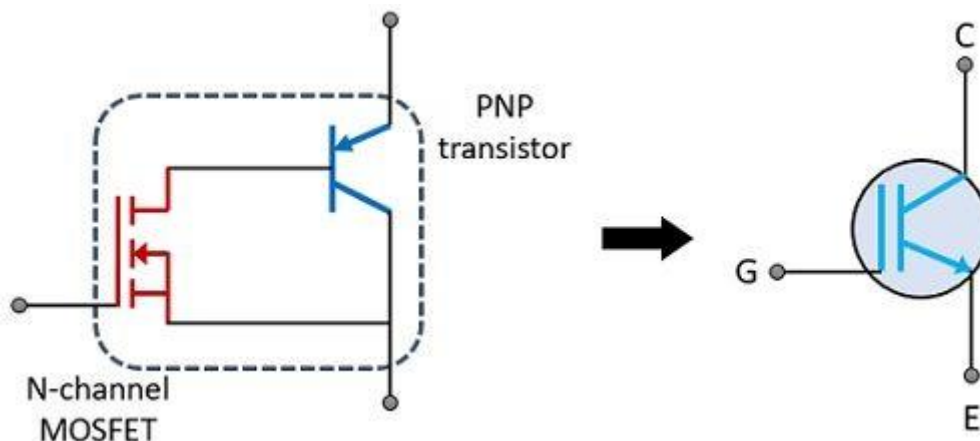


ΕΙΚΟΝΑ 22. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΜΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΥΡΙΣΤΟΡ

Παρατηρείται ότι η νέα κατασκευή του thyristor παρουσιάζει την κάθοδο σε διαφορετικό σχήμα τύπου "χιονοφάδας". Το παρόν βρίσκει εφαρμογή σε σταθμούς μετατροπής ενέργειας κατά κόρων σήμερα.

ΤΟ IGBT

Το IGBT ανήκει στην οικογένεια των τρανζίστορ και η πλήρη ονομασία του είναι, Διπολικό τρανζίστορ μονωμένης πύλης (insulated gate bipolar transistor). Αυτό το ηλεκτρονικό στοιχείο αποτελείται από τρεις ακροδέκτες τον συλλέκτη, τον εκπομπό και την πύλη όπως φαίνεται στην εικόνα 26 .



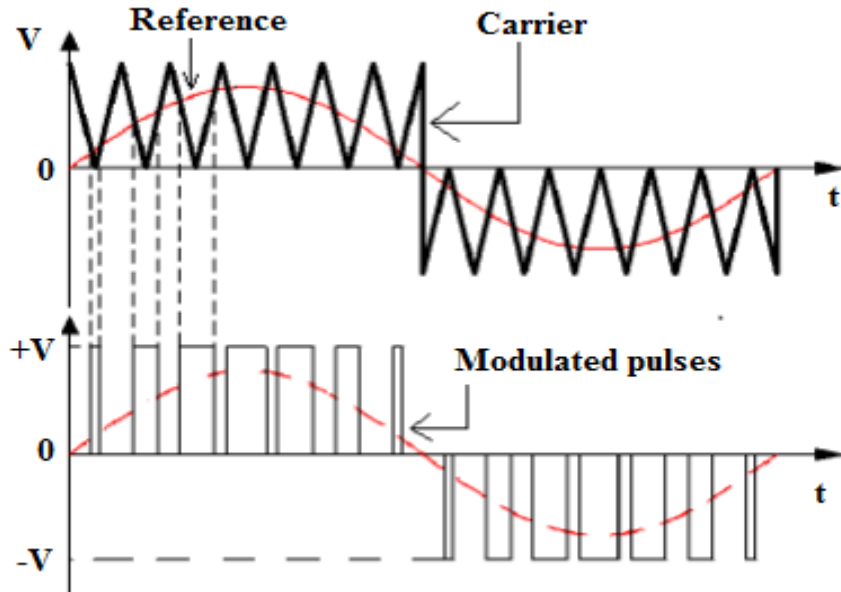
ΕΙΚΟΝΑ 26. ΤΟ IGBT(26)

Το IGBT χρησιμοποιείται σαν διακόπτης ισχύος υψηλής ταχύτητας και απόδοσης .Περιλαμβάνει τέσσερις περιοχές P-N-P-N που διεγείρονται με παλμό τάσης μεταξύ πύλης - εκπομπού .Όπως διαπιστώνεται και στην εικόνα 26 το IGBT είναι ο συνδυασμός μεταξύ ενός MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor) και ενός BJT(Bipolar-Junction-Transistor) ο παρακάτω πίνακας(πιν.27) παραθέτει βασικά χαρακτηριστικά των τριών αυτών στοιχείων.

Device characteristic	Power bipolar	Power MOSFET	IGBT
Voltage rating	High <1 kV	High <1 kV	Very high >1 kV
Current rating	High <500 A	Low <200 A	High >500 A
Input drive	Current ratio $h_{FE} \sim 20-200$	Voltage $V_{GS} \sim 3-10 \text{ V}$	Voltage $V_{GE} \sim 4-8 \text{ V}$
Input impedance	Low	High	High
Output impedance	Low	Medium	Low
Switching speed	Slow (μs)	Fast (ns)	Medium
Cost	Low	Medium	High

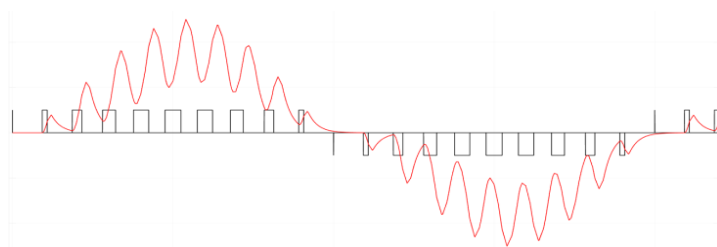
ΠΙΝ 27.ΧΑΡΑΚΗΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ(27)

Δυο σειρές είναι οι κύριες, που ώθησαν την τεχνολογία να "ενώσει" αυτά τα δύο ηλεκτρονικά στοιχεία και είναι η μικρή αντίσταση αγωγής εξόδου άρα και η μεγάλη διέλευση ρεύματος του BJT όπως επίσης και η πολύ μεγάλη διακοπτική ικανότητα του MOSFET. Το IGBT δεν παύει να καταμετρά τα πλεονεκτήματα του διότι ο έλεγχος σβέσης είναι πλέον υπαρκτός με τον απλό τρόπο της απώλειας παλμού στην πύλη. Μπορεί με παλμό τάσης να ξεκινήσει η έναυση του και με απόσυρση του παλμού να επέλθει η σβέση .Ο έλεγχος γίνεται με ποικίλες τεχνικές παλμοδότησης με ευρέως χρησιμοποιούμενες την PWM,SPWM και HCC. Η κατά κόρων διάσημη SPWM (Sinusoidal Pulse-Width Modulation) δηλαδή ημιτονοειδή διαμόρφωση εύρους παλμών ,χρησιμοποιείται για τον έλεγχο τάσης και συχνότητας του IGBT και έχει την εξής μορφή(εικόνα 28).

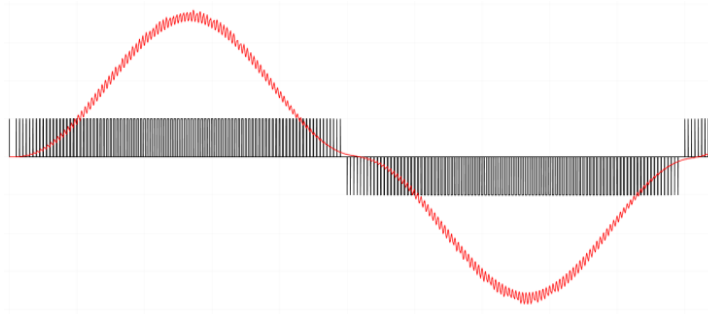


ΕΙΚΟΝΑ 28. Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΤΗΣ SPWM

Αναλύοντας την παραπάνω τεχνική παλμοδότησης παρατηρείται ότι υπάρχει ένα carrier σήμα αλλιώς ένα θεμελιώδες σήμα τριγωνικού τύπου και ένα ημιτονοειδές μεταβλητού πλάτους και συχνότητας. Οι παλμοί λαμβάνονται απτή σύγκριση των δύο αυτών σημάτων ως προς το ποιο παρουσιάζεται μεγαλύτερο από άλλο. Παρατηρείται ότι τη στιγμή που το ημιτονοειδές σήμα ξεπερνάει το πλάτος του τριγωνικού λαμβάνεται παλμός διάρκειας όσης παραμένει το ημιτονοειδές σήμα μεγαλύτερο. Οι παλμοί που δημιουργούνται είναι η κάτω κυματομορφή της εικόνας 28 και εύκολα μπορούν να μεταβληθούν σε συχνότητα με την μεταβολή της συχνότητας του ημιτονοειδούς σήματος. Το παράδοξο βρίσκεται στο γεγονός ότι η εφαρμοζόμενη τάση σε κάποιο φορτίο μορφής διαμορφωμένων παλμών αναγκάζει το φορτίο να απορροφήσει ρεύμα μορφής παραπλήσιας της ημιτονοειδούς καθώς με την αύξηση της συχνότητας και την προσθήκη κατάλληλων φίλτρων όλο και η κυματομορφή πλησιάζει στην βασική ημιτονοειδή (εικόνα 29).

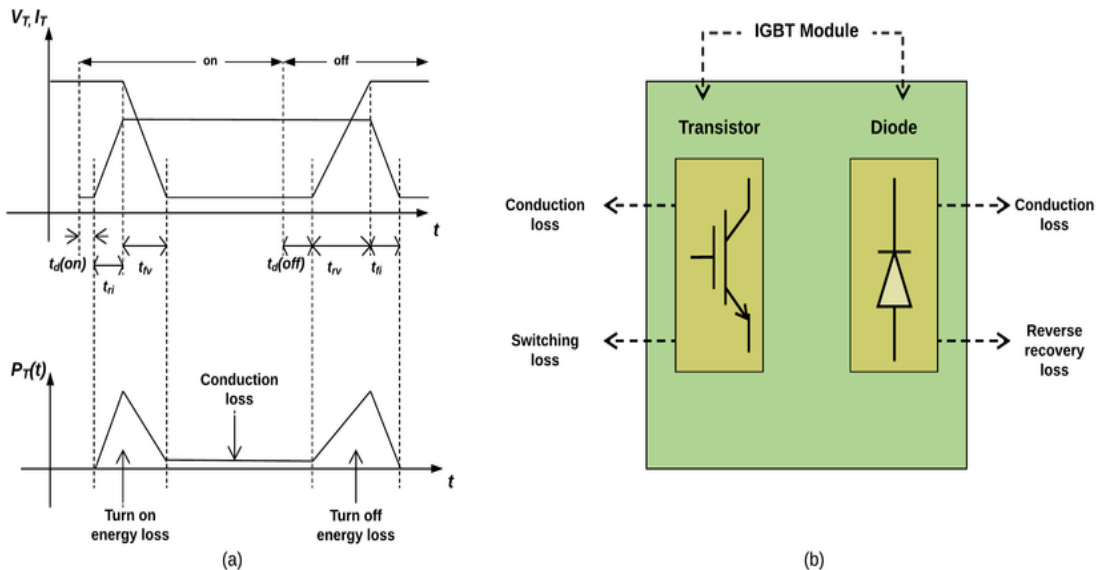


ΕΙΚΟΝΑ 29.Α. ΠΑΛΜΟΔΟΤΗΣΗ SPWM(ΜΠΛΕ) ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ (ΡΟΖ) ΓΙΑ 1ΚΗΖ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ(29)



ΕΙΚΟΝΑ 29.Β. ΠΑΛΜΟΔΟΤΗΣΗ SPWM ΓΙΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 10ΚΗΖ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ(29)

Το IGBT μπορεί να λειτουργήσει σε συχνότητες που αγγίζουν τα εκατοντάδες ΚΗΖ μεταβάλλοντας την συχνότητα του τριγωνικού σήματος, αυξάνοντας βέβαια τις διακοπτικές του απώλειες (εικόνα 28).



ΕΙΚΟΝΑ 30.ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΒΕΣΗΣ ΤΟΥ IGBT(30)

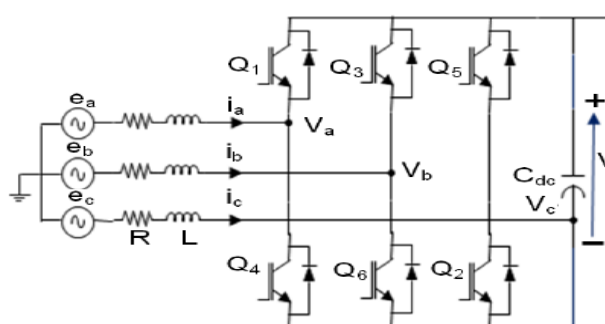
Παρατηρείται στην παραπάνω εικόνα η ισχύς που μετασχηματίζεται σε θερμότητα κατά την διάρκεια της έναυσης και της σβέσης του IGBT. Στην περίπτωση που το στοιχείο παλμοδοτηθεί σε υψηλότερη συχνότητα δηλαδή αναβοσβήσει περισσότερες φορές μέσα σε μία περίοδο της κυματομορφής ,οι διακοπτικές αυτές απώλειες θα εμφανίζονταν συχνότερα άρα στον ίδιο χρόνο θα καταναλώνεται μεγαλύτερη ισχύς .

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Οι μετατροπείς αποτελούν το σημαντικότερο μέρος ολόκληρης της διαδικασίας σε ένα HVDC σύστημα διότι συμβάλουν στην μετατροπή της τάσης από εναλλασσόμενη σε συνεχή και αντιστρόφως. Η ύπαρξη πολλών ειδών μετατροπέων είναι γεγονός, παρόλα αυτά οι αποδοτικότεροι και οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι σε πραγματικά HVDC συστήματα παραθέτονται ακολούθως.

VSC'S-VOLTAGE SOURCE CONVERTERS (ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΠΗΓΗΣ ΤΑΣΗΣ)

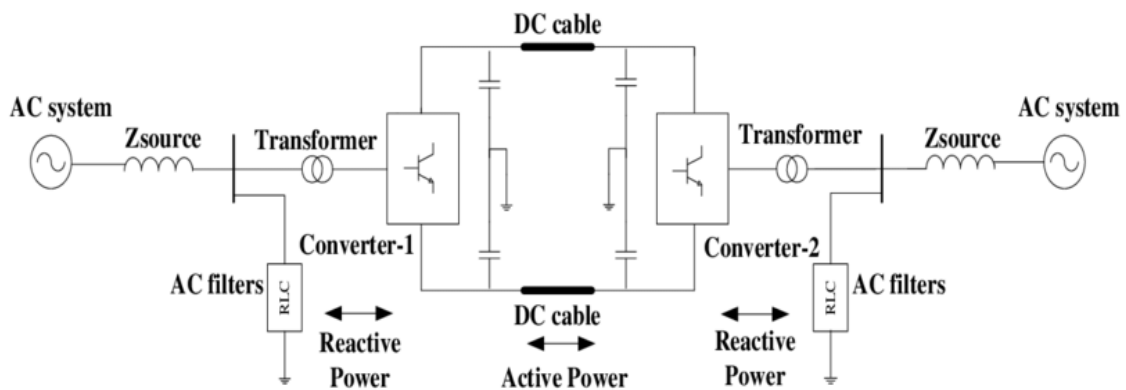
⁽³¹⁾ Η μετατροπή με VSC's βρίσκεται σε θέση να παράγει τάσεις χωρίς η μεταγωγή να βασίζεται στο εναλλασσόμενο σύστημα δηλαδή η έναυση και η σβέση δεν εξαρτιούνται από το δίκτυο παρά μόνο από την εντολή που θα δοθεί στο στοιχείο αυτό μέσω της παλμοδότησης του, για αυτό τον λόγο αναφέρονται σαν μετατροπείς εξαναγκασμένης οδήγησης. Αυτό επιτρέπει τον ανεξάρτητο και γρήγορο έλεγχο τόσο της ενεργού όσο και της αέργου ισχύος. Εύκολα στους μετατροπείς αυτούς η αλλαγή της ροής ισχύος επιτυγχάνεται αντιστρέφοντας την κατεύθυνση του ρεύματος. Έτσι οι VSC's ενσωματώνονται ευκολότερα και σε πολυτεματικές διασυνδέσεις. Τα HVDC συστήματα που βασίζονται σε τοπολογία των VSC's έχουν ταχύτερο έλεγχο ροής της ενεργού ισχύος σε σχέση με τα CSC-HVDC που θα μελετηθούν αργότερα. Μια τοπολογία VSC μετατροπέα που βρίσκει εφαρμογή στα συστήματα HVDC αναδεικνύεται στην εικόνα 31.



ΕΙΚΟΝΑ 31. VSC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ (31).

Αρχικά η τοπολογία εκτελείται για την διασύνδεση δυο AC συστημάτων είτε κοινής είτε διαφορετικής συχνότητας χρησιμοποιώντας σαν βασικό διακοπτικό στοιχείο το IGBT. Εξηγώντας την παραπάνω διάταξη παρατηρείται με σειρά από αριστερά προς τα δεξιά ότι οι τρεις φάσεις του εναλλασσόμενου δικτύου της μιας πλευράς

εισάγονται στον μετατροπέα που αυτός μέσω των ηλεκτρονικών διακοπών ισχύος μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή. Στο τέλος της διάταξης συνδέονται πυκνωτές παράλληλα για την σταθεροποίηση και την απαλοιφή των κυματώσεων του DC άρα και την απαλοιφή των AC συνιστωσών που πρόκειται να δημιουργηθούν στο DC Link. Ο μετατροπέας αυτός έχει τον ρόλο του ανορθωτή. Η ίδια διάταξη αλλά με αντίθετη φορά βρίσκεται στην απέναντι πλευρά της διασύνδεσης όπου η συνεχή τάση μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη και διανέμεται στο παρακάτω δίκτυο. Παρακάτω παρατηρείται σχηματικό διάγραμμα προσομοίωσης της διασύνδεσης αυτής (εικόνα 32).

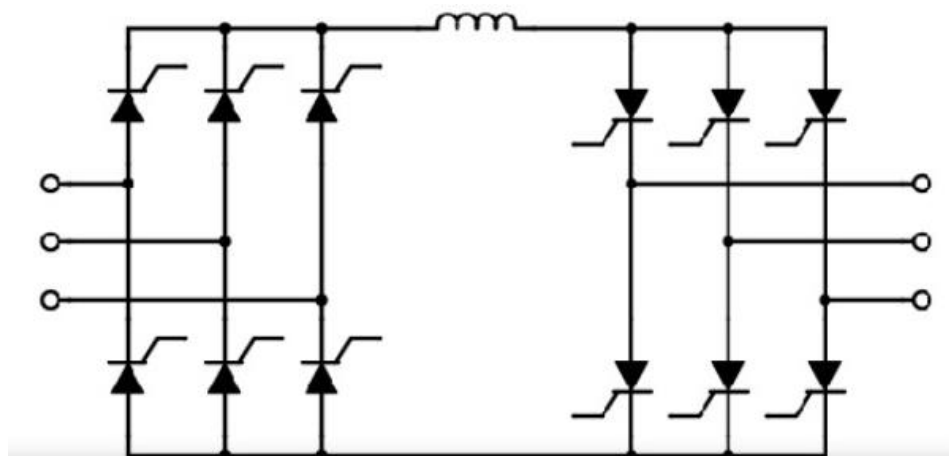


ΕΙΚΟΝΑ 32.ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ HVDC ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ VSC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ

Στην εικόνα 32 παρατηρείται η διασύνδεση δύο AC συστημάτων έχοντας αρχικά έναν μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης με την απαραίτητη χρήση AC φίλτρων και στις δύο πλευρές του εναλλασσόμενου δικτύου. Ύστερα τελείται η μετατροπή του εναλλασσόμενου σε συνεχές που επίσης φιλτράρεται για τον λόγο που προαναφέρθηκε. Επόμενο βήμα είναι η εισχώρηση της DC τάσης στα καλώδια αναχώρησης έως ότου φτάσουν στον σταθμό άφιξης έτσι ώστε να μετατραπεί η τάση πάλι σε εναλλασσόμενη, να φιλτραριστεί και να υποβιβαστεί για να μεταφερθεί πλέον στις γραμμές AC.

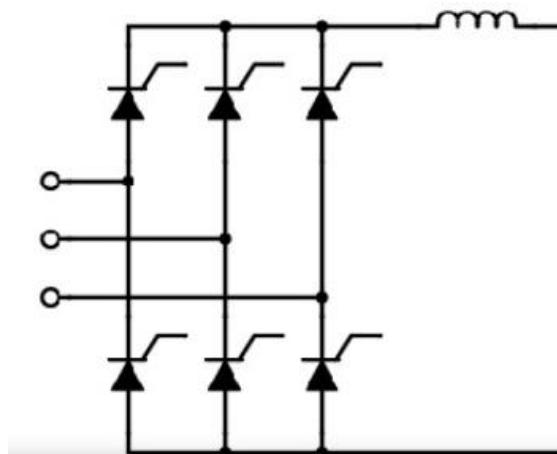
CSC's-CURRENT SOURCE CONVERTERS (ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΠΗΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ)

Η εικόνα ενός τύπου μετατροπέα πηγής συνεχούς αναδεικνύεται στην εικόνα 33.

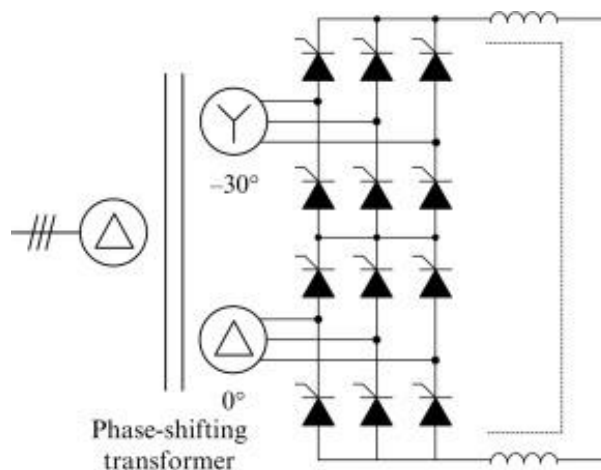


ΕΙΚΟΝΑ 33.CSC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ

Αυτό το είδος μετατροπέα ανήκει στην κατηγορία των LCC-Line Commutated converter η Natural commutated converter .Οι μετατροπείς αυτοί εκκινούν με την παλμοδότηση των πυλών των θυρίστορ ,κατάλληλου παλμού ρεύματος και σβήνουν όπως προβάλλει το όνομα τους ,με την φυσική διέλευση της τάσης του δικτύου από μηδέν , που σε σχέση με τους VSC's υστερεί λόγω της μη ελεγχόμενης πλήρως κατάστασης των ημιαγωγικών στοιχείων του. Το θυρίστορ καταλαμβάνει την θέση αυτή λόγω της μεγάλης ικανότητας που διαθέτει ,τη διαχείριση μεγάλης ισχύος και για τον λόγο αυτό σε συστήματα HVDC με κλίμακα ισχύος της τάξης των γίγα-βατ ,οι CSC μετατροπείς χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστων. Δυο τοπολογίες χρησιμοποιούνται κατά κόρων μορφής γέφυρας και είναι η 6-παλμών (6-pulse) αλλά και 12-παλμών(12-pulse) έχοντας η καθεμία τα δικά της χαρακτηριστικά . Στην εικόνα 34 και 35 απεικονίζονται οι δυο αυτές τοπολογίες.



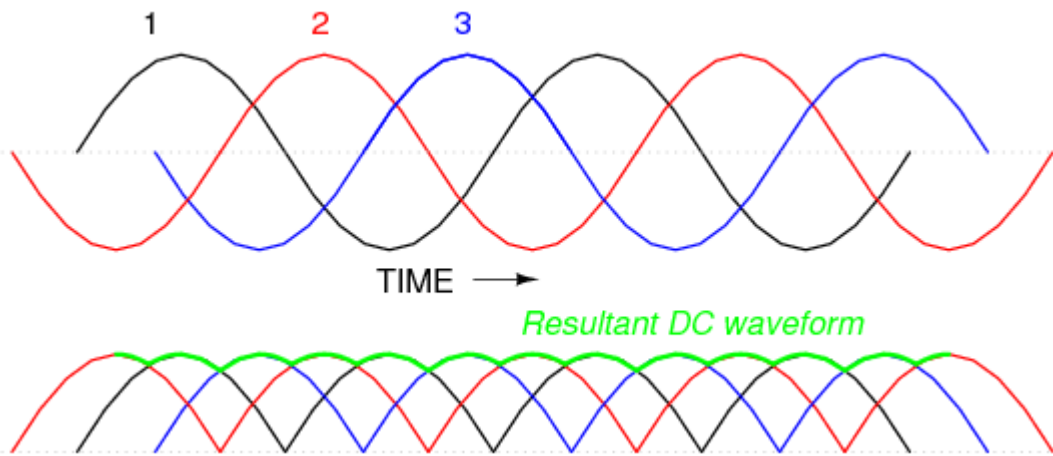
ΕΙΚΟΝΑ 34. ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ 6-ΠΑΛΜΩΝ



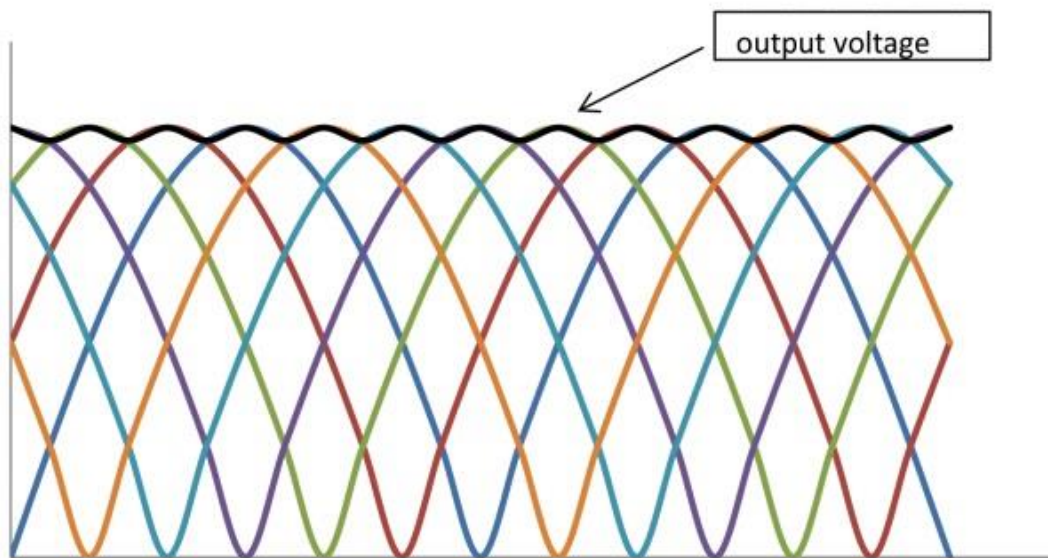
ΕΙΚΟΝΑ 35. ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ 12-ΠΑΛΜΩΝ

Παρατηρείται στην εικόνα 34 η γέφυρα 6-παλμών η οποία λειτουργεί ως ακολούθως. Οι τρεις φάσεις του εναλλασσόμενου δικτύου της μιας πλευράς μέσω μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης εισέρχεται στον μετατροπέα που με κατάλληλη σειρά παλμοδοτεί τα θυρίστορ και εξάγει μια DC τάση της μορφής της εικόνας 36 η οποία περιέχει AC συνιστώσες και αρμονικές στην AC πλευρά. Αυτά μειώνονται με ένα πηνίο εξομάλυνσης σε σειριακή συνδεσμολογία στο DC Link το οποίο πρέπει να αντέχει το ρεύμα λειτουργίας του φορτίου-δικτύου στην περίπτωση του HVDC συστήματος. Αυτό καθιστά το πηνίο υπερμέγεθες και δαπανηρό, όπως και τα φίλτρα του σταθμού μετατροπής. Για την απαλοιφή και τον περιορισμό των ανωτέρω αρμονικών μονής τάξης, από άποψη μετατροπέα, χρησιμοποιείται η 12-παλμική γέφυρα το σχηματικό της οποίας φαίνεται στην εικόνα 35. Η δομή αυτής της τοπολογίας έχει ως απώτερο σκοπό με την δημιουργία 6 φάσεων την αποδοτικότερη μετατροπή της ισχύος. Αυτό ικανοποιείται με έναν μετασχηματιστή με διαφορετική ομάδα τυλιγμάτων στο δευτερεύον του που φυσικά αυξάνει το κόστος της διάταξης. Η μια έξοδος του μετασχηματιστή διέρχεται στον μετατροπέα με τάση επαγόμενη από συνδεσμολογία τριγώνου ενώ η άλλη από αστέρα...από την συνδεσμολογία αυτών αυτόματα δημιουργείται διαφορά φάσης στις δύο κυματομορφές εξόδου του μετασχηματιστή όχι όμως στα πλάτη αυτών.

Η διαφορά φάσης επέρχεται στις 30 ηλεκτρικές μοίρες δημιουργώντας 6 φάσεις ,η μια τριάδα σε L1-0°, L2-120° και L3-240°, ενώ η άλλη τριάδα μετατοπισμένη 30° σε σχέση με την πρώτη ,δηλαδή L4-30° ,L5-150° και L6-270° εικόνα 37.

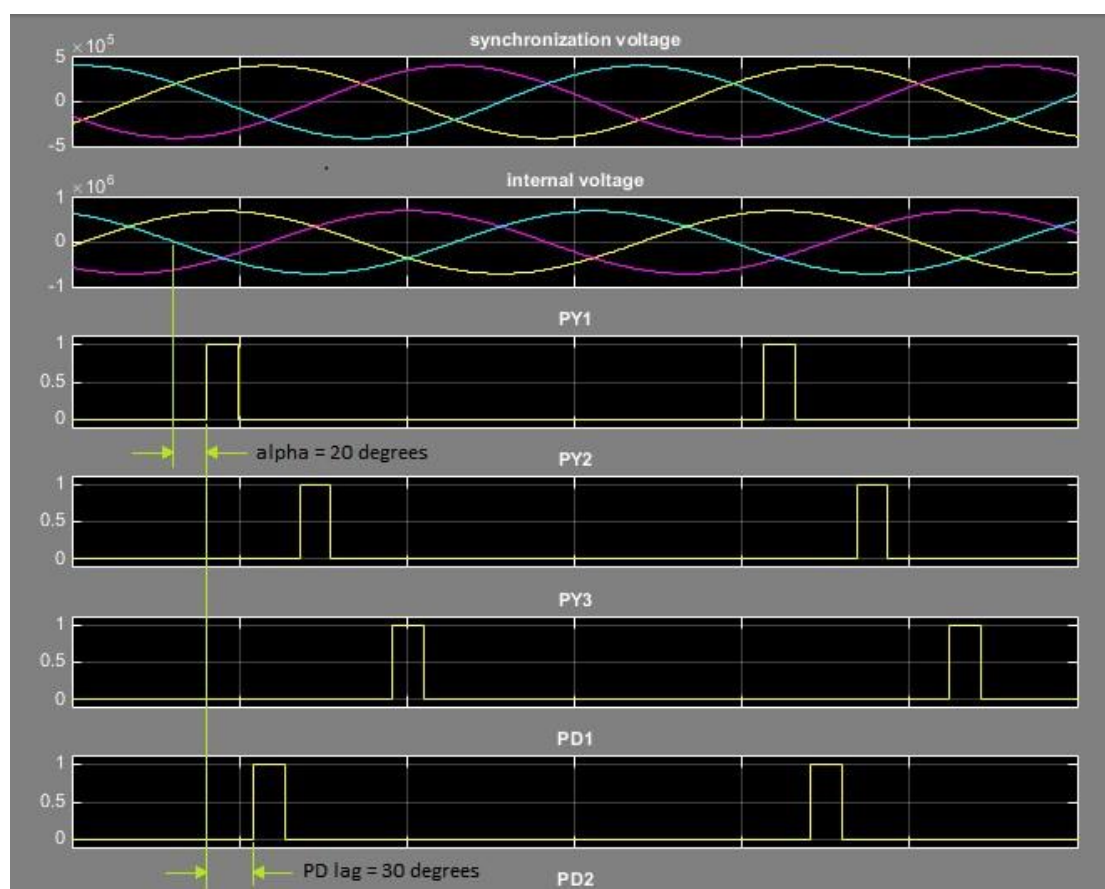


ΕΙΚΟΝΑ 36.ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ(ΠΡΑΣΙΝΗ) ΜΕ ΤΡΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ.



ΕΙΚΟΝΑ 37. 6 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ DC ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ

Η παλμοδότηση σε μια 6-παλμική γέφυρα φαίνεται στην εικόνα 38.



ΕΙΚΟΝΑ 38.ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ SIMULINK ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΠΑΛΜΩΝ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ VSC-CSC ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ

Τα χαρακτηριστικά του κάθε μετατροπέα περιγράφονται ως εξής:

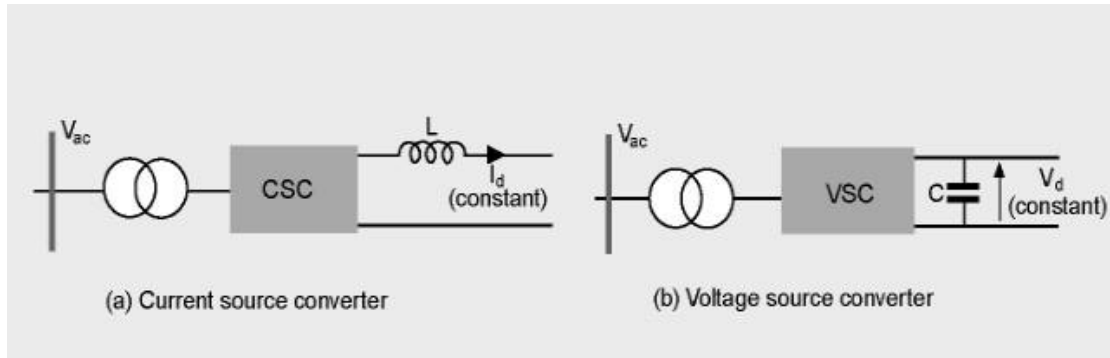
Για μετατροπέα VSC,

1. Ταχύτατη δυνατότητα ελέγχου μέσω σύγχρονων τεχνικών παλμοδότησης τύπου SPWM και άλλων.
2. Σε λειτουργία αντιστροφή παράγουν πολύ αξιόλογες κυματομορφές στην AC πλευρά που συνεπάγονται σε μειωμένο αρμονικό περιεχόμενο και μειωμένη μεταφορά αέργου ισχύος από ένα δίκτυο στο άλλο.
3. Συνεπαγόμενο του προηγούμενου, η εγκατάσταση μεγάλων φίλτρων για την απαλοιφή των ανωτέρω δεν χρειάζεται και έτσι λύνονται πολλά οικονομικά και μη, προβλήματα στην εγκατάσταση των σταθμών μετατροπής,
4. Μεγάλη δυνατότητα των ηλεκτρονικών ισχύος στην αποδοτική μετατροπή της ενέργειας λόγω των σύνθετων τεχνικών παλμοδότησης .
5. Ο τομέας των τρανζίστορ ισχύος υπόκειται τρομερή ανάπτυξη και θα αποτελέσει ενδιαφέρον για τα HVDC συστήματα στο μέλλον.

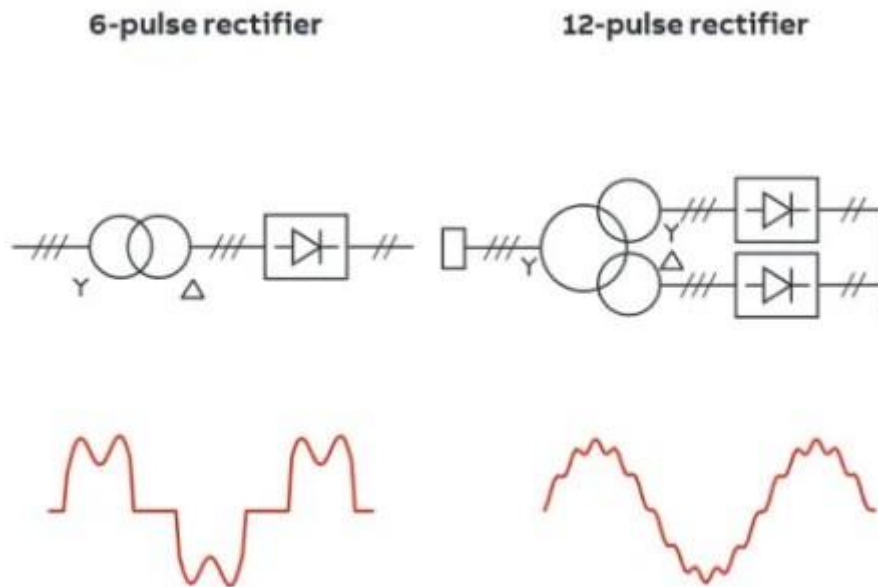
6. Μειονέκτημα των VSC λόγω της φύσης των ηλεκτρονικών διακοπών είναι οι αυξημένες διακοπτικές απώλειες που οφείλονται στην διακοπτική συχνότητα των ημιαγωγών.
7. Η δυνατότητα μεταφοράς μεγάλης ισχύος είναι περιορισμένη σε σχέση με τα συστήματα CSC που χρησιμοποιείται ως διακόπτης το thyristor.
8. Σε ένα σύστημα με μετατροπέα πηγής τάσης το ρεύμα σφάλματος περιορίζεται μόνο από την αυτεπαγωγή γραμμής και τον μετασχηματιστή. Συνεπώς κρίνεται αναγκαία η χρησιμοποίηση ενός διακόπτη ισχύος (circuit breaker).
9. Στους μετατροπείς πηγής τάσης δεν υπάρχει ο κίνδυνος σφάλματος μετάβασης.
10. Δυνατότητα ρύθμισης της άεργου ισχύος.

Για μετατροπέα CSC,

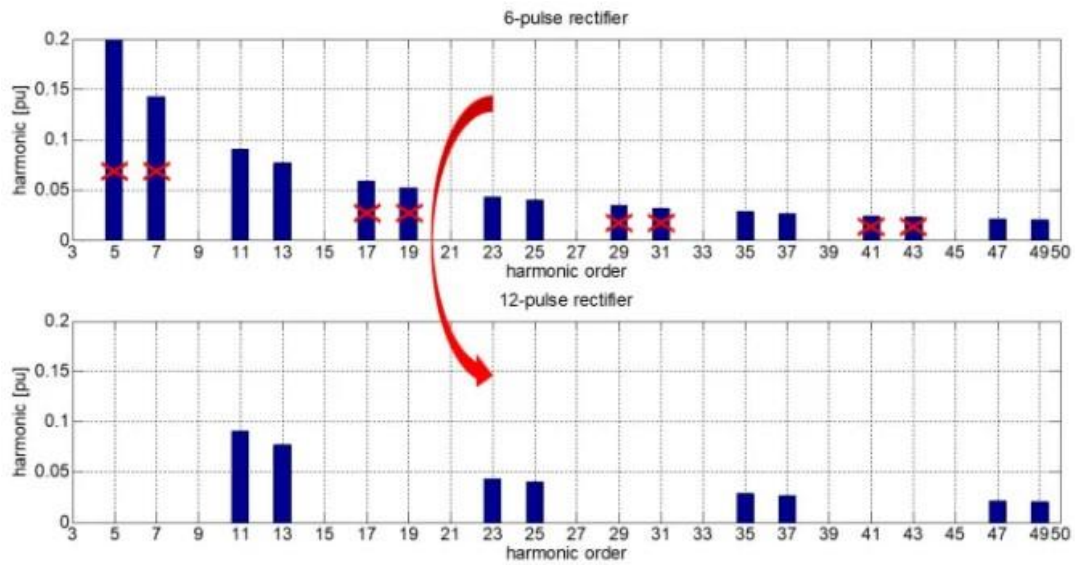
1. Δυνατότητα μεταφοράς μεγάλης ισχύος
2. Στην μετατροπή του συνεχές σε εναλλασσόμενο δηλαδή σε ρόλο αντιστροφέα ,η εναλλασσόμενη κυματομορφή έχει τραπεζοειδές σχήμα προερχόμενο από μια γέφυρα 6-παλμών ή 12-παλμών ,άρα οι αρμονικές συνιστώσες αυξάνονται.
3. Λόγω των ανωτέρω ,μεγάλα και πολύπλοκα φίλτρα εισάγονται στην εγκατάσταση ,αυξάνοντας το κόστος αυτής αλλά και την απόδοση του όλου συστήματος. Για μια 6-παλμική γέφυρα η ενδιαφερόμενη αρμονική τάξη παρουσιάζεται ως $6n \pm 1$ δηλαδή 5,7,,11,13 κ.λπ. .
4. Λόγω φυσικής μεταγωγής των ηλεκτρονικών ισχύος ,συνήθως χρησιμοποιείται μια πηγή τάσης σε μορφή σύγχρονης γεννήτριας έτσι ώστε να επέλθει μεταγωγή κατάλληλα στα Thyristor's και να μην υπάρξει σφάλμα συντονισμού.
5. Έλεγχος μέσω γωνίας έναυσης και εισαγωγή άεργου ισχύος ως αποτέλεσμα αυτής.
6. Σε ένα σύστημα με μετατροπέα πηγής ρεύματος τα ρεύματα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των σφαλμάτων στην DC πλευρά ελαττώνονται λόγω της μεγάλης αυτεπαγωγής της διάταξης.
7. Οι μετατροπείς πηγής ρεύματος συνεχώς λειτουργούν με επαγωγικό συντελεστή ισχύος. Επομένως, υπάρχει η ανάγκη για αντιστάθμιση.



ΕΙΚΟΝΑ 39. ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΠΛΕΥΡΑΣ ΑΝΟΡΘΩΤΗ ΣΤΑ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΤΟΥΣ

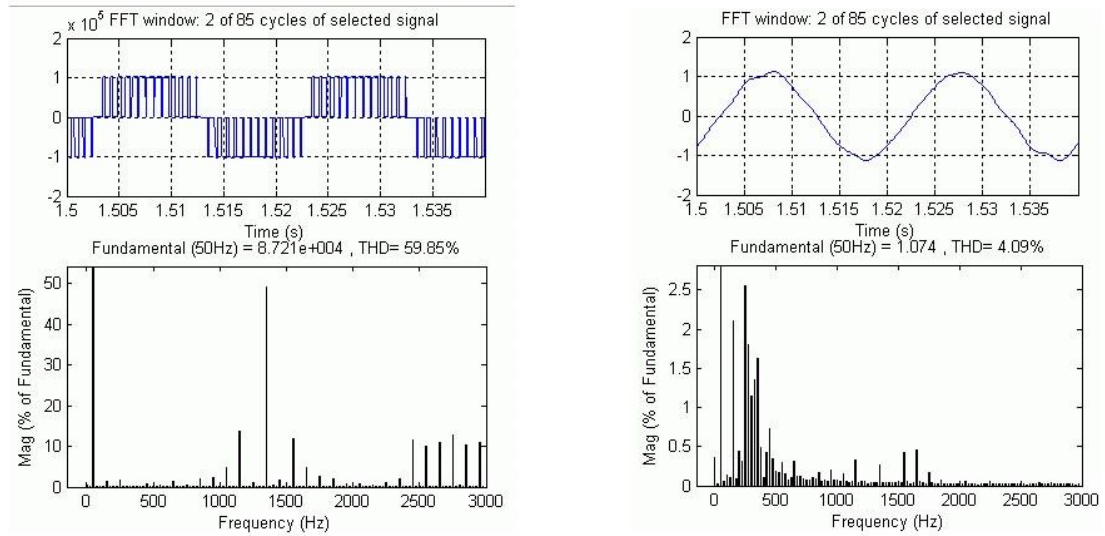


ΕΙΚΟΝΑ 40. ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ ΠΡΙΝ ΤΟ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΓΕΦΥΡΩ (ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ CSC).



ΕΙΚΟΝΑ 41. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ 6 ΚΑΙ 12 ΠΑΛΜΩΝ.

Phase A Voltage and FFT Analysis: (a) Converter Bus (b) Filter Bus



ΕΙΚΟΝΑ 42. α) ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ VSC β) ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ ΜΕΤΑ ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ.

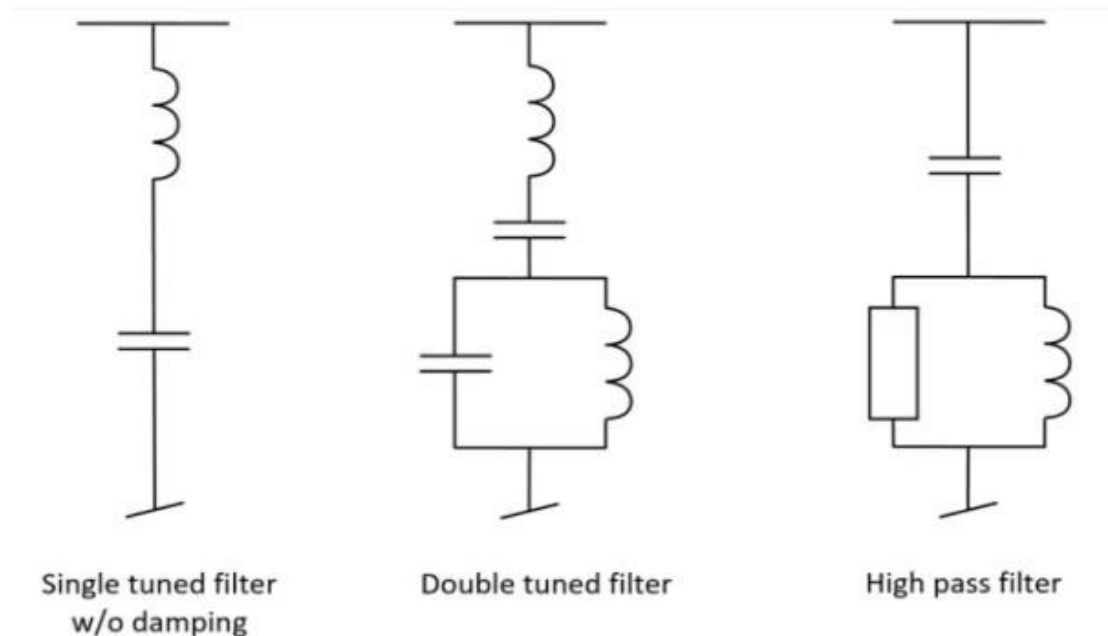
ΦΙΛΤΡΑ

Διακρίνονται στα φίλτρα του σταθμού και στα φίλτρα του μετατροπέα και παραθέτονται ακολούθως,

ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Τα παθητικά φίλτρα ονομάζονται έτσι διότι αποτελούνται από στοιχεία παθητικά που από την κατασκευαστική τους φύση, φιλτράρουν όπου έχουν συντονιστεί απτον κατασκευαστή. Τα φίλτρα αυτά εργάζονται για την απαλοιφή ανεπιθύμητων αρμονικών και βελτίωση της μεταφοράς της ισχύος. Υπάρχουν πολλές τοπολογίες παθητικών φίλτρων και κατηγοριοποιούνται ως εξής.

- Ενιαίο συντονισμένο φίλτρο (single tuned filter)
- Διπλό συντονισμένο φίλτρο (double tuned filter)
- Φίλτρο υψηλής διέλευσης η ανωδιαβατό φίλτρο (high-pass filter)
- Αποσυντονισμένο φίλτρο (de-tuned filter)
- Σύστημα φίλτρων (multi-branch type filter)

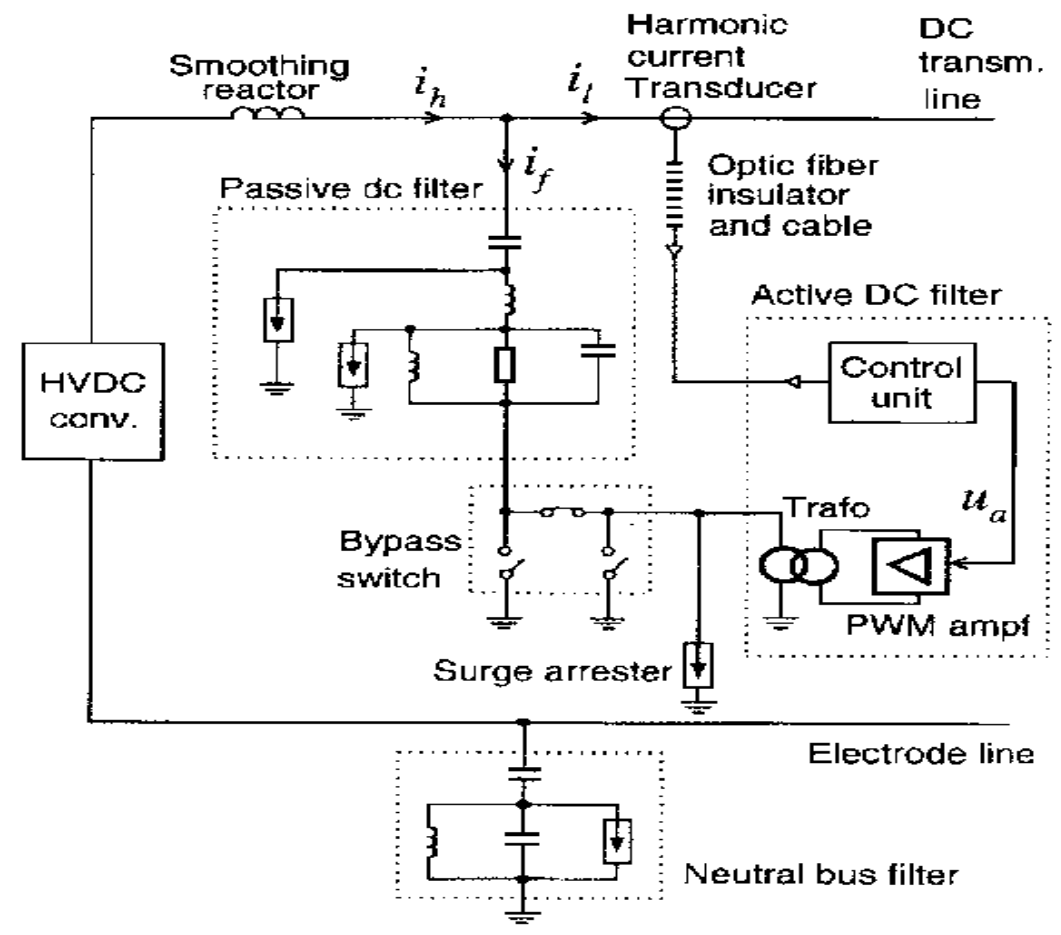


ΕΙΚΟΝΑ 43. ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ.

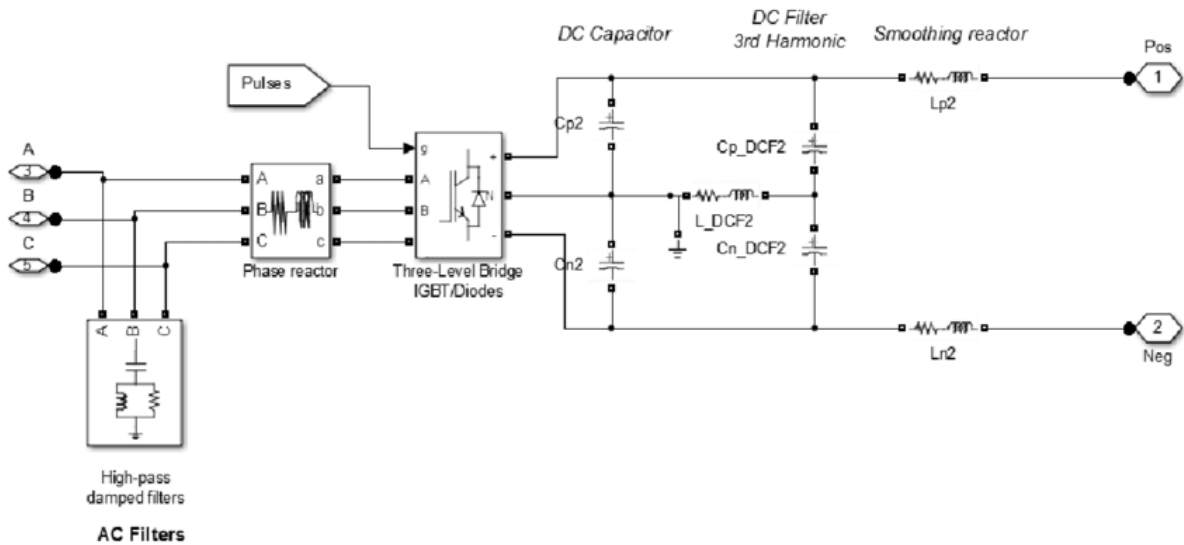
Με τον όρο συντονισμό εννοείται η ρύθμιση του χαρακτηριστικού του φίλτρου για συγκεκριμένη συχνότητα συντονισμού (resonance frequency). Ο λεπτομερής σχεδιασμός παθητικού αρμονικού φίλτρου απαιτεί πλήρη γνώση του δικτύου τροφοδοσίας (συντονισμοί, υπάρχουσες αρμονικές από άλλες πηγές).

ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Είναι συσκευές με ηλεκτρονικές διατάξεις που ενεργά ,μέσω αισθητήρων και υπολογιστικών μέσων συμβάλουν στην ρύθμιση της απόδοσης μιας μεταφοράς ενέργειας .Παρουσιάζουν έγχυση αρμονικών ίδιας συχνότητας και πλάτους στο δίκτυο αλλά ακριβώς αντίθετης φάσης με αποτέλεσμα την εξουδετέρωσή τους.



ΕΙΚΟΝΑ 44.ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ DC.



ΕΙΚΟΝΑ 45.ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΦΙΛΤΡΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ SIMULINK ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΑΝΟΡΘΩΣΗΣ ΜΕ VSC.

ΦΙΛΤΡΑ ΓΙΑ CSC ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ (TRANSFORMER)

Παρουσιάζεται ως η κύρια διάταξη στο CSC σύστημα και ειδικότερα στη 12-παλμική γέφυρα. Τα χαρακτηριστικά του παραθέτονται ακολούθως.

- Ανοψώνει το επίπεδο τάσης σε κατάλληλα επίπεδα για την αναχώρηση του απτον σταθμό μετατροπής. Επίσης με τις δυο εξόδους που κατέχει προσφέρει όπως προαναφέρθηκε ,διαφορά 30° μεταξύ διανυσμάτων των τάσεων μέσω επαγωγής τάσης στο ένα τύλιγμα από αστέρα ενώ το άλλο από τρίγωνο ,προκαλώντας την εξάλειψη της 5ης και της 7ης αρμονικής του ρεύματος στην AC πλευρά.
- Η αυτεπαγωγή του μετασχηματιστή συμβάλει στη μείωση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης και στον έλεγχο του ρυθμού αύξησης του ρεύματος κατά τη διάρκεια της μεταγωγής (commutation).
- Αποτελεί τη γαλβανική απομόνωση μεταξύ του AC και του DC συστήματος καθώς δεν είναι δυνατή η επαγωγή της DC τάσης στον μετασχηματιστή.
- Περιλαμβάνει διακόπτη με δυνατότητα αλλαγής τάσης υπό φορτίο (on load tp changer) μεγάλου εύρους τάσεων με μικρά βήματα (25-30%). Τα μικρά βήματα μας επιτρέπουν μικρές μεταβολές της DC τάσης, της γωνίας έναυσης α και της κατανάλωσης άεργου ισχύος.

- Σε περιπτώσεις μεταφοράς μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται μονοφασικοί μετασχηματιστές (εικόνα 46).

Υπάρχει η ανάγκη να ρυθμίζεται η DC τάση μέσω του μετασχηματιστή και όχι μέσω της γωνίας έναυσης. Καθώς η άεργος ισχύς εξαρτάται από το ημίτονο της γωνίας α , στην προσπάθεια να κρατηθεί η κατανάλωσή της σε χαμηλά επίπεδα επιδιώκεται η γωνία α να έχει τη χαμηλότερη δυνατή τιμή.



ΕΙΚΟΝΑ 46. ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ 1,100 KV ΤΗΣ SIEMENS.

ΠΗΝΙΟ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ (SMOOTHING REACTOR)

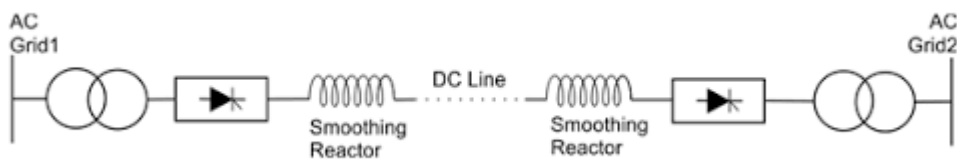
Είναι ένα βασικό στοιχείο στην διάταξη και τοποθετείται στην DC πλευρά του μετατροπέα σειριακά. Οι λειτουργίες του πηνίου αυτού παραθέτονται παρακάτω ως εξής.

- Μειώνει την πιθανότητα σφάλματος μετάβασης.
- Περιορίζει την απότομη αύξηση εισερχομένου ρεύματος βραχυκύκλωσης.
- Μείωση κυμάτωσης της DC τάσης μέσω εξάλειψης περιεχόμενων αρμονικών (AC).

Σημαντικό να σημειωθεί είναι το γεγονός ότι αυξάνοντας την τιμή του πηνίου εξομάλυνσης μειώνεται η συχνότητα συντονισμού (resonance frequency) στην DC γραμμή. Τέλος για να είναι εφικτή η λειτουργία του πηνίου εξομάλυνσης κατά τη διάρκεια των βραχυκυκλωμάτων πρέπει να μην έρχεται σε κορεσμό όταν εφαρμόζονται υψηλά ρεύματα.



ΕΙΚΟΝΑ 47. ΠΗΝΙΟ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ (SMOOTHING REACTOR).



ΕΙΚΟΝΑ 48. ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΗΝΙΟΥ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ.

ΦΙΛΤΡΑ ΓΙΑ VSC ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ (TRANSFORMER)

Ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται για τις λειτουργίες που προαναφέρθηκαν ,δηλαδή να προσαρμόσει το επίπεδο της τάσης κατάλληλα για τον μετατροπέα και να εισέλθει φυσικά ως ένα πηνίο στο κύκλωμα. Η αλλαγή εδώ βρίσκεται στο tap changer ,το οποίο δεν είναι αναγκαίο , διότι η τεχνική παλμοδότησης των ημιαγωγών είναι διαφορετική.

ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗ ΓΡΑΜΜΗΣ (PHASE REACTOR)

Η αυτεπαγωγή της γραμμής έχει κομβικό ρόλο στην λειτουργία της διάταξης. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ενεργού και της άεργου ισχύος μέσω του ελέγχου του ρεύματος που τη διαπερνά .Επίσης, συμβάλει στον περιορισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης που διαρρέει τα διακοπτικά στοιχεία το οποίο δημιουργείται κατά τη διάρκεια σφαλμάτων. Σε συνδυασμό με την αυτεπαγωγή του μετασχηματιστή προσδιορίζει έτσι το ρεύμα βραχυκύκλωσης που θα διαρρέει τις διόδους μέχρι τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί ο διακόπτης ισχύος της AC πλευράς. Τέλος, μπορεί να ειπωθεί ότι λειτουργεί και σαν ένα χαμηλοπερατό φίλτρο.

ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ(DC-LINK CAPACITORS)

Οι πυκνωτές στην DC πλευρά χρησιμοποιούνται για εξομάλυνση της τάσης. Αποτελούν ένα μέσο αποθήκευσης ενέργειας στην DC πλευρά καθώς συμπεριφέρονται σαν μια DC πηγή τάσης. Θεωρητικά όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της χωρητικότητας του πυκνωτή τόσο μικρότερη είναι η κυμάτωση της τάσης αλλά ταυτόχρονα τόσο μεγαλύτερος είναι και ο χρόνος απόκρισης του ελέγχου. Για το λόγο αυτό ,στην εκλογή του πυκνωτή εξομάλυνσης πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο η μικρή κυμάτωση όσο και ο μικρός χρόνος απόκρισης. Προτείνεται να χρησιμοποιούνται δυο ξεχωριστοί πυκνωτές, ένας σε κάθε άκρο της διασύνδεσης.



ΕΙΚΟΝΑ 49. DC-LINK ΠΥΚΝΩΤΕΣ

ΚΑΛΩΔΙΑ HVDC

Μια βασική κατηγοριοποίηση των καλωδίων σε συστήματα HVDC ανάλογα τον τρόπο εγκατάστασης τους και τις συνθήκες στις οποίες αυτά θα βρεθούν είναι ,

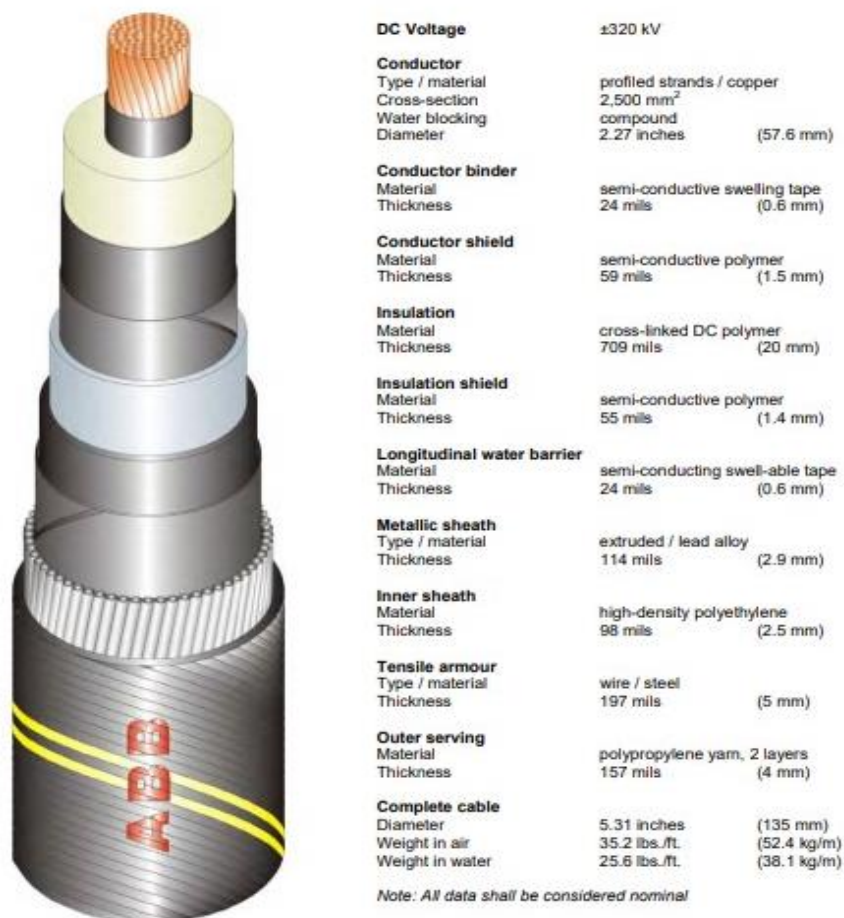
- Εναέρια καλώδια
- Υπόγεια καλώδια
- Υποβρύχια καλώδια

Η κατηγορία που αποκτά μεγάλο ενδιαφέρον είναι των υποβρυχίων καλωδίων που εγκαθίστανται στους ωκεανούς και όχι μόνο, εκμεταλλεύοντας τις μεγάλες δυνατότητες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας πολλών χιλιομέτρων του συστήματος HVDC. Κυρίαρχο βρίσκεται το XLPE, παρόλο της υψηλότερης τιμής του, το οποίο έρχεται σε αντιπαράθεση με το κοινό γνωστό καλώδιο από PVC για την καταλληλότητα της υποβρύχιας εγκατάστασης. Η σύγκριση τους παραθέτετε ακολούθως.

- Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του αγωγού .Τα καλώδια XLPE έχουν υψηλότερη τρέχουσα βαθμολογία και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τα καλώδια PVC.
- Το XLPE διαθέτει εκατό φορές μεγαλύτερη αντοχή σε υγρασία από PVC.
- Η διάρκεια ζωής του XLPE είναι μεγαλύτερη του PVC.
- Το XLPE δεν περιέχει χλώριο ,το οποίο θα απελευθερώσει τοξικά αέρια αν καεί και έτσι είναι φιλικό προς το περιβάλλον.
- Η δομή του XLPE παρέχει μεγάλη αντοχή σε τριβή, φθορές και δυνάμεις εφελκυσμού.
- Παρόλο την υψηλότερη τιμή του XLPE σε σύγκριση με το PVC, λαμβάνοντας υπόψιν όλους τους παράγοντες, το XLPE έχει υψηλότερη απόδοση κόστους.

Οι παρακάτω εικόνες απεικονίζουν χαρακτηριστικά υποβρυχίου και υπογείου καλωδίου DC ,της ευρέως γνωστής εταιρίας ABB .

2.2 Submarine Cable Design Sheet – 1,000 MW



ΕΙΚΟΝΑ 50. ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ



2.3 Electrical Cable Properties

The submarine cable has the following electrical properties:

Rated continuous DC voltage, U_0	320 kV
Switching impulse withstand level (SIWL) started from U_0	698 kV
Subtractive SIWL started from U_0 to voltage at opposite polarity	378 kV
Rated continuous current under the installation conditions set out in Sections 2.5 and 2.6 below	1,638 A
Maximum conductor temperature in normal operation	70 °C
DC resistance at 20 °C	0.0022 ohm/1,000 ft. (0.0072 ohm/km)
DC resistance at maximum conductor temperature	0.0027 ohm/1,000 ft. (0.0087 ohm/km)
Losses at rated current	7.1 W/ft. and cable (23.3 W/m)
Capacitance	0.085 μ F/1,000 ft. (0.28 μ F/km)
Inductance (between conductor and metallic sheath)	0.039 mH/1,000 ft. (0.127 mH/km)
Surge impedance	21.4 ohm
Maximum permissible short-circuit current in the conductor during 0.2 s for 70 °C initial conductor temperature	24 kA
Maximum permissible short-circuit current in the metallic sheath during 0.2 s for 70 °C initial conductor temperature	12 kA

ΕΙΚΟΝΑ 51. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ



2.4 Mechanical Cable Properties

Weight of cable	
- in air	≈ 35.2 lbs./ft. (52.4 kg/m)
- in water	≈ 25.6 lbs./ft. (38.1 kg/m)
Maximum water depth	380 feet (116 m) near MP 54
Minimum bending radius	
- at laying (high tension)	6.4 feet (2.0 m)
- at handling (low tension)	5.1 feet (1.6 m)
Minimum coiling diameter	40.0 feet (12.2 m)
Maximum pulling force	47,200 lbs. (210 kN)
Maximum side wall pressure ¹⁾	6,000 lbs./ft. (90 kN/m)
¹⁾ $SWP = \frac{\text{Pulling Force}}{\text{Bending Radius}}$	

ΕΙΚΟΝΑ 52. ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ

2.2 Underground Cable Design Sheet – 1,000 MW



DC Voltage	±320 kV
Conductor	
Type / material	profiled stands / copper
Cross-section	2,500 mm ²
Water blocking	compound or swelling tape
Diameter	2.27 inches (57.6 mm)
Conductor binder	
Material	semi-conductive swelling tape
Thickness	24 mils (0.6 mm)
Conductor shield	
Material	semi-conductive polymer
Thickness	59 mils (1.5 mm)
Insulation	
Material	cross-linked DC polymer
Thickness	709 mils (18 mm)
Insulation shield	
Material	semi-conductive polymer
Thickness	55 mils (1.4 mm)
Longitudinal water barrier	
Material	semi-conducting swell-able tape
Thickness	24 mils (0.6 mm)
Metallic screen	
Type / material	round wires / copper
Thickness	39.4 mils (1.0 mm)
Total cross-section	35 mm ²
Longitudinal water barrier	
Material	semi-conducting swell-able tape
Thickness	24 mils (0.6 mm)
Radial moisture/water barrier	
Type / material	longitudinal applied foil / Aluminium
Thickness	7.9 mils (0.2 mm)
Outer jacket	
Material	high-density polyethylene
Thickness	189 mils (4.8 mm)
Complete cable	
Diameter	4.6 inches (117 mm)
Weight	20.2 lbs./ft. (30.1 kg/m)

Note: All data shall be considered nominal

ΕΙΚΟΝΑ 53. ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ

2.3 Electrical Cable Properties

The underground cable has the following electrical properties:

Rated continuous DC voltage, U_0	320 kV
Switching impulse withstand level (SIWL) started from U_0	698 kV
Subtractive SIWL started from U_0 to voltage at opposite polarity	378 kV
Rated continuous current under the installation conditions set out in Sections 2.5 - 2.11 below	1,638 A
Maximum conductor temperature in normal operation	70 °C
DC resistance at 20 °C	0.0022 ohm/1,000 ft. (0.0072 ohm/km)
DC resistance at maximum conductor temperature	0.0027 ohm/1,000 ft. (0.0087 ohm/km)
Losses at rated current	7.09 W/ft. per cable (23.3 W/m)
Capacitance	0.091 μ F/1,000 ft. (0.30 μ F/km)
Inductance (between conductor and metallic screen)	0.036 mH/1,000 ft. (0.117 mH/km)
Surge impedance	19.6 ohm
Maximum permissible short-circuit current in the conductor during 0.2 s for 70 °C initial conductor temperature	24 kA
Maximum permissible short-circuit current in the metallic sheath during 0.2 s for 70 °C initial conductor temperature	12 kA

ΕΙΚΟΝΑ 54. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ

2.4 Mechanical Cable Properties

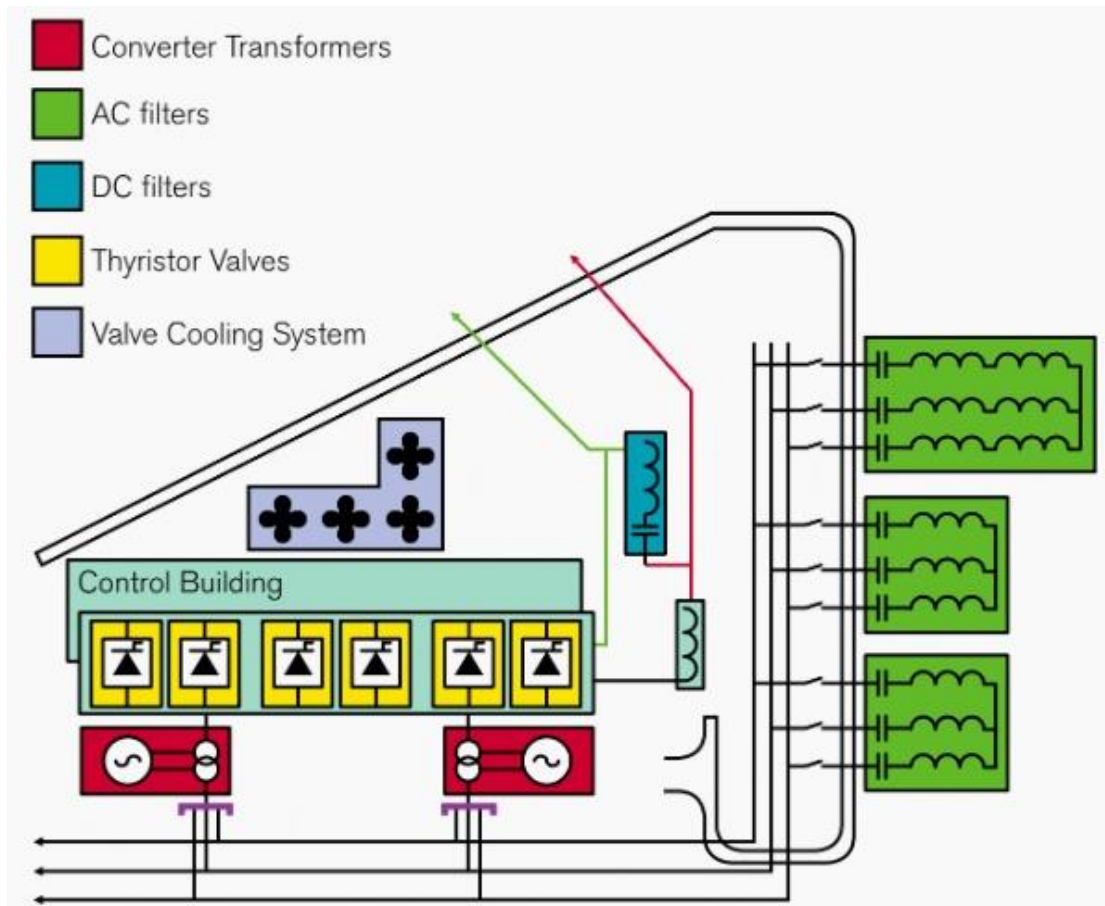
Weight of cable	
- in air	≈ 20.2 lbs./ft. (30.1 kg/m)
Minimum bending radius	
- at laying	6.9 feet (2.1 m)
- at handling (low tension)	4.6 feet (1.4 m)
- installed	4.6 feet (1.4 m)
Maximum pulling force	39,300 lbs. (175 kN)
Maximum side wall pressure ¹⁾	514 lbs./ft. (7.5 kN/m)
$^1) SWP = \frac{\text{Pulling Force}}{\text{Bending Radius}}$	

ΕΙΚΟΝΑ 55. ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της δομής ενός σταθμού μετατροπής ενέργειας και πως τοποθετούνται οι επιμέρους διατάξεις στον χώρο του σταθμού. Στην εικόνα 56 απεικονίζεται μονογραμμικά η σχηματική δομή του που θα αναλυθεί ακολούθως.



Έχοντας τα επιμέρους στοιχεία της εικόνας ,που ανωτέρω στην εργασία αναλύθηκαν ,παρατηρούνται τα εξής,

- Οι ζυγοί της εναλλασσόμενης τάσης
- Οι ζυγοί της συνεχούς .
- Ο μετασχηματιστής εισόδου με το διπλό δευτερεύον τύλιγμα .
- Τα AC και DC φίλτρα.
- Οι διακόπτες ισχύος (θυρίστορ).
- Το σύστημα ψύξεως των θυρίστορ.

Μια συνοπτική περιγραφή τη ροής μετασχηματισμού της ενέργειας ,εκκινεί από τους ζυγούς εναλλασσόμενου που έπειτα περνά από τον μετασχηματιστή για να οδηγηθεί στους ημιαγωγικούς διακόπτες ισχύος που από εκεί αφού η μορφή της DC τάσης φιλτραριστεί από διαφόρων ειδών φίλτρα ,προχωρά στους ζυγούς συνεχούς τάσης όπου και ξεκινά η διανομή του στο εκάστοτε εγκατεστημένο δίκτυο.

Η επόμενη εικόνα αναδεικνύει τον σταθμό σε πραγματική κατάσταση(εικόνα 57) και εν συνεχεία θα παραταθούν εικόνες των επιμέρους διατάξεων .



ΕΙΚΟΝΑ 57.ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.



ΕΙΚΟΝΑ 58. ΤΑ DC ΦΙΛΤΡΑ ΚΑΙ ΟΙ ΖΥΓΟΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ.



ΕΙΚΟΝΑ 59. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ



ΕΙΚΟΝΑ 60. Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΘΥΡΙΣΤΟΡ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ HVDC

Μια υποβρύχια εγκατάσταση "ακουμπά" πολλά ζητήματα έως ότου αυτή φθάσει σε στάδιο εκκίνησης εργασιών και τελικά ολοκλήρωσης της, λόγω ότι είναι δαπανηρή και προκλητική δραστηριότητα. Η διάρκεια ζωής ενός υποβρυχίου καλωδίου μπορεί να είναι δεκαετίες και οι τεχνικές επεμβάσεις για την επισκευή του σε περίπτωση βλαβών να είναι επίσης δαπανηρές και δύσκολες. Επομένως, η καλωδιακή διαδρομή πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά και να επιλεγεί προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος και να μεγιστοποιηθεί η προστασία του καλωδίου. Μια σειρά διαδικασιών διενεργείται πριν και μετά την όλη εγκατάσταση όπως

1. Η επιλογή της διαδρομής του καλωδίου.
2. Λήψη άδειας απτις αρμόδιες αρχές.
3. Έρευνα της προεπιλεγθείσας διαδρομής.
4. Σχεδιασμός του καλωδιακού συστήματος προκειμένου να ικανοποιηθούν οι συνθήκες της επιλεγθείσας διαδρομής.
5. Τοποθέτηση του καλωδίου ,συμπεριλαμβανομένης της ενδεχόμενης ταφής σε ορισμένα σημεία.
6. Έλεγχος ύστερα της προσεδάφισης του καλωδίου.
7. Κοινοποίηση της θέσης του καλωδίου σε χρήστες θαλάσσης.

Η πολυπλοκότητα του καθορισμού του καλωδίου απαιτεί ένα συντονισμένο έργο πολλών ειδικών σε διάφορους τομείς. Η επιλογή διαδρομής γίνεται από τους μηχανικούς του συστήματος ισχύος μαζί με τους ειδικούς θαλάσσης. Η έρευνα εκτελείται από γεωλόγους, γεωφυσικούς και ωκεανογράφους. Έπειτα η τοποθέτηση του καλωδίου στο θαλάσσιο περιβάλλον εκτελείται από μηχανικούς ειδικών δομών.

Το σκάφος αντιπροσωπεύει μόνο ένα μέρος των απαιτούμενων εργαλείων για την τοποθέτηση του καλωδίου. Μεταφέρει το καλώδιο και αντιπροσωπεύει το κέντρο εντολών. Τα πιο ενεργά πλοία που χρησιμοποιούνται για τέτοιες επιχειρήσεις είναι:

1. Skagerrak (Nexans),
2. Giulio Verne (Prysmian),
3. Team Installer (Topaz Energy and Marine)
4. C. Sovereign (Global Marine Systems Ltd).



Skagerrak (Nexans)



Giulio Verne (Prysmian)



Team Installer a.k.a. Team Oman (Topaz Energy and Marine)



C.S. Sovereign (Global Marine Systems Ltd)

ΕΙΚΟΝΑ 61. ΠΛΟΙΑ ΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΣΕ ΒΥΘΟ

Είναι όλα εξοπλισμένα με ένα πικάπ για τουλάχιστον 4000 τόνους καλωδίου και έχουν την κατάλληλη ταχύτητα για να το χειριστούν. Ακολουθώντας απεικονίζεται το πικάπ και οι εργαζόμενοι που φροντίζουν το καλώδιο, χωρίς την δημιουργία προβλημάτων .



ΕΙΚΟΝΑ 62.ΤΟ ΠΙΚΑΠΙ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΑΛΩΔΙΟ

Μόλις το καλώδιο βρεθεί στο νερό, άλλος υποβρύχιος εξοπλισμός αναλαμβάνει να εγκαταστήσει το καλώδιο στην πορεία του. Για τα ρηγά νερά οι δύτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν την εγκατάσταση, ενώ για τα βαθέως ύδατα χειρίζονται τα οχήματα με τηλεχειρισμό (ROV's) .

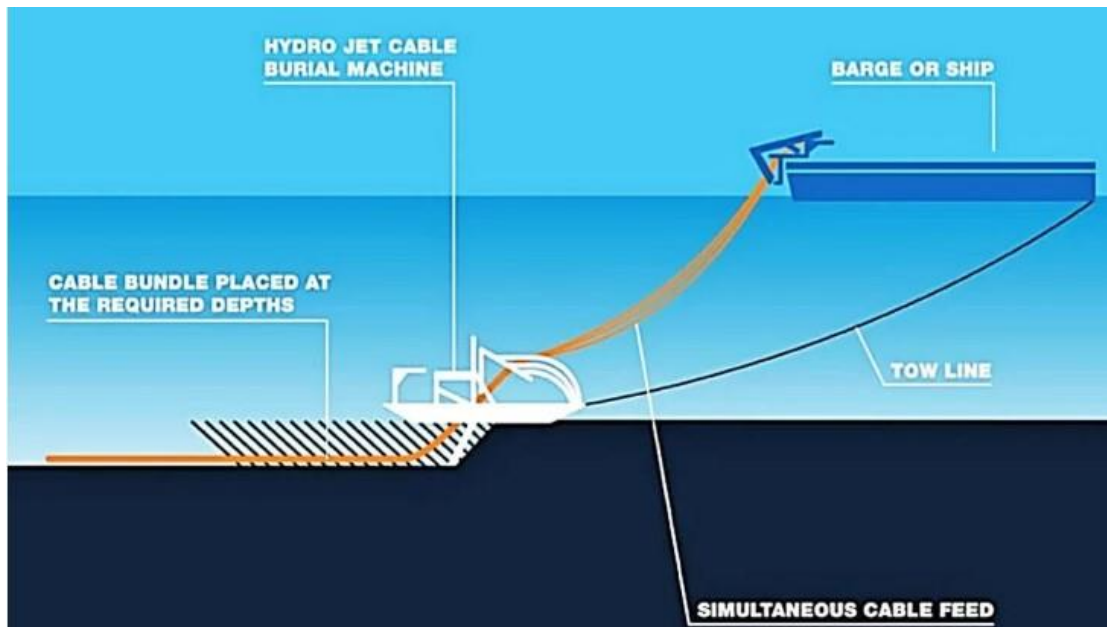


ΕΙΚΟΝΑ 62. ΤΟ ROV ΤΗΣ NEXANS ΜΟΝΤΕΛΟ CAPJET 3 ΕΤΟΙΜΟ ΠΡΟΣ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΟΝ ΙΝΔΙΚΟ ΩΚΕΑΝΟ ΒΑΘΟΥΣ 7KM.

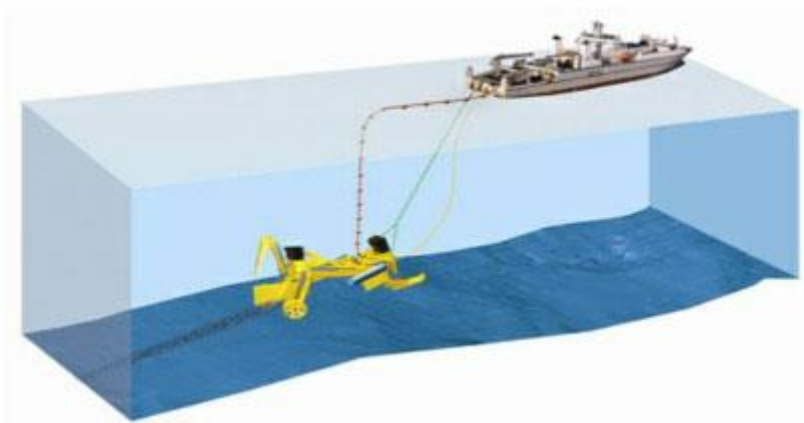
Εν συνεχεία , με τη βοήθεια ακουστικών οργάνων όπως ανιχνευτές ήχου και ακριβής συστήματα Global Positioning System (GPS) και διαφορικά GPS κατευθύνεται η πορεία προσεδάφισης. Τα ROVs σκάβουν την τάφρο και στερεώνουν το καλώδιο στη σωστή διαδρομή και ταυτοχρόνως το καλύπτουν με ιζήματα .



ΕΙΚΟΝΑ 63.Η ΤΑΦΡΟΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙ ΤΟ ROV

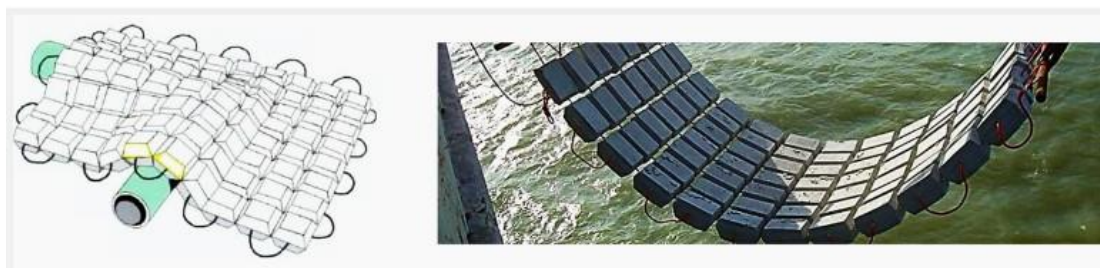


ΕΙΚΟΝΑ 64. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ



ΕΙΚΟΝΑ 65.ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Όταν δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα ιζήματα ως κάλυμμα, εφαρμόζονται διαφορετικά διαλύματα όπως η χρήση βράχων ή στρωμάτων σκυροδέματος ως κάλυμμα ή χρησιμοποιώντας αρθρωτούς σωλήνες.



ΕΙΚΟΝΑ 66. ΣΤΡΩΜΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Ο ρυθμός με τον οποίο καθορίζεται το καλώδιο εξαρτάται από τον τύπο του καλωδίου, την πολυπλοκότητα της διαμόρφωσης του καλωδίου, το βάθος και τις ιδιότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος (ετερογενής βαθυμετρία και γεωλογία). Στην περίπτωση καλωδίων επικοινωνίας, ο ρυθμός τοποθέτησης 100-150 χλμ / ημέρα, για νέους τύπους ακόμη και 200 χλμ / ημέρα, όμως στην περίπτωση του καλωδίου τροφοδοσίας λόγω του μεγέθους και του όγκου εργασίας εγκαθίστανται με χαμηλότερο ρυθμό. Για τα καλώδια τροφοδοσίας η μέση ταχύτητα ταφής είναι περίπου 0,2 km / h και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες του θαλάσσιου βυθού.

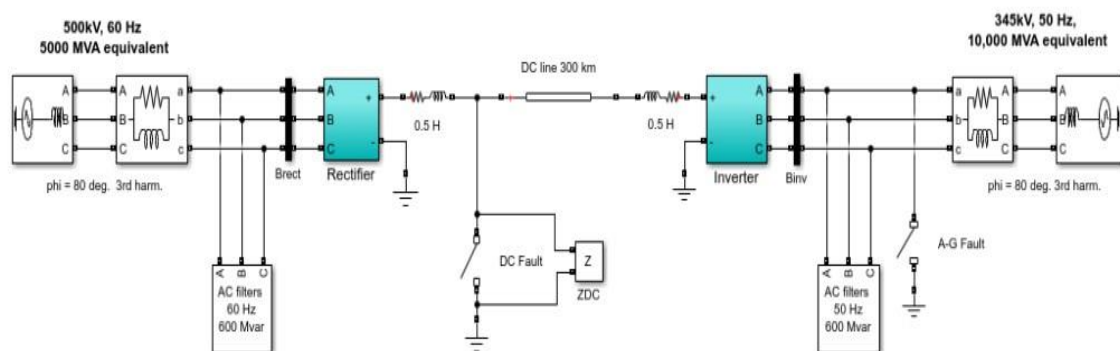
Ένα σημαντικό ζήτημα είναι το πόσο θα επηρεάσει αυτό το καλώδιο η ανθρώπινη δραστηριότητα. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ρήξης καλωδίου λόγω της αγκυροβόλησης των πλοίων, δημιουργείται μια "ζώνη προστασίας καλωδίων" ή CPZ κατά μήκος της διαδρομής του καλωδίου. Αυτές οι ζώνες ορίζονται νομικά και επισημαίνονται σε ναυτικούς χάρτες. Σε αυτές τις περιοχές οι δραστηριότητες που μπορεί να βλάψουν τα καλώδια ρυθμίζονται και ελέγχονται αυστηρά. Τα σκάφη δεν επιτρέπεται να αγκυροβολούν ή να αλιεύουν σε αυτήν την περιοχή και η ζώνη προστασίας παρακολουθείται συνεχώς από τη θάλασσα ή τον αέρα.

Η ταφή του καλωδίου στον βυθό της θάλασσας είναι μια αργή και δαπανηρή λειτουργία, αλλά επιστρέφεται από τις δυνατότητες, την αξιοπιστία και την εκτεταμένη διάρκεια ζωής του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ HVDC ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ(SIMULINK)

Παρακάτω προσομοιώνεται μέσω του λογισμικού Simulink και αναπαρίσταται ο τύπος διασύνδεσης HVDC συστήματος LCC(Line Commutated Converter) από πλευράς ανορθωτή και αντιστροφέα ,αλλιώς μετατροπέας φυσικής μεταγωγής δηλαδή μια γέφυρα 12 παλμών .Η διάταξη αναπαρίσταται σε μορφή blocks όπως φαίνεται στην εικόνα 67 που περιγράφει την διασύνδεση μεταξύ δυο ασύμβατων δικτύων ,σε διαφορετικές πολικές τάσεις και διαφορετικές συχνότητες. Επίσης το όλο σύστημα πέραν των φίλτρων και των παθητικών στοιχείων που διαθέτει όπως και οι σύνθετες αντιστάσεις ,περιλαμβάνει στο DC Link την βαθμίδα του DC σφάλματος προσομοιάζοντας κατάσταση σφάλματος εν ώρα μεταφοράς ισχύος στο καλώδιο θετικής πολικότητας μορφής βραχυκυκλώματος με μηδενική αντίσταση .Μια ακόμα διάταξη βρίσκεται στην πλευρά του ανορθωτή στην AC πλευρά που προσομοιώνει ένα μονοφασικό εναλλασσόμενο βραχυκύκλωμα μεταξύ "A" φάσης και γης στο σημείο αμέσως πριν τον ζυγό αναχώρησης προς το δίκτυο. Τέλος έχουν προβλεφθεί διατάξεις αναγνώρισης και αντιμετώπισης σφαλμάτων όπως και στην πραγματικότητα τόσο στην πλευρά του AC όσο και στην DC πλευρά της διασύνδεσης. Σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι να τονιστεί ότι δεν μελετώνται αναλυτικά τα block στο πρόγραμμα διότι εξετάζεται η συμπεριφορά ενός φυσικού συστήματος HVDC και όχι το περιεχόμενο των διατάξεων των βαθμίδων αναγνώρισης και καταπολέμησης του σφάλματος.



ΕΙΚΟΝΑ 67. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ HVDC ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ LCC.

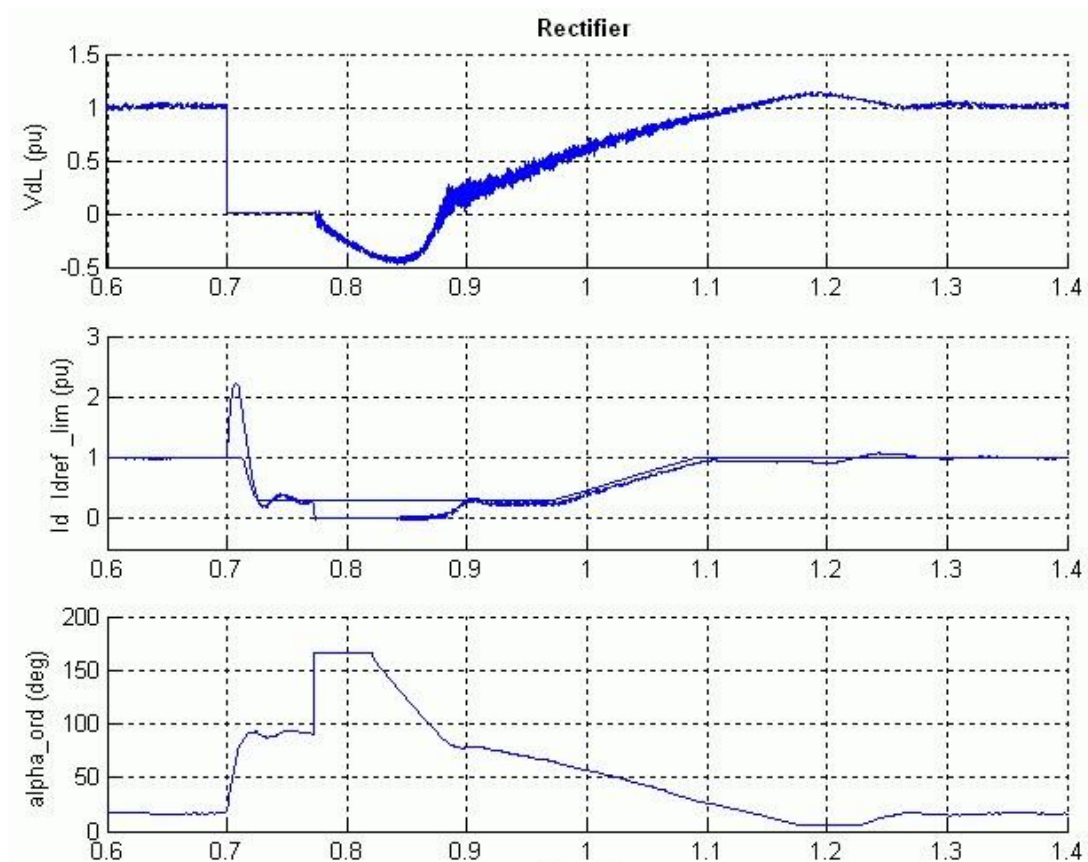
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1^η

DC ΣΦΑΛΜΑ (DC FAULT).

Σε αυτή την περίπτωση κλείνει ο διακόπτης που προσομοιώνει το σφάλμα συνεχούς και παρατηρούνται ακολούθως οι μεταβολές των φυσικών μεγεθών εκ των διαγραμμάτων της τάσης, του ρεύματος αλλά και της γωνίας έναυσης των ημιαγωγικών διακοπών ισχύος αλλά και πως τα συστήματα προστασίας αναλαμβάνουν να κατευνάσουν τα ανεπιθύμητα γεγονότα. Μια διευκρίνηση επί των διαγραμμάτων είναι η μονάδα (pu) η οποία ακολουθεί τον τύπο

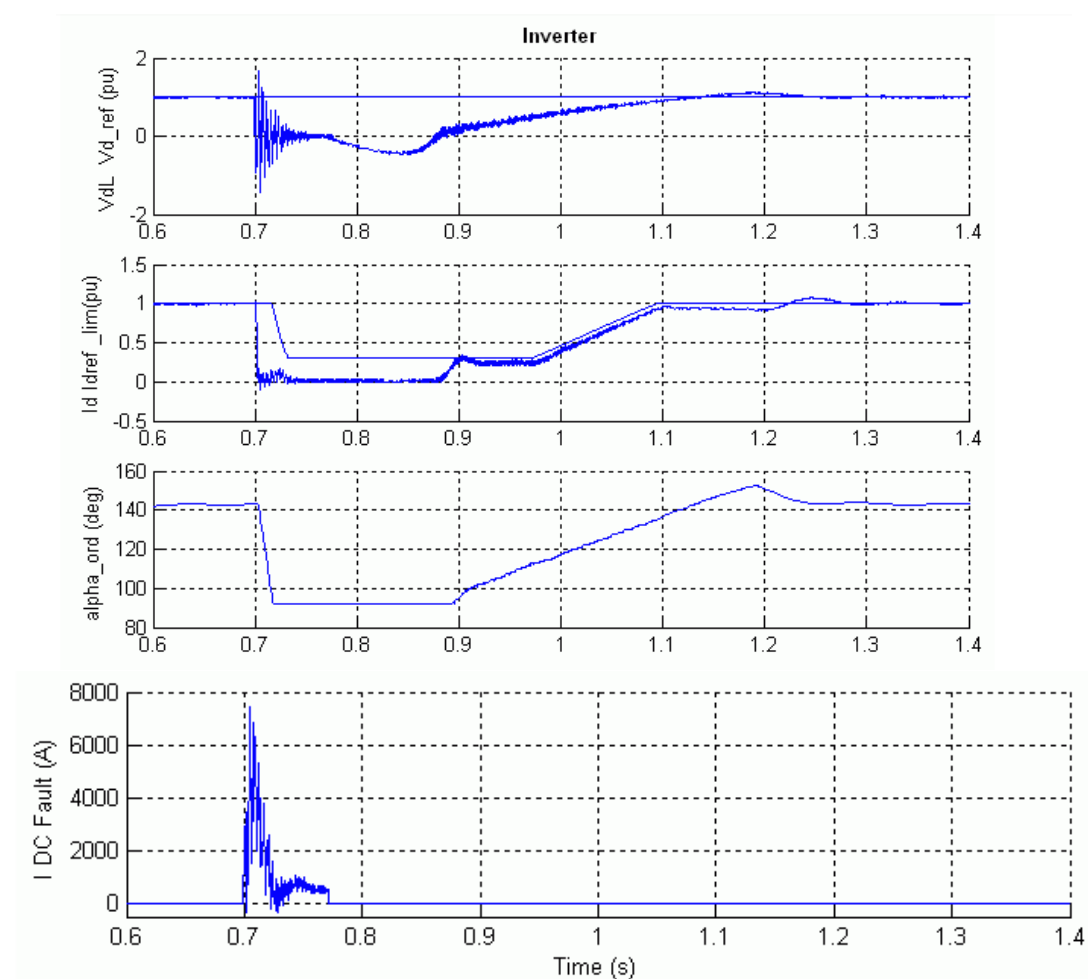
$$\text{pu (per unit)} = \frac{\text{πραγματική τιμή μεγέθους}}{\text{τιμή αναφοράς του ίδιου μεγέθους}}$$

Ακολούθως παρίστανται τα διαγράμματα αυτά.



ΕΙΚΟΝΑ 68. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΑΝΟΡΘΩΤΗ.

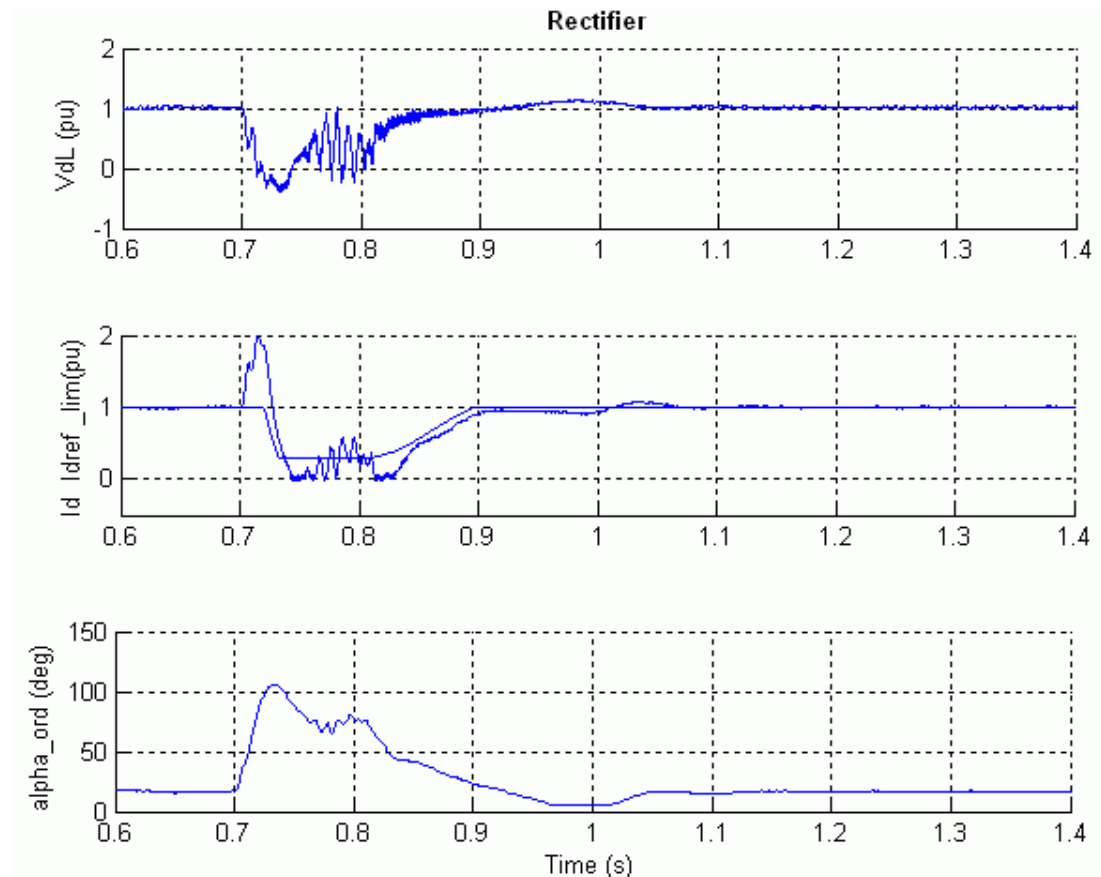
Παρατηρείται στην προκειμένη περίπτωση ότι την στιγμή των 0.7 δευτ. πραγματοποιείται σφάλμα του ενεργού DC αγωγού και το ρεύμα φτάνει στις 2.2 pu μονάδες . Εκείνη την στιγμή η τάση βυθίζεται σε 0 pu δηλαδή μηδενίζεται. Ακαριαία τα συστήματα αναγνωρίζουν το σφάλμα εκ της μεγάλης απορρόφησης ρεύματος και αντιδρούν αυξάνοντας την γωνία έναυσης των ημιαγωγών ,περιορίζοντας το φαινόμενο βραχυκύκλωσης. Ωστόσο οδηγείται η τάση σε αρνητικές τιμές που σημαίνει ότι αλλάζει η ροή της ισχύος ,δηλαδή η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην γραμμή γυρίζει πίσω στον ανορθωτή που λαμβάνει στιγμιαία λειτουργία αντιστροφέα . Βέβαια η αυτεπαγωγή στην αρχή της γραμμής περιορίζει την απότομη μεταβολή του ρεύματος και συμβάλει θετικά όχι μόνο επί των αρμονικών αλλά και επί των ανωτέρω φαινομένων. Εφόσον το φαινόμενο καλπάζει η ανάστροφη διαδικασία ανάκτησης των σταθερών τιμών των μεγεθών λαμβάνει χώρα μετά από περίπου 0.2 δευτ. όπου και παρατηρείται μείωση της γωνίας έναυσης αύξηση της μέσης τιμής της τάσης και του ρεύματος. Ολικά η διαδικασία αναγνώρισης και αντιμετώπισης του σφάλματος διαρκεί εδώ από 0.7 δευτ έως 1.1 δευτ.



ΕΙΚΟΝΑ 69. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

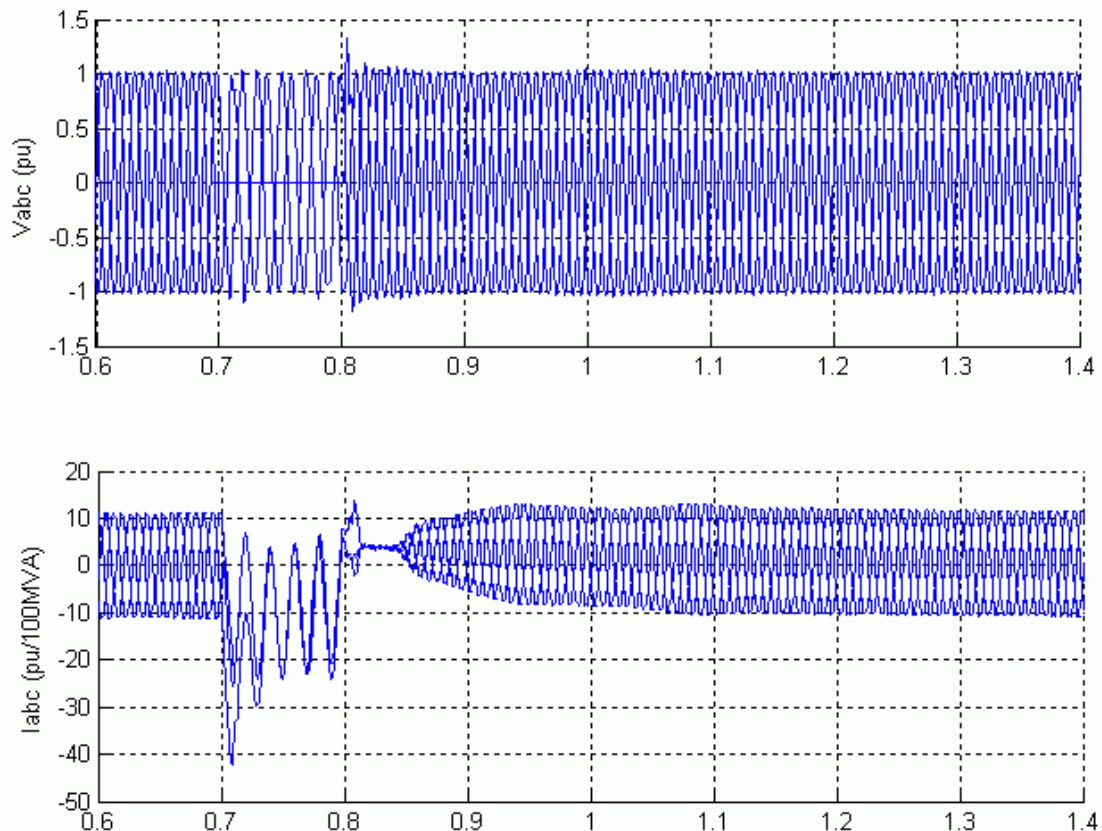
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2^η

ΣΦΑΛΜΑ AC (Α ΦΑΣΗ ΜΕ ΓΕΙΩΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΑΝΟΡΘΩΤΗ)



ΕΙΚΟΝΑ 70. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ AC ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΑΝΟΡΘΩΤΗ

Παρατηρείται εδώ αύξηση της γωνίας έναυσης λόγω της απότομης μεταβολής του ρεύματος στην πλευρά του ανορθωτή αλλά λόγω ότι το σφάλμα είναι αρκετά μακριά από το σημείο αυτό, τα φαινόμενα δεν απεικονίζονται τόσο μεγάλα όσο στην περίπτωση του DC σφάλματος. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ακόλουθες κυματομορφές οι οποίες απεικονίζουν τα σφάλμα στην πλευρά του αντιστροφέα.



ΕΙΚΟΝΑ 71. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ.

Μια αναπόφευκτη αστοχία μεταγωγής εμφανίζεται στον μετατροπέα στην αρχή του σφάλματος και το ρεύμα συνεχούς αυξάνεται στα 2 pu(εικόνα 70). Μια αστοχία μεταγωγής είναι το αποτέλεσμα της αδυναμίας του εισερχόμενου thyristors να αναλάβει κατά την σειρά πυροδότησης του ,προτού η τάση μεταγωγής αντιστρέψει την πολικότητα της. Τα συμπτώματα είναι μια μηδενική τάση DC στην γέφυρα που προκαλεί αύξηση του συνεχούς ρεύματος με ρυθμό που καθορίζεται κυρίως από την επαγωγή του κυκλώματος .Στην εικόνα 71 παρατηρούμαι τον μηδενισμό η αλλιώς απώλεια της φάσης που υπέστη το σφάλμα(A φάση).Η επαναφορά της τάσης διαρκεί περίπου 0.1 δευτ. Τέλος παρατηρούμαι το διάγραμμα του ρεύματος που απότομα την στιγμή των 0.7 λαμβάνει κατά 30pu αύξηση έναν έλεγχο περιορίζοντας γύρω στα 20pu έως ότου το σύστημα ανακάμψει μετά από 0.22 δευτ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) <https://www.admie.gr/>
- 2) <https://energycentral.com/c/ec/what-are-risks-related-coal-power-plant-investment>

- 3) <http://electron6.phys.utk.edu/PhysicsProblems/E&M/4-Quasi-static/inductance.html>
- 4) <http://physics-ref.blogspot.com/2018/12/fig-62-shows-variation-with-time-t-of.html>
- 5) https://oaedhlectrologoi.blogspot.com/2015/05/blog-post_25.html
- 6) <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Tag:power%3Dtower>
- 7) <https://blog.sintef.com/sintefenergy/high-voltage-subsea-cables-reducing-costs-by-simplifying-design/>
- 8) <https://circuitglobe.com/different-types-hvdc-links.html>
- 9) <https://circuitglobe.com/different-types-hvdc-links.html>
- 10) <https://circuitglobe.com/different-types-hvdc-links.html>
- 11) <https://www.electricaltechnology.org/2020/06/advantages-of-hvdc-over-hvac-power-transmission.html>
- 12) <https://www.electricaltechnology.org/2020/06/advantages-of-hvdc-over-hvac-power-transmission.html>
- 13) <https://www.electricaltechnology.org/2020/06/advantages-of-hvdc-over-hvac-power-transmission.html>
- 14) <https://energyin.gr/2014/07/25/%CE%B5%CE%BA%CF%83%CF%85%CE%B3%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B7-%CF%83%CF%8D%CE%BD%CE%B4%CE%B5%CF%83%CE%B7-%CE%B9%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82-%CE%B5%CE%BB%CE%BB/>
- 15) https://en.wikipedia.org/wiki/HVDC_Italy%E2%80%93Greece
- 16) [https://www.dealnews.gr/roi/item/291822-O-K%CE%BF%CF%80%CE%B5%CE%BB%CE%BF%CF%8D%CE%B6%CE%BF%CF%82-\(Elica-Group\)-%C2%AB%CE%B5%CE%BD%CF%8E%CE%BD%CE%B5%CE%B9%C2%BB-E%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-A%CE%AF%CE%B3%CF%85%CF%80%CF%84%CE%BF#.Y5YZe3ZBzIU](https://www.dealnews.gr/roi/item/291822-O-K%CE%BF%CF%80%CE%B5%CE%BB%CE%BF%CF%8D%CE%B6%CE%BF%CF%82-(Elica-Group)-%C2%AB%CE%B5%CE%BD%CF%8E%CE%BD%CE%B5%CE%B9%C2%BB-E%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-A%CE%AF%CE%B3%CF%85%CF%80%CF%84%CE%BF#.Y5YZe3ZBzIU)
- 17) <https://twitter.com/EEmerison14/status/1499763345599127565/photo/1>
- 18) <https://windeurope.org/newsroom/news/france-commits-to-40-gw-offshore-wind-by-2050/>
- 19) <https://e.vnexpress.net/news/news/southeast-asia-s-largest-solar-farm-begins-operations-in-southern-vietnam-3979068.html>
- 21) <https://www.abb-conversations.com/2015/11/thyristors-the-heart-of-hvdc/>

- 23) <https://www.electricalvolt.com/2019/02/v-i-characteristics-of-scr/>
- 24) ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΓΕΩΡΓΑΚΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΛΟΠΟΝΗΣΟΥ
- 25) <https://www.electronics-tutorial.net/thyristor/characteristics-of-thyristor/>
- 26) <https://electronicscoach.com/insulated-gate-bipolar-transistor.html>
- 27) <https://www.electronics-tutorials.ws/power/insulated-gate-bipolar-transistor.html>
- 28) https://www.researchgate.net/figure/sinusoidal-pulse-width-modulation-technique_fig1_327060644
- 29) ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΓΕΩΡΓΑΚΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΛΟΠΟΝΗΣΟΥ
- 30) https://www.researchgate.net/figure/a-Voltage-Current-and-instantaneous-power-loss-during-turn-ON-and-OFF-period-of-the_fig1_327516255
- 31) [https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/voltage-source-converters#:~:text=Voltage%20Source%20Converters%20\(VSC\)%20are,rely%20on%20an%20AC%20system.](https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/voltage-source-converters#:~:text=Voltage%20Source%20Converters%20(VSC)%20are,rely%20on%20an%20AC%20system.)
- 32)-37) google images
- 38) <https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/synchronized6pulsegenerator.html>
- 39)-45) google images
- 46) <https://press.siemens.com/global/en/feature/worlds-first-1100-kv-hvdc-transformer>
- 49) <https://www.sunraylink.com/c-show/2.html>
- 50)-55) abb.com
- 57) <https://new.abb.com/news/detail/45972/abb-completes-upgrade-of-first-major-hvdc-link-in-us-transmission-history>
- 66) <https://electrical-engineering-portal.com/installing-submarine-transmission-cable>