

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ Σχολή Ηλεκτρολογών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Σύγκριση συστημάτων διανομής εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πιτσινής Γ. Ιωάννης

Καθηγητής: Χρήστος Αθ. Χριστοδούλου **Επιβλέπων:** Γεώργιος Πουλημένος

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ Σχολή Ηλεκτρολογών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Σύγκριση συστημάτων διανομής εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πιτσινής Γ. Ιωάννης

Καθηγητής : Χρήστος Αθ. Χριστοδούλου **Επιβλέπων:** Γεώργιος Πουλημένος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1^η Νοεμβρίου 2024.

..... Χρήστος Αθ. Χριστοδούλου Καθηγητής Ε.Μ.Π. Ιωάννης Φ. Γκόνος Καθηγητής Ε.Μ.Π. Γεώργιος Ι. Τσεκούρας Αν. Καθηγητής ΠΑΔΑ

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Ιωάννης, Γεώργιος, Πιτσινής

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννης Πιτσινής, 2024 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία εστιάζει στη σύγκριση των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος (HVAC) και συνεχούς ρεύματος (HVDC) για εφαρμογές σε δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σκοπός της μελέτης είναι η αξιολόγηση των τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών πτυχών αυτών των τεχνολογιών. Μέσα από αναλυτικές προσομοιώσεις που βασίζονται σε ροή φορτίου, ανάλυση βραχυκυκλωμάτων, ανάλυση έκτακτης ανάγκης και τεχνοοικονομική ανάλυση, εξετάζεται η απόδοση, η σταθερότητα των συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία HVDC αναλύεται σε δύο κύριες κατηγορίες: τα συστήματα μετατροπέα μεταγωγής γραμμής (LCC) και τα συστήματα μετατροπέα πηγής τάσης (VSC).

Τα αποτελέσματα της μελέτης αποκαλύπτουν ότι τα συστήματα HVDC προσφέρουν μειωμένες απώλειες ισχύος και μεγαλύτερη σταθερότητα σε μεγάλες αποστάσεις, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για σύνδεση απομακρυσμένων περιοχών και υποβρύχιες διασυνδέσεις. Ωστόσο, απαιτούν υψηλότερα αρχικά κόστη και πιο περίπλοκη τεχνολογία μετατροπέων, σε αντίθεση με τα HVAC που διαθέτουν πιο εδραιωμένη υποδομή και χαμηλότερο κόστος υλοποίησης. Μέσα από τη σύγκριση αυτή, η μελέτη σου παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας μεταφοράς, ιδιαίτερα για μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες και την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Λέξεις-κλειδιά

Υψηλή Τάση, Δίκτυα Εναλλασσόμενου και Συνεχούς Ρεύματος, Προσομοίωση, Μετατροπείς Μεταγωγής Γραμμής, Μετατροπείς Πηγής Τάσης.

Abstract

The thesis focuses on the comparison of High Voltage Alternating Current (HVAC) and High Voltage Direct Current (HVDC) power transmission systems for applications in power transmission networks. The aim of this study is to evaluate the technical, economic, and environmental aspects of these technologies. Through detailed simulations based on load flow, short circuit analysis, contingency analysis and technoeconomic analysis, the performance and stability of these power transmission systems are examined. HVDC technology is analyzed in two main categories: Line Commutated Converter (LCC) and Voltage Source Converter (VSC) systems.

The study's findings reveal that HVDC systems offer reduced power losses and greater stability over long distances, making them suitable for connecting remote areas and underwater interconnections. However, they require higher initial costs and more complex converter technology, as opposed to HVAC systems, which have a more established infrastructure and lower implementation costs. Through this comparison, the study provides valuable insights for selecting the appropriate transmission technology, especially for future energy needs and the integration of renewable energy sources.

Keywords

High Voltage, Alternating and Direct Current Grids, Simulation, Line Commutated Converter, Voltage Source Converter.

Η φαντασία είναι σημαντικότερη από τη γνώση. Γιατί η γνώση είναι περιορισμένη, ενώ η φαντασία προσεκτική

Άλμπερτ Άινσταϊν

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή	9
1.1. Γενικά	9
1.2. Ορισμός του προβλήματος	10
 Σκοπός της έρευνας Τεχνική ανάλυση Οικονομικά και περιβαλλοντικά ζητήματα Πρακτικές εφαρμογές και περιορισμοί Πολιτική και κανονιστικό πλαίσιο 	
1.4. Υπόβαθρο της μελέτης	11
1.5. Δομή της διπλωματικής εργασίας	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Μεταφορά συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης	15
2.1. Εισαγωγή	15
 2.2. Κλασικό σύστημα τεχνολογίας HVDC (LCC) 2.2.1. Εξαρτήματα και λειτουργία 2.2.2. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί 2.2.3. Εφαρμογές 2.2.4. Πρόσφατες εξελίξεις 	
2.3. Κλασική διαμόρφωση συστήματος HVDC (LCC)	17
2.4. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HVDC (LCC)	
2.5. Εφαρμογές της τεχνολογίας HVDC (LCC)	19
2.6. Εμπορική ανάπτυξη της τεχνολογίας HVDC (LCC)	20
 2.7. Σύστημα που βασίζεται σε HVDC-VSC	21 21 22 23 23 25 26 27
2.8. Σύγκριση τεχνολογιών μεταφοράς HVDC	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Περιγραφή προγράμματος προσομοίωσης	31
DigSilent PowerFactory	31
3.1. Γενική περιγραφή	31
3.2. Ανάλυση ροής φορτίου3.2.1. Μέθοδος ροής φορτίου AC	

3.2.2. Μέθοδος ροής φορτίου DC	33
3.3. Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων3.3.1. Μέθοδος IEC 60909/VDE 0102	34 35
3.4. Ανάλυση έκτακτων καταστάσεων	35
3.5. Περιβάλλον χρήστη	37
3.6. Εκτέλεση ροής φορτίου	40
3.7. Εκτέλεση υπολογισμού βραχυκυκλώματος	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ανάλυση και περιγραφή του δικτύου προσομοίωσης	43
 4.1. Περιγραφή των προσομοιώσεων 4.1.1. Ανάλυση ροής φορτίου 4.1.2. Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων 4.1.3. Contingency analysis (Ανάλυση έκτακτης ανάγκης) 4.1.4. Ανάλυση του αντίκτυπου της αύξησης του μήκους μιας διασύνδεσης στο δίκτυο 4.1.5. Ανάλυση του αντίκτυπου της αύξησης του μήκους μιας διασύνδεσης στο δίκτυο 	43 43 43 43 43 43
4.2. Περιγραφή του συστήματος προσομοίωσης4.2.1. Περιγραφή των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν	44 44
4.3. Ανάλυση ροής φορτίου	71
4.4. Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων	78
4.5. Ανάλυση έκτακτης ανάγκης	81
4.6. Ανάλυση του αντίκτυπου της αύξησης του μήκους μιας διασύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Τεχνοοικονομική ανάλυση συστημάτων μεταφοράς ισχύος	. 102
 5.1. Τεχνική ανάλυση 5.2. Οικονομική ανάλυση 5.2.1. Επενδυτικά κόστη	. 102 105 106 109 111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα και προοπτικές	114
6.1. Συμπεράσματα	
6.2. Μελλοντικές έρευνες	.115
Βιβλιογραφία	.116
Κατάλογος Εικόνων	124
Κατάλογος πινάκων	.127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Η εξέλιξη των συστημάτων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της σύγχρονης ηλεκτρικής μηχανικής, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο. Η συζήτηση μεταξύ της χρήσης συστημάτων Εναλλασσόμενου Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVAC) και Συνεχούς Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVDC) για τη μεταφορά ισχύος, ειδικά σε χερσαία δίκτυα διανομής, έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας και ανάπτυξης [1].

Τα συστήματα HVAC αποτελούν τη ραχοκοκαλιά της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας για περισσότερο από έναν αιώνα, κυρίως λόγω της ευκολίας μετασχηματισμού τάσης και της καλά εδραιωμένης υποδομής [2]. Ωστόσο, η έλευση της τεχνολογίας HVDC έφερε μια αλλαγή, προσφέροντας πλεονεκτήματα όσον αφορά τις μειωμένες απώλειες μεταφοράς, τη βελτιωμένη σταθερότητα και τη δυνατότητα σύνδεσης ασύγχρονων δικτύων [3]. Η σημασία των συστημάτων HVDC γίνεται ακόμη πιο έντονη στο πλαίσιο της ενοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ενίσχυσης της μεταφοράς ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις [4].

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος και μετατροπέων έχουν περιορίσει περαιτέρω το χάσμα απόδοσης μεταξύ των συστημάτων HVAC και HVDC, καθιστώντας την επιλογή μεταξύ τους πιο λεπτή και εξαρτώμενη από συγκεκριμένα σενάρια εφαρμογής [5]. Η ενσωμάτωση των συνδέσεων HVDC σε υπάρχοντα δίκτυα HVAC παρουσιάζει ευκαιρίες για βελτιστοποίηση της ροής ισχύος, ενίσχυση της ανθεκτικότητας του δικτύου και διευκόλυνση της μετάβασης προς βιώσιμα ενεργειακά συστήματα [6].

Αυτή η έρευνα στοχεύει να εμβαθύνει στη συγκριτική ανάλυση συστημάτων HVAC και HVDC σε χερσαία δίκτυα μεταφοράς υψηλής τάσης. Αξιοποιώντας το μοντέλο του συστήματος ισχύος, η μελέτη επιδιώκει να προσομοιώσει και να αναλύσει την απόδοση και τη σταθερότητα και των δύο συστημάτων κάτω από διάφορα επιχειρησιακά σενάρια. Ο στόχος είναι να παρέχουμε μια ολοκληρωμένη κατανόηση των σχετικών πλεονεκτημάτων και περιορισμών των συστημάτων HVAC και HVDC, καθοδηγώντας έτσι τις μελλοντικές εξελίξεις στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων ισχύος [7].

1.2. Ορισμός του προβλήματος

Το παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο υφίσταται σημαντικό μετασχηματισμό, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, της ολοκλήρωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ανάγκης για αποδοτικά και βιώσιμα συστήματα μεταφοράς ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, η επιλογή μεταξύ Εναλλασσόμενου Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVAC) και Συνεχούς Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVDC) για χερσαία δίκτυα διανομής γίνεται ένα κρίσιμο σημείο απόφασης στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος ισχύος [8].

Τα συστήματα HVAC, αν και παραδοσιακά κυριαρχούν στη μεταφορά ισχύος, αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως υψηλότερες απώλειες μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις και περιορισμούς στη διασύνδεση του δικτύου, ιδιαίτερα όταν ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [9]. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα HVDC προσφέρουν χαμηλότερες απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις και μεγαλύτερη σταθερότητα δικτύου, αλλά συνοδεύονται από υψηλότερο αρχικό κόστος και πολυπλοκότητα στην τεχνολογία σταθμών μετατροπέων [10]. Η απόφαση μεταξύ HVAC και HVDC περιπλέκεται περαιτέρω από την εξελισσόμενη δυναμική της ζήτησης ενέργειας, τη γεωγραφική κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ανάγκη για ανθεκτικότητα του δικτύου έναντι βλαβών και διαταραχών [11].

Παρά τα πιθανά οφέλη των συστημάτων HVDC, η ενσωμάτωσή τους στα υπάρχοντα δίκτυα HVAC δημιουργεί σημαντικές τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις. Αυτά περιλαμβάνουν την ανάγκη για προηγμένες στρατηγικές ελέγχου, τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και τη βελτιστοποίηση της ροής ισχύος υπό ποικίλες συνθήκες φορτίου [12]. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η κοινωνική αποδοχή των νέων υποδομών μεταφοράς είναι επίσης κρίσιμοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη [13].

Αυτή η έρευνα στοχεύει να αντιμετωπίσει το κενό στην κατανόηση της συγκριτικής απόδοσης των συστημάτων HVAC και HVDC σε χερσαία δίκτυα μεταφοράς υψηλής τάσης. Εστιάζοντας στο μοντέλο του συστήματος ισχύος, η μελέτη επιδιώκει να διερευνήσει την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία και την προσαρμοστικότητα αυτών των συστημάτων σε διάφορα επιχειρησιακά σενάρια, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο στόχος είναι να παρασχεθεί μια λεπτομερής ανάλυση που μπορεί να καθοδηγήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στην επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας μεταφοράς ισχύος για μελλοντικές εξελίξεις του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [14].

1.3. Σκοπός της έρευνας

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι η παροχή μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης συστημάτων Εναλλασσόμενου Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVAC) και Συνεχούς Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVDC) στο πλαίσιο χερσαίων δικτύων μεταφοράς υψηλής τάσης. Αυτή η μελέτη στοχεύει να γεφυρώσει το κενό γνώσης στην κατανόηση των λειτουργικών, τεχνικών και οικονομικών πτυχών αυτών των δύο μεθόδων μεταφοράς, εστιάζοντας στην εφαρμογή τους σε σύγχρονα συστήματα ισχύος.

1.3.1. Τεχνική ανάλυση

• Αξιολόγηση μετρήσεων απόδοσης: Βασικοί δείκτες απόδοσης όπως η απόδοση, οι απώλειες ισχύος, η σταθερότητα της τάσης και η αξιοπιστία θα αξιολογηθούν και για τα δύο συστήματα [15].

• Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην προσαρμοστικότητα των συστημάτων HVAC και HVDC στην ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μια κρίσιμη πτυχή των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας [16].

1.3.2. Οικονομικά και περιβαλλοντικά ζητήματα

• Ανάλυση κόστους-οφέλους: Θα διεξαχθεί μια οικονομική ανάλυση που θα συγκρίνει το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης συστημάτων HVAC και HVDC [17].

 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων: Η έρευνα θα εξετάσει επίσης τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και των δύο συστημάτων μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων των χρήσεων γης, των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και των οπτικών επιπτώσεων [18].

1.3.3. Πρακτικές εφαρμογές και περιορισμοί

• Εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο: Η μελέτη θα διερευνήσει την πρακτικότητα της εφαρμογής αυτών των συστημάτων σε σενάρια πραγματικού κόσμου, λαμβάνοντας υπόψη γεωγραφικούς και τεχνικούς περιορισμούς [19].

• Περιορισμοί και προκλήσεις: Θα εντοπιστούν και θα συζητηθούν πιθανοί περιορισμοί και προκλήσεις στην ανάπτυξη συστημάτων HVAC και HVDC, όπως τεχνολογικά εμπόδια και κανονιστικά ζητήματα [20].

1.3.4. Πολιτική και κανονιστικό πλαίσιο

Ρυθμιστικά ζητήματα: Η έρευνα θα θίξει επίσης τις πολιτικές και τις ρυθμιστικές πτυχές που επηρεάζουν την υιοθέτηση και την εφαρμογή συστημάτων HVAC και HVDC σε δίκτυα ισχύος [21].

Αυτή η έρευνα αναμένεται να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για τους μηχανικούς συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους ενδιαφερόμενους φορείς στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη μελλοντική ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.4. Υπόβαθρο της μελέτης

Η διερεύνηση συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής τάσης (HVAC) και συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) σε χερσαία δίκτυα μεταφοράς είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο του εξελισσόμενου ενεργειακού τοπίου της Ελλάδας. Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας και η δέσμευσή της στις ανανεώσιμες

πηγές ενέργειας καθιστούν τη μελέτη αποδοτικών συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθοριστική για το ενεργειακό της μέλλον.

Ο ενεργειακός τομέας της Ελλάδας έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές, με ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Η γεωγραφική ποικιλομορφία της χώρας, συμπεριλαμβανομένων πολλών νησιών και ορεινών περιοχών, παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις για τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας [22]. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως αιολικής και ηλιακής ενέργειας, απαιτεί ισχυρά και αποτελεσματικά συστήματα μεταφοράς για τη διασφάλιση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας [23].

Το HVAC είναι ο παραδοσιακός τρόπος μεταφοράς ισχύος στην Ελλάδα. Ωστόσο, οι περιορισμοί του HVAC, ειδικά όσον αφορά τη μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις και μέσω θαλάσσιων καναλιών σε νησιά, έχουν οδηγήσει σε αυξημένο ενδιαφέρον για την τεχνολογία HVDC[24]. Το HVDC προσφέρει πιθανά οφέλη για την Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης συνδεσιμότητας μεταξύ της ηπειρωτικής χώρας και των νησιών και την καλύτερη ενοποίηση των κατανεμημένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [25].

Αρκετές πρωτοβουλίες και έργα στην Ελλάδα, όπως η διασύνδεση της Κρήτης με το ηπειρωτικό δίκτυο με χρήση τεχνολογίας HVDC, υπογραμμίζουν την αυξανόμενη σημασία των συστημάτων HVDC στην περιοχή [26]. Αυτά τα έργα παρέχουν πολύτιμες περιπτωσιολογικές μελέτες για την κατανόηση των πρακτικών επιπτώσεων και των πλεονεκτημάτων του HVDC στο ελληνικό πλαίσιο.

Η παρούσα μελέτη στοχεύει να συμβάλει στη συνεχιζόμενη συζήτηση για τη βέλτιστη επιλογή τεχνολογίας μεταφοράς στην Ελλάδα [27]. Αναλύοντας το μοντέλο συστήματος ισχύος προσαρμοσμένο σε σενάρια υψηλής τάσης, η έρευνα θα προσφέρει πληροφορίες για την απόδοση και τη σκοπιμότητα τόσο των συστημάτων HVAC όσο και των συστημάτων HVDC. Τα ευρήματα αναμένεται να ενημερώσουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με την ανάπτυξη υποδομών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην ενίσχυση της σταθερότητας του δικτύου.

1.5. Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διατριβή διαρθρώνεται σε έξι ξεχωριστά κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1: Παρέχει μια εισαγωγή στη σύγκριση συστημάτων μεταφοράς υψηλής τάσης, συγκεκριμένα HVAC (High Voltage Alternating Current) και HVDC (High Voltage Direct Current), εστιάζοντας στις εφαρμογές τους σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Σκιαγραφεί την ανάπτυξη και τη σημασία αυτών των συστημάτων, τονίζοντας τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς και των δύο τεχνολογιών, όπως η αποδοτικότητα, η σταθερότητα και η ενοποίηση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Κεφάλαιο 2: Πραγματοποιεί μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τη μεταφορά συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC), εστιάζοντας στις έννοιες, τις τεχνολογίες και τις εφαρμογές της. Εμβαθύνει σε βάθος στην έννοια της μεταφοράς μετατροπέα πηγής τάσης (VSC)-HVDC, συζητώντας τις αρχές λειτουργίας, τη δομή και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που σχετίζονται με αυτό. Κεφάλαιο 3: Αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος προσομοίωσης όπου θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στον χειρισμό του.

Κεφάλαιο 4: Αναλυτική διαδικασία σχεδιασμού και μοντελοποίησης του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της μαθηματικής εξαγωγής και της συνολικής διαμόρφωσης του υπό εξέταση συστήματος. Περιγραφή επίσης της διαδικασίας επιλογής κατάλληλων τιμών παραμέτρων για τα στοιχεία του συστήματος.

Κεφάλαιο 5: Ανάλυση διαφόρων σεναρίων προσομοίωσης και αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτά.

Κεφάλαιο 6: Συνοψίζει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη και προσφέρει συστάσεις για μελλοντική έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

Κάθε κεφάλαιο έχει σχεδιαστεί για να βασίζεται στις πληροφορίες και τα ευρήματα των προηγούμενων κεφαλαίων, με στόχο την πλήρη κατανόηση του θέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Μεταφορά συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης

2.1. Εισαγωγή

Η μεταφορά συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) αντιπροσωπεύει μια βασική τεχνολογία στη σύγχρονη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά στο πλαίσιο της μεταφοράς ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις και υποβρύχια. Αυτό το κεφάλαιο εισάγει τις θεμελιώδεις έννοιες, την ιστορική εξέλιξη και τις τεχνολογικές εξελίξεις των συστημάτων HVDC.

Η τεχνολογία HVDC έχει εξελιχθεί σημαντικά από την έναρξή της. Η πρώιμη ανάπτυξη των συστημάτων HVDC καθοδηγήθηκε από την ανάγκη για αποτελεσματική μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, ξεπερνώντας τους περιορισμούς που αντιμετωπίζουν τα παραδοσιακά συστήματα Εναλλασσόμενου Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVAC). Διερευνώνται τα ιστορικά ορόσημα και οι τεχνολογικές ανακαλύψεις που έχουν διαμορφώσει την τρέχουσα κατάσταση της μεταφοράς HVDC, παρέχοντας ένα υπόβαθρο για την κατανόηση των σημερινών εφαρμογών και δυνατοτήτων του.

Το κεφάλαιο εμβαθύνει στις τεχνικές πτυχές της μεταφοράς HVDC, εξηγώντας τις βασικές αρχές πίσω από τη λειτουργία της. Εξετάζει τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος HVDC, συμπεριλαμβανομένων των μετατροπέων, των γραμμών μεταφοράς και των μηχανισμών ελέγχου. Οι διαφορές μεταξύ HVDC και HVAC όσον αφορά την απόδοση, την απώλεια ισχύος και την ικανότητα μεταφοράς επισημαίνονται για να υπογραμμιστούν τα πλεονεκτήματα του HVDC σε ορισμένες περιπτώσεις.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία HVDC, όπως η τεχνολογία VSC (Voltage Source Converter) και οι βελτιώσεις σε συσκευές ημιαγωγών, έχουν επεκτείνει τις εφαρμογές και την αποτελεσματικότητά της. Αυτές οι καινοτομίες επέτρεψαν στο HVDC να γίνει πιο προσαρμόσιμο και αξιόπιστο, καθιστώντας το μια προτιμώμενη επιλογή για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βελτίωση της σταθερότητας του δικτύου.

Το κεφάλαιο εξετάζει επίσης τις τρέχουσες εφαρμογές της μεταφοράς HVDC σε διάφορα μέρη του κόσμου, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου της στις διασυνοριακές διασυνδέσεις και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συζητούνται οι πιθανές μελλοντικές εξελίξεις και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει το HVDC σε ένα ταχέως εξελισσόμενο ενεργειακό τοπίο, παρέχοντας πληροφορίες για το ρόλο του στο μέλλον της παγκόσμιας μεταφοράς ενέργειας.

Αυτή η εισαγωγή θέτει τις βάσεις για μια λεπτομερή εξερεύνηση της μεταφοράς HVDC, θέτοντας τις βάσεις για την κατανόηση του κρίσιμου ρόλου της στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και των δυνατοτήτων της να διαμορφώσει το μέλλον της διανομής ενέργειας.

2.2. Κλασικό σύστημα τεχνολογίας HVDC (LCC)

Η κλασική τεχνολογία συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC), που συχνά αναφέρεται ως Μετατροπέας Μεταγωγής Γραμμής (LCC) HVDC, αποτελεί

ακρογωνιαίο λίθο στον τομέα της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας για αρκετές δεκαετίες. Αυτή η ενότητα εμβαθύνει στα εξαρτήματα, τη λειτουργία και τις εφαρμογές των κλασικών συστημάτων HVDC.

2.2.1. Εξαρτήματα και λειτουργία

Μετατροπείς: Η καρδιά του κλασικού συστήματος HVDC είναι ο μετατροπέας, ο οποίος χρησιμοποιεί συνήθως τεχνολογία που βασίζεται σε θυρίστορ. Αυτοί οι μετατροπείς είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή AC σε DC και αντίστροφα [28].

Βαλβίδες θυρίστορ: Οι βαλβίδες θυρίστορ, βασικό συστατικό στο LCC HVDC, ελέγχουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας και είναι ζωτικής σημασίας για τη διαδικασία μετατροπής. Οι αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας τους είναι θεμελιώδεις για την αποτελεσματικότητα των συστημάτων HVDC [29].

Συστήματα ελέγχου και προστασίας: Τα συστήματα ελέγχου στο κλασικό HVDC έχουν σχεδιαστεί για να διαχειρίζονται τη ροή ισχύος, διασφαλίζοντας σταθερότητα και αποτελεσματικότητα. Τα συστήματα προστασίας είναι εξίσου σημαντικά για την προστασία του συστήματος από σφάλματα και διακυμάνσεις [30].

2.2.2. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί

Μεταφορά υψηλής ισχύος: Τα κλασικά συστήματα HVDC είναι ικανά να μεταδίδουν μεγάλες ποσότητες ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις με μικρότερες απώλειες σε σύγκριση με τα συστήματα HVAC, καθιστώντας τα ιδανικά για ορισμένες εφαρμογές [31].

Περιορισμοί: Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα κλασικά συστήματα HVDC έχουν περιορισμούς, ιδιαίτερα όσον αφορά τη λειτουργική ευελιξία τους και την ανάγκη για πολύπλοκους σταθμούς μετατροπέων και στα δύο άκρα της γραμμής μεταφοράς [32].

2.2.3. Εφαρμογές

Μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις: Τα κλασικά συστήματα HVDC (LCC) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, ειδικά σε σενάρια όπου απαιτούνται υποβρύχια ή υπόγεια καλώδια [33].

Διασύνδεση ασύγχρονων δικτύων: Παίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στη σύνδεση ασύγχρονων δικτύων ενέργειας, επιτρέποντας την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ διαφορετικών περιοχών ή χωρών [34].

2.2.4. Πρόσφατες εξελίξεις

Τεχνολογικές βελτιώσεις: Οι πρόσφατες τεχνολογικές βελτιώσεις στην τεχνολογία θυρίστορ και τα συστήματα ελέγχου έχουν βελτιώσει την απόδοση και την αξιοπιστία των κλασικών συστημάτων HVDC [35].

Περιβαλλοντικός αντίκτυπος: Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος αυτών των συστημάτων, ιδίως όσον αφορά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τη χρήση γης, έχει αποτελέσει αντικείμενο συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης [36].



Εικόνα 1 Στοιχεία συστήματος HVDC[34]

2.3. Κλασική διαμόρφωση συστήματος HVDC (LCC)

Οι κλασικές διαμορφώσεις συστημάτων HVDC αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για την κατανόηση της λειτουργίας και των εφαρμογών τους στη μεταφορά ισχύος. Η διαμόρφωση ενός κλασικού συστήματος HVDC συνήθως περιλαμβάνει πολλά βασικά στοιχεία και ρυθμίσεις, καθένα από τα οποία παίζει ζωτικό ρόλο στη συνολική λειτουργικότητα και αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Τα βασικά στοιχεία ενός κλασικού συστήματος HVDC περιλαμβάνουν σταθμούς μετατροπέα τόσο στο άκρο αναχώρησεης όσο και στο άκρο λήψης, τις γραμμές μεταφοράς και τα ηλεκτρόδια γείωσης(Εικόνα 1). Οι σταθμοί μετατροπέων είναι εξοπλισμένοι με μετατροπείς με μεταγωγή γραμμής (LCC), οι οποίοι χρησιμοποιούν θυρίστορ ως κύριο στοιχείο μεταγωγής [37]. Αυτοί οι μετατροπείς είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα για μεταφορά και στη συνέχεια πίσω σε εναλλασσόμενο ρεύμα στο άκρο άφιξης. Η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία αυτών των μετατροπέων είναι κρίσιμες για τη συνολική απόδοση του συστήματος HVDC (Εικόνα 2) [38].

Οι γραμμές μεταφοράς στα κλασικά συστήματα HVDC μπορούν να είναι είτε εναέριες γραμμές είτε υποβρύχια/υπόγεια καλώδια. Η επιλογή μεταξύ αυτών των επιλογών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η απόσταση μεταφοράς, οι γεωγραφικές προκλήσεις και οι εκτιμήσεις κόστους. Οι εναέριες γραμμές προτιμώνται γενικά για μεγάλες αποστάσεις λόγω χαμηλότερου κόστους και ευκολότερης συντήρησης, ενώ τα υποθαλάσσια ή υπόγεια καλώδια χρησιμοποιούνται σε περίπτωση μεσολάβησης θάλασσας ή αστικού περιβάλλοντος όπου οι εναέριες γραμμές δεν είναι εφικτές [39].

Μια άλλη βασική πτυχή της κλασικής διαμόρφωσης συστήματος HVDC είναι το σύστημα ηλεκτροδίων γείωσης. Αυτό το σύστημα είναι ζωτικής σημασίας για την ασφαλή και σταθερή λειτουργία των συνδέσεων HVDC, ειδικά σε μονοπολικές διαμορφώσεις όπου η διαδρομή επιστροφής του ρεύματος είναι μέσω της γης ή της θάλασσας. Ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων γείωσης είναι σημαντικές για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη διασφάλιση της ασφάλειας του συστήματος [40].



Εικόνα 2 Διαμόρφωση HVDC και τρόποι λειτουργίας.

Τα συστήματα ελέγχου και προστασίας στις κλασικές διαμορφώσεις HVDC είναι εξελιγμένα, διασφαλίζοντας τη σταθερότητα της μεταφοράς ισχύος και προστατεύοντας το σύστημα από βλάβες και διακυμάνσεις. Αυτά τα συστήματα εξελίσσονται συνεχώς με την πρόδο της τεχνολογίας, προσφέροντας βελτιωμένη απόδοση και αξιοπιστία [41].

Συνοψίζοντας, η κλασική διαμόρφωση του συστήματος HVDC, με τα διάφορα εξαρτήματά του και τις ρυθμίσεις, παίζει καθοριστικό ρόλο στην ικανότητά του να μεταφέρει αποτελεσματικά την ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις. Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία και τα υλικά ενισχύουν περαιτέρω τις δυνατότητες και τις εφαρμογές αυτών των συστημάτων στα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας [42].

2.4. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HVDC (LCC)

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των κλασικών συστημάτων HVDC είναι η ικανότητά τους να μεταφέρουν ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις με σημαντικά μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες. Αυτή η απόδοση είναι ιδιαίτερα επωφελής για τη σύνδεση απομακρυσμένων τοποθεσιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως τα υπεράκτια αιολικά πάρκα, με τα κύρια δίκτυα [43]. Τα συστήματα HVDC επιτρέπουν επίσης τη μεταφορά ισχύος σε μακρά υποθαλάσσια καλώδια όπου τα συστήματα HVAC δεν είναι εφικτά λόγω της υψηλής χωρητικότητας των μεγάλου μήκους καλωδίων [44].

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων HVDC είναι η δυνατότητα σύνδεσης δύο διαφορετικών συστημάτων ισχύος που δεν είναι συγχρονισμένα. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ζωτικής σημασίας για την ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ χωρών ή περιοχών που λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες ή δεν είναι συγχρονισμένες για άλλους λόγους [45].

Τα συστήματα HVDC προσφέρουν επίσης καλύτερο έλεγχο της ροής ισχύος, γεγονός που ενισχύει τη σταθερότητα του συνολικού συστήματος ισχύος. Αυτός ο έλεγχος είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε σενάρια όπου απαιτούνται γρήγορες αλλαγές στη ροή ισχύος, όπως σε συστήματα με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [46].

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ένας άλλος τομέας όπου τα συστήματα HVDC έχουν πλεονέκτημα. Συνήθως απαιτούν λιγότερες γραμμές μεταφοράς από ισοδύναμα συστήματα HVAC, με αποτέλεσμα μειωμένη οπτική επίδραση και μικρότερη χρήση γης. Αυτή η πτυχή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές ή σε πυκνοκατοικημένες περιοχές [47].

Επιπλέον, τα συστήματα HVDC μπορεί να είναι πιο οικονομικά από τα συστήματα HVAC για συγκεκριμένες εφαρμογές, ειδικά όταν λαμβάνεται υπόψη το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος λόγω μειωμένων απωλειών ισχύος και απαιτήσεων συντήρησης κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος [48].

Εν γένει, τα κλασικά συστήματα HVDC προσφέρουν ξεχωριστά πλεονεκτήματα όσον αφορά την απόδοση, την ευελιξία, τον έλεγχο, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την οικονομική απόδοση, καθιστώντας τα μια πολύτιμη επιλογή στα σύγχρονα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

2.5. Εφαρμογές της τεχνολογίας HVDC (LCC)

Τα κλασικά συστήματα συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC), που χαρακτηρίζονται από τη χρήση μετατροπέων μεταγωγής γραμμής (LCC), παρουσιάζουν αρκετά ευδιάκριτα πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών συστημάτων Εναλλασσόμενου Ρεύματος Υψηλής Τάσης (HVAC), ειδικά σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπως σε μεγάλες αποστάσεις και υποβρύχια μεταφορά ισχύος.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των κλασικών συστημάτων HVDC είναι η ανώτερη απόδοσή τους στη μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις. Τα συστήματα HVDC παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερες απώλειες ισχύος σε σύγκριση με τα συστήματα HVAC, καθιστώντας τα ιδανικά για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε τεράστιες αποστάσεις [49]. Αυτή η απόδοση είναι ιδιαίτερα επωφελής για τη σύνδεση απομακρυσμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως υπεράκτια αιολικά πάρκα, με κύρια δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων HVDC είναι η ικανότητά τους να διασυνδέουν ασύγχρονα δίκτυα ισχύος. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει τη μεταφορά ισχύος μεταξύ διαφορετικών περιοχών ή χωρών που λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες ή δεν είναι συγχρονισμένες, διευκολύνοντας το διεθνές εμπόριο ενέργειας και ενισχύοντας τη σταθερότητα του δικτύου [50].

Τα συστήματα HVDC παρέχουν επίσης ενισχυμένο έλεγχο της ροής ισχύος, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας στα σύγχρονα συστήματα ισχύος με υψηλή διείσδυση διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτός ο έλεγχος βοηθά στη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου και στην αποτελεσματική διαχείριση των δυναμικών απαιτήσεων ισχύος [51]. Από περιβαλλοντική άποψη, τα συστήματα HVDC έχουν μικρότερο αποτύπωμα. Συνήθως απαιτούν λιγότερες γραμμές μεταφοράς από τα συστήματα HVAC, οδηγώντας σε μειωμένη χρήση γης και μικρότερο οπτικό αντίκτυπο. Αυτή η πτυχή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές ή σε πυκνοκατοικημένες περιοχές [52].

Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας είναι ένας άλλος τομέας όπου τα συστήματα HVDC υπερέχουν. Αν και η αρχική επένδυση μπορεί να είναι υψηλότερη από τα συστήματα HVAC, το λειτουργικό κόστος του HVDC, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών συντήρησης και ισχύος, είναι γενικά χαμηλότερο κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Αυτό καθιστά το HVDC μια οικονομικά αποδοτική λύση για συγκεκριμένες εφαρμογές, ιδιαίτερα σε μεγάλες αποστάσεις και υποβρύχιες μεταδόσεις [53].

2.6. Εμπορική ανάπτυξη της τεχνολογίας HVDC (LCC)

Η εμπορική ανάπτυξη της κλασικής τεχνολογίας συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των σύγχρονων συστημάτων μεταφοράς ισχύος. Αυτή η εξέλιξη οφείλεται στην ανάγκη για αποδοτικά, αξιόπιστα και οικονομικά μέσα για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις και σε διάφορα εδάφη.

Η έναρξη της κλασικής τεχνολογίας HVDC χρονολογείται από τα μέσα του 20ου αιώνα, με το πρώτο εμπορικό έργο μεταφοράς HVDC που τέθηκε σε λειτουργία τη δεκαετία του 1950. Αυτό το έργο κατέδειξε τη σκοπιμότητα και τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HVDC για μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, θέτοντας το έδαφος για περαιτέρω εξελίξεις [54]. Έκτοτε, έχει σημειωθεί μια σταθερή αύξηση στην υιοθέτηση συστημάτων HVDC παγκοσμίως, λόγω των εξελίξεων στην τεχνολογία και των αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων.

Ένας από τους βασικούς παράγοντες στην εμπορική ανάπτυξη του HVDC ήταν η πρόοδος στην τεχνολογία μετατροπέων. Η εξέλιξη από βαλβίδες τόξου υδραργύρου σε μετατροπείς με βάση το θυρίστορ σηματοδότησε ένα σημαντικό ορόσημο, προσφέροντας βελτιωμένη απόδοση, αξιοπιστία και έλεγχο στα συστήματα HVDC [55]. Αυτή η τεχνολογική αλλαγή επέτρεψε την υλοποίηση πιο περίπλοκων και υψηλότερης χωρητικότητας έργων μεταφοράς HVDC.

Η αυξανόμενη ζήτηση για ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ώθησε περαιτέρω την εμπορική ανάπτυξη συστημάτων HVDC. Η τεχνολογία HVDC είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τη σύνδεση απομακρυσμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως υπεράκτια αιολικά πάρκα, με κύρια δίκτυα ενέργειας, διευκολύνοντας έτσι τη μετάβαση σε συστήματα βιώσιμης ενέργειας [56].

Εκτός από τις τεχνολογικές εξελίξεις, οικονομικοί παράγοντες έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην εμπορευματοποίηση του HVDC. Η σχέση κόστουςαποτελεσματικότητας των συστημάτων HVDC, ειδικά για μεγάλες αποστάσεις και υποβρύχιες μεταδόσεις, τα έχει κάνει μια προτιμώμενη επιλογή σε πολλά έργα μεταφοράς ισχύος μεγάλης κλίμακας [57]. Η ικανότητα μεταφοράς ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις έχει καταστήσει το HVDC μια οικονομικά βιώσιμη λύση για πολλές χώρες που θέλουν να βελτιώσουν την υποδομή ισχύος τους. Η εμπορική ανάπτυξη του HVDC έχει επίσης επηρεαστεί από τα πολιτικά και ρυθμιστικά πλαίσια. Οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς φορείς αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο τα οφέλη των συστημάτων HVDC, οδηγώντας σε υποστηρικτικές πολιτικές και επενδύσεις στην υποδομή HVDC [58]. Αυτή η υποστήριξη ήταν ζωτικής σημασίας για την υπέρβαση των αρχικών φραγμών και την προώθηση της ευρύτερης υιοθέτησης της τεχνολογίας HVDC.



Εικόνα 3 HVDC LCC τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση της Δανίας και της Γερμανίας

2.7. Σύστημα που βασίζεται σε HVDC-VSC

2.7.1. Εισαγωγή

Τα συστήματα συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) που βασίζονται σε Μετατροπέα Πηγής Τάσης (VSC) αντιπροσωπεύουν σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία HVDC, προσφέροντας βελτιωμένες δυνατότητες και ευελιξία σε σύγκριση με τα κλασικά συστήματα HVDC. Η εισαγωγή του VSC-HVDC άνοιξε νέες δυνατότητες στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη βελτίωση της σταθερότητας του δικτύου.

Η τεχνολογία VSC-HVDC χρησιμοποιεί μετατροπείς ισχύος στερεάς κατάστασης που μπορούν να μετατρέψουν αποτελεσματικά AC σε DC και αντίστροφα. Σε αντίθεση με τους μετατροπείς με μεταγωγή γραμμής που χρησιμοποιούνται στα κλασικά HVDC, τα VSC δεν βασίζονται στο σύστημα εναλλαγής, επιτρέποντας τον ανεξάρτητο έλεγχο της ενεργού και άεργου ισχύος [59]. Αυτό το χαρακτηριστικό παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την υποστήριξη και τη σταθερότητα του δικτύου.

Μία από τις βασικές εφαρμογές του VSC-HVDC είναι η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ικανότητα του VSC-HVDC να συνδέει απομακρυσμένες τοποθεσίες παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως υπεράκτια αιολικά πάρκα, με το κύριο δίκτυο είναι ιδιαίτερα πολύτιμη. Αυτή η τεχνολογία διευκολύνει την αποτελεσματική μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις και μέσα από δύσκολα εδάφη [60].

Τα συστήματα VSC-HVDC προσφέρουν επίσης βελτιωμένη σταθερότητα και αξιοπιστία δικτύου. Μπορούν να παρέχουν δυναμική υποστήριξη άεργου ισχύος, βελτιώνοντας τη σταθερότητα της τάσης στο δίκτυο. Επιπλέον, τα συστήματα VSC-HVDC έχουν την δυνατότητα επανεκκίνησης δικτύου σε περίπτωση ολικής απώλειας του, απαραίτητη για την αποκατάσταση της ισχύος σε περίπτωση διακοπής ρεύματος [61].

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας VSC-HVDC έχει οδηγηθεί από τις εξελίξεις στις συσκευές ημιαγωγών, ιδιαίτερα στα διπολικά τρανζίστορ με μόνωση πύλης (IGBT). Αυτές οι συσκευές επέτρεψαν την κατασκευή πιο συμπαγών, αποδοτικών και ευέλικτων μετατροπέων HVDC [62].

Επιπλέον, τα συστήματα VSC-HVDC έχουν μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σύγκριση με τα κλασικά συστήματα HVDC. Απαιτούν λιγότερο χώρο για σταθμούς μετατροπέων καθώς δεν χρειάζονται φίλτρα αρμονικών.[63].

2.7.2. Περιγραφή συστήματος

Το σύστημα συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) που βασίζεται σε μετατροπέα πηγής τάσης (VSC) χαρακτηρίζεται από τη χρήση μετατροπέων στερεάς κατάστασης για τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα και αντίστροφα. Αυτό το σύστημα διαφέρει θεμελιωδώς από το κλασικό σύστημα HVDC ως προς τον λειτουργικό μηχανισμό και τις δυνατότητες ελέγχου του (Εικόνα 4).

Ένα τυπικό σύστημα VSC-HVDC περιλαμβάνει δύο σταθμούς μετατροπέων που συνδέονται με ένα καλώδιο DC. Κάθε σταθμός μετατροπέα περιλαμβάνει ένα VSC, μετασχηματιστές και φίλτρα. Τα VSC κατασκευάζονται συνήθως χρησιμοποιώντας διπολικά τρανζίστορ με μόνωση πύλης (IGBT) ή παρόμοιες συσκευές ημιαγωγών[64].

Η μαθηματική διατύπωση ενός συστήματος VSC-HVDC περιλαμβάνει κυρίως την αναπαράσταση του VSC. Το VSC μπορεί να μοντελοποιηθεί ως πηγή τάσης πίσω από μια αντίδραση. Η πηγή τάσης αντιπροσωπεύει την ικανότητα του μετατροπέα να παράγει μια ελεγχόμενη τάση AC, τόσο σε μέγεθος, όσο και σε γωνία φάσης, από την πλευρά DC.

Η βασική εξίσωση για την παραγωγή πλευρικής τάσης AC (VAC) σε ένα VSC δίνεται από:

 $V_{C1} = V_{DC} * \sqrt{2} * \cos(\varphi)$

όπου $V_{\rm DC}$ είναι η τάση σύνδεσης DC και φ
 είναι η γωνία φάσης της τάσης AC σε σχέση με την τάση δικτύου.

Η ροή ισχύος σε ένα σύστημα VSC-HVDC μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα για ενεργό (P) και άεργο (Q) ισχύ. Η ροή ενεργού ισχύος δίνεται από:

$$P = \frac{V_{DC} * V_{C1} * \sin(\delta_1)}{X}$$

όπου δ₁ είναι η διαφορά γωνίας μεταξύ του συστήματος AC και της εξόδου του VSC, και X είναι η αντίδραση του συστήματος AC.

Η άεργος ισχύς (Q) που παράγεται ή απορροφάται από το VSC μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα από την ενεργό ισχύ και δίνεται από:

$$Q = \frac{V_{C1} * (V_{C1} - V_{DC} * \cos(\delta_1))}{X}$$

Αυτές οι εξισώσεις υπογραμμίζουν την ικανότητα των συστημάτων VSC-HVDC να ελέγχουν δυναμικά τη ροή ισχύος, κάτι που είναι κρίσιμο για εφαρμογές όπως η υποστήριξη δικτύου και η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [66].

Η ευελιξία και οι δυνατότητες ελέγχου του συστήματος VSC-HVDC το καθιστούν κατάλληλο για ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, των διασυνδέσεων με το δίκτυο και της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



2.7.3. Μετατροπείς VSC

Η τεχνολογία VSC (Voltage Source Converter) στα συστήματα HVDC έχει εξελιχθεί ώστε να περιλαμβάνει διάφορους με εναλλαγή της εξόδου μεταξύ δύο επιπέδων, συνήθως το θετικό και το αρνητικό της τάσης τροφοδοσίας DC. Η κύρια μαθηματική αναπαράσταση ενός μετατροπέα δύο επιπέδων περιλαμβάνει τον δείκτη διαμόρφωσης (m), ο οποίος ελέγχει το μέγεθος της τάσης εξόδου(Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.). Η τάση εξόδου (V_{out}) ενός μετατροπέα δύο επιπέδων μπορεί να εκφραστεί ως:

 $V_{out} = m \times V_{DC}$

όπου V_{DC} είναι η τάση σύνδεσης DC και m είναι ο δείκτης διαμόρφωσης, που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1 [66].

Μετατροπέας δύο επιπέδων:

Ο μετατροπέας δύο επιπέδων VSC (Μετατροπέας Πηγής Τάσης) χρησιμοποιεί διακόπτες (όπως IGBTs) για να διαμορφώσει δύο επίπεδα τάσης εξόδου - θετική και αρνητική τάση, επιτρέποντας τη μετατροπή συνεχούς (DC) σε εναλλασσόμενη τάση (AC). Ο τρόπος λειτουργίας είναι να ελέγχει το άνοιγμα και το κλείσιμο των διακοπτών, έτσι ώστε να αλλάζει την έξοδο μεταξύ της θετικής και της αρνητικής τάσης του συνδέσμου DC, δημιουργώντας έτσι μια σχεδόν ημιτονοειδή κυματομορφή.

Με τη χρήση τεχνολογίας Pulse Width Modulation (PWM), ο μετατροπέας μπορεί να ρυθμίζει το χρόνο που οι διακόπτες παραμένουν ανοιχτοί ή κλειστοί, για να σχηματίσει μια εναλλασσόμενη τάση εξόδου που προσομοιάζει ένα ημίτονο, όπως απαιτείται σε πολλά συστήματα AC (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 Μετατροπέας δύο επιπέδων[68]

Μετατροπείς πολλαπλών επιπέδων:

Αυτό το διάγραμμα δείχνει έναν τύπο μετατροπέα γνωστό ως πολυεπίπεδο Μετατροπέα Πηγής Τάσης (VSC), που χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC) για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργεί σε διαφορετικά επίπεδα, γεγονός που βοηθά στη δημιουργία ομαλότερης τάσης και στη μείωση του ηλεκτρικού θορύβου, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της ισχύος. Κάθε μέρος του μετατροπέα διατηρεί τη δική του τάση, επιτρέποντας στο σύστημα να ανταποκρίνεται με ευελιξία στις μεταβαλλόμενες ανάγκες ισχύος. Η αρθρωτή του κατασκευή, αποτελούμενη από μικρότερες μονάδες που συνεργάζονται, εξασφαλίζει ότι αν μία μονάδα αντιμετωπίσει πρόβλημα, οι υπόλοιπες μπορούν να συνεχίσουν να λειτουργούν, κάνοντας το σύστημα πιο αξιόπιστο. Ρυθμίζοντας τον τρόπο λειτουργίας του ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος, ο μετατροπέας μπορεί να διαχειριστεί μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας με ελάχιστες απώλειες, καθιστώντας τον αποδοτικό και κατάλληλο για εφαρμογές HVDC. Αυτοί οι διαφορετικοί τύποι μετατροπέων VSC διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ευελιξία και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων HVDC, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλής ποιότητας απόδοση ισχύος και αποτελεσματική λειτουργία υπό διαφορετικές συνθήκες φορτίου.



Εικόνα 6 Σχηματικό διάγραμμα μετατροπέα πολλαπλών επιπέδων.

2.7.4. Τεχνολογία PWM

Η τεχνολογία Pulse Width Modulation (PWM) είναι μια κρίσιμη πτυχή των συστημάτων HVDC που βασίζονται σε Μετατροπέα Πηγής Τάσης (VSC), που παίζει καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο της τάσης εξόδου και των κυματομορφών ρεύματος. Το PWM περιλαμβάνει τη διαμόρφωση του πλάτους των παλμών σε μια περιοδική κυματομορφή για τον έλεγχο της ισχύος που παρέχεται στο φορτίο.

Στα συστήματα VSC-HVDC, το PWM χρησιμοποιείται για τη σύνθεση μιας επιθυμητής κυματομορφής τάσης από την παροχή DC. Αυτό επιτυγχάνεται με την εναλλαγή των IGBT ή παρόμοιων συσκευών ημιαγωγών στον μετατροπέα σε υψηλές συχνότητες. Η προκύπτουσα κυματομορφή τάσης εξόδου είναι μια προσέγγιση μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής, η οποία μπορεί να ελεγχθεί τόσο σε πλάτος όσο και σε φάση.

Η θεμελιώδης αρχή του PWM στα συστήματα VSC-HVDC μπορεί να περιγράφει από τον κύκλο λειτουργίας (D), ο οποίος είναι ο λόγος του πλάτους παλμού (Ton) προς τη συνολική περίοδο της κυματομορφής (T):

$$D = \frac{T_{on}}{T}$$

1

Η μέση τάση εξόδου (Vavg) του μετατροπέα μπορεί να ελεγχθεί ρυθμίζοντας τον κύκλο λειτουργίας και δίνεται από:

$$V_{avq} = \mathbf{D} \times V_{DC}$$

όπου V_{DC} είναι η τάση σύνδεσης DC.

Το PWM επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της τάσης εξόδου, επιτρέποντας στα συστήματα VSC-HVDC να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τη ροή ισχύος, να μειώνουν την αρμονική παραμόρφωση και να βελτιώνουν τη συνολική απόδοση και αξιοπιστία της μεταφοράς ισχύος [69]. Επιπλέον, οι τεχνικές PWM είναι απαραίτητες για τον δυναμικό έλεγχο του συστήματος, όπως σε εφαρμογές υποστήριξης δικτύου και ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Προηγμένες τεχνικές PWM, όπως το διανυσματικό PWM χώρου και το PWM που βασίζεται σε φορέα, έχουν αναπτυχθεί για την περαιτέρω βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων VSC-HVDC. Αυτές οι τεχνικές στοχεύουν στη μείωση των απωλειών μεταγωγής, στην ελαχιστοποίηση της αρμονικής παραμόρφωσης και στη βελτίωση της δυναμικής απόκρισης του συστήματος [70].

2.7.5. Έλεγχος συστημάτων VSC-HVDC

Τα συστήματα ελέγχου σε συστήματα συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) που βασίζονται σε μετατροπέα πηγής τάσης (VSC) είναι αναπόσπαστα για τη διασφάλιση αποτελεσματικής και αξιόπιστης λειτουργίας. Οι στρατηγικές ελέγχου στα συστήματα VSC-HVDC έχουν σχεδιαστεί για τη διαχείριση της ροής ισχύος, τη διατήρηση της σταθερότητας του συστήματος και την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι κύριοι στόχοι ελέγχου στα συστήματα VSC-HVDC περιλαμβάνουν ανεξάρτητο έλεγχο ενεργού και άεργου ισχύος, ρύθμιση τάσης και σταθεροποίηση συχνότητας. Αυτοί οι στόχοι επιτυγχάνονται μέσω ενός συνδυασμού εσωτερικών και εξωτερικών βρόχων ελέγχου.

Βρόχος εσωτερικού ελέγχου:

Ο εσωτερικός βρόχος ελέγχου είναι υπεύθυνος για τη γρήγορη δυναμική απόκριση του μετατροπέα. Τυπικά περιλαμβάνει βρόχους ελέγχου ρεύματος τόσο για τις συνιστώσες συνεχούς (d) όσο και τετραγωνισμού (q) του ρεύματος. Ο έλεγχος ρεύματος άξονα d χρησιμοποιείται για έλεγχο ενεργού ισχύος, ενώ ο έλεγχος ρεύματος άξονα q διαχειρίζεται την άεργο ισχύ. Οι εξισώσεις ελέγχου για τον εσωτερικό βρόχο μπορούν να εκφραστούν ως:

$$i_{d,ref} = \frac{P_{ref}}{V_{dc}}$$
$$i_{q,ref} = \frac{Q_{ref}}{V_{dc}}$$

όπου id,ref και iq,ref είναι τα στοιχεία ρεύματος αναφοράς για τον έλεγχο ενεργού και αέργου ισχύος, Pref και Qref είναι η ενεργή και άεργου ισχύς αναφοράς και Vdc είναι η τάση ζεύξης DC.[71]

Εξωτερικός βρόχος ελέγχου:

Ο εξωτερικός βρόχος ελέγχου έχει σχεδιαστεί για πιο αργή δυναμική του συστήματος και περιλαμβάνει έλεγχο τάσης και συχνότητας. Ο έλεγχος τάσης επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της αναφοράς άεργου ισχύος, ενώ ο έλεγχος συχνότητας περιλαμβάνει την τροποποίηση της αναφοράς ενεργού ισχύος. Αυτό εξασφαλίζει σταθερή λειτουργία κάτω από διαφορετικές συνθήκες φορτίου και διευκολύνει την ενσωμάτωση με το δίκτυο AC [72].

Προηγμένες στρατηγικές ελέγχου, όπως ο προγνωστικός έλεγχος μοντέλων και ο προσαρμοστικός έλεγχος, έχουν αναπτυχθεί για τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων VSC-HVDC. Αυτές οι στρατηγικές λαμβάνουν υπόψη τις μη γραμμικότητες και τις αβεβαιότητες του συστήματος, παρέχοντας ισχυρό και αποτελεσματικό έλεγχο κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας [73].



Εικόνα 7 HVDC VSC τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε στη νοτιοδυτική Ινδία για την πραγματοποίηση της ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ του Pugalur στη νότια πολιτεία του Tamil Nadu και του Trichur στην πολιτεία της Κεράλα.

2.7.6. Καλώδια HVDC

Τα καλώδια HVDC παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μεταφορά συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι ειδικά σχεδιασμένα για να χειρίζονται τις μοναδικές προκλήσεις που σχετίζονται με τη μεταφορά HVDC, όπως η μόνωση, η θερμική διαχείριση και οι ηλεκτρικές απώλειες.

Τύποι καλωδίων ΗVDC:

Υπάρχουν κυρίως δύο τύποι καλωδίων HVDC: οι εναέριες γραμμές και τα υπόγεια/υποβρύχια καλώδια(Εικόνα 8). Οι εναέριες γραμμές χρησιμοποιούνται συνήθως για μεταφορά μεγάλων αποστάσεων λόγω του χαμηλότερου κόστους και της ευκολότερης συντήρησης. Τα υπόγεια και τα υποβρύχια καλώδια, όπως τα καλώδια διασυνδεδεμένου πολυαιθυλενίου (XLPE), χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές όπως υποθαλάσσιες διαβάσεις ή αστικές περιοχές όπου δεν είναι εφικτές οι εναέριες γραμμές.



Εικόνα 8 Υποβρύχιο καλώδιο HVDC [74]

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά:

Ο σχεδιασμός των καλωδίων HVDC επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση των ηλεκτρικών απωλειών και στην εξασφάλιση αποτελεσματικής μεταφοράς ισχύος. Η αντίσταση του καλωδίου είναι ένας βασικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζεται από το υλικό του αγωγού (συνήθως χαλκό ή αλουμίνιο) και την επιφάνεια της διατομής. Η χωρητικότητα και η επαγωγή του καλωδίου παίζουν επίσης ρόλο στην απόδοσή του, ειδικά όσον αφορά την πτώση τάσης και τη σταθερότητα [75].

Θερμική Διαχείριση:

Η θερμική διαχείριση των καλωδίων HVDC είναι κρίσιμη, καθώς η θερμότητα που παράγεται λόγω ηλεκτρικών απωλειών πρέπει να διαχέεται αποτελεσματικά για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση και η υποβάθμιση της μόνωσης του καλωδίου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για υπόγεια και υποθαλάσσια καλώδια, όπου οι επιλογές ψύξης είναι περιορισμένες. Χρησιμοποιούνται προηγμένα υλικά και σχέδια για τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης αυτών των καλωδίων [76].

Μόνωση και διηλεκτρική αντοχή:

Η μόνωση είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή του σχεδιασμού των καλωδίων HVDC. Η μόνωση πρέπει να αντέχει σε υψηλές τάσεις και να αποτρέπει τυχούσα διαρροή ρεύματος. Υλικά όπως το XLPE χρησιμοποιούνται συνήθως λόγω της υψηλής διηλεκτρικής αντοχής και αξιοπιστίας τους. Το πάχος και η ποιότητα της μόνωσης είναι βασικοί παράγοντες για τον καθορισμό της απόδοσης και της διάρκειας ζωής του καλωδίου [77].

2.8. Σύγκριση τεχνολογιών μεταφοράς ΗVDC

Η σύγκριση των τεχνολογιών HVDC LCC και VSC-HVDC. Αυτές οι δύο τεχνολογίες διαφέρουν σε πολλές βασικές πτυχές, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας μετατροπέα, της πολυπλοκότητας του ελέγχου, των δυνατοτήτων ολοκλήρωσης δικτύου και της καταλληλόλητας εφαρμογών Πίνακας 1).

Παράγοντας	LCC-HVDC	VSC-HVDC
Τεχνολογία Μετατροπέα	Μετατροπείς Επαγωγικής Επικοινωνίας (LCC)	Μετατροπείς Πηγής Τάσης (VSC)
Πολυπλοκότητα Ελέγχου	Σχετικά απλός έλεγχος	Πιο περίπλοκος έλεγχος λόγω ελέγχου ενεργού/άεργου ισχύος
Ενσωμάτωση στο Δίκτυο	Απαιτεί ισχυρά ΑC συστήματα για άεργο ισχύ	Μπορεί να συνδεθεί με ασθενέστερα ΑC συστήματα
Ευελιξία	Λιγότερο ευέλικτο σε ό,τι αφορά τον έλεγχο άεργο ισχύος	Υψηλή ευελιξία στη διαχείριση άεργου ισχύος
Εφαρμογή	Κατάλληλο για μεταφορά μεγάλων αποστάσεων	Καλύτερο για πολυ- τερματικά συστήματα
Κόστος	Γενικά χαμηλότερο κόστος	Υψηλότερο κόστος λόγω προηγμένης τεχνολογίας
Απώλειες	Χαμηλότερες απώλειες σε υψηλά επίπεδα ισχύος	Υψηλότερες απώλειες σε υψηλά επίπεδα ισχύος
Ενσωμάτωση ΑΠΕ	Λιγότερο κατάλληλο για ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών	Ιδιαίτερα κατάλληλο για ενσωμάτωση ανανεώσιμων

Πίνακας 1 . Σύγκριση HVDC-LCCκαι HVDC-VSC

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Περιγραφή προγράμματος προσομοίωσης

DigSilent PowerFactory

3.1. Γενική περιγραφή

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PowerFactory Digsilent έκδοση15.1.6 για την προσομοίωση συστημάτων μεταφοράς ενέργειας υπερυψηλής τάσης (HVDC και HVAC). Με τη χρήση του λογισμικού έγιναν οι απαραίτητες δοκιμές και μετρήσεις ροής φορτίου, απωλειών και ευστάθειας του συστήματος.

Για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ανάλυσης ισχύος διαφόρων συστημάτων, το PowerFactory σχεδιάστηκε ως ένα ολοκληρωμένο εργαλείο που παρέχει ένα πλήρες σύνολο ανάλυσης λειτουργιών συστημάτων ισχύος μέσα από ένα μόνο εκτελέσιμο πρόγραμμα.

Το PowerFactory είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα για την ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο μεταφοράς, διανομής και βιομηχανικών εγκαταστάσεων με σκοπό τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακολουθούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του PowerFactory DIgSILENT:

• Μοντελοποίηση Συστημάτων Ισχύος: Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν λεπτομερή μοντέλα συστημάτων ισχύος, συμπεριλαμβανομένων γεννητριών, δικτύων μεταφοράς και διανομής καθώς και βιομηχανικών δικτύων.

• Ανάλυση Ροής Φορτίου: Το PowerFactory πραγματοποιεί μελέτες ροής φορτίου για να προσδιορίσει την τάση, το ρεύμα και τις ροές ισχύος στο δίκτυο

• Ανάλυση Βραχυκυκλώματος: Το λογισμικό μπορεί να πραγματοποιήσει μελέτες βραχυκυκλώματος για να αναλύσει τις συνθήκες βλάβης στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων συμμετρικών και ασύμμετρων σφαλμάτων. Αυτό βοηθά στον σχεδιασμό συστημάτων προστασίας και στην εξασφάλιση τροφοδοσίας.

 Προσομοίωση Δυναμικών Φαινομένων: Το PowerFactory υποστηρίζει προσομοιώσεις δυναμικών φαινομένων για να αναλύσει τη μεταβατική συμπεριφορά των συστημάτων ισχύος. Αυτό περιλαμβάνει τη μελέτη της αντίδρασης του συστήματος σε διαταραχές, όπως σφάλματα αλλαγής θέσης διακόπτη.

 Ανάλυση Ευστάθειας: Το λογισμικό περιλαμβάνει εργαλεία για την ανάλυση της ευστάθειας του συστήματος. Χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει πιθανά αποτελέσματα και να εκτιμήσει απρόβλεπτα γεγονότα. Περιλαμβάνει τον εντοπισμό πιθανών μελλοντικών γεγονότων ή καταστάσεων (ενδεχόμενων) και την ανάπτυξη στρατηγικών για τη διαχείριση των επιδράσεων τους. Αυτή η διαδικασία βοηθά στην προετοιμασία και τον περιορισμό αρνητικών επιπτώσεων, διασφαλίζοντας ότι τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να ανταποκριθούν αποτελεσματικά σε διάφορα σενάρια.

• Επιλεκτική Προστασία: Το PowerFactory μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και τη ρύθμιση συστημάτων προστασίας. Περιλαμβάνει δυνατότητες για

τον καθορισμό διατάξεων προστασίας και την εξασφάλιση ρύθμισης για αποτελεσματική απομόνωση σφαλμάτων.

 Ανάλυση Αρμονικών: Το λογισμικό μπορεί να πραγματοποιήσει ανάλυση αρμονικών για να μελετηθεί το αντίκτυπο των μη γραμμικών φορτίων και άλλων πηγών αρμονικών στο σύστημα ισχύος. Αυτό είναι σημαντικό για τη διατήρηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας του συστήματος ισχύος.

 Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Το PowerFactory περιλαμβάνει δυνατότητες για τη μοντελοποίηση και την ανάλυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αιολική και ηλιακή ενέργεια. Υποστηρίζει μελέτες που σχετίζονται με την ενσωμάτωση στο δίκτυο και τον αντίκτυπο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ισχύος.

 Βελτιστοποίηση Δικτύου: Το λογισμικό προσφέρει εργαλεία για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και του προγραμματισμού των συστημάτων ισχύος.
 Αυτό περιλαμβάνει μελέτες βέλτιστης ροής ισχύος (OPF), οικονομική κατανομή και άλλες εργασίες βελτιστοποίησης.

To PowerFactory DIgSILENT χρησιμοποιείται από εταιρείες παροχής ενέργειας, τεχνικά γραφεία, ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια σε όλο τον κόσμο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από μια απλή ανάλυση μέχρι σύνθετες ερευνητικές μελέτες.

3.2. Ανάλυση ροής φορτίου

Παρακάτω θα επικεντρωθούμε στην Ανάλυση Ροής Φορτίου, καθώς είναι η κύρια μελέτη συστημάτων μεταφοράς.

Το DIgSILENT PowerFactory προσφέρει μια γκάμα μεθόδων υπολογισμού ροής φορτίου, συμπεριλαμβανομένης τεχνικής Newton-Raphson AC (κανονικές συνθήκες και μη κανονικές συνθήκες) και μιας γραμμικής μεθόδου DC. Διάφορα επίπεδα επαναλήψεων εγγυώνται σύγκλιση υπό όλες τις συνθήκες. Η DC ροή φορτίου, η οποία επιλύει για ενεργές ροές ισχύος και γωνίες τάσης, είναι εξαιρετικά γρήγορη και αξιόπιστη (γραμμικό σύστημα, χωρίς απαιτούμενες επαναλήψεις).

Ένας υπολογισμός ροής φορτίου καθορίζει το μέγεθος της τάσης (V) και τη γωνία τάσης (θ) των κόμβων, καθώς και την ενεργή (P) και την άεργο (Q) ροή ισχύος στους κλάδους. Συνήθως, οι κόμβοι του δικτύου αναπαριστώνται καθορίζοντας δύο από αυτές τις τέσσερις ποσότητες. Ανάλογα με τις καθορισμένες ποσότητες, οι κόμβοι/ ζυγοίμπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

Κόμβοι PV: Εδώ καθορίζονται η ενεργή ισχύς και η ενεργός τιμή της τάσης.
 Αυτός ο τύπος κόμβου χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση γεννητριών και σύγχρονων πυκνωτών των οποίων η ενεργή ισχύς και το μέγεθος της τάσης ελέγχονται (σύγχρονοι πυκνωτές P=0). Για να ληφθούν υπόψη τα όρια εξοπλισμού υπό μη κανονικές συνθήκες (όπως αναφέρεται στην προηγούμενη ενότητα), τα όρια άεργης ισχύος για τα αντίστοιχα στοιχεία του δικτύου χρησιμοποιούνται επίσης ως πληροφορίες εισόδου.

• Κόμβοι PQ: Εδώ καθορίζονται η ενεργή και η άεργη ισχύς. Αυτός ο τύπος κόμβου χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση φορτίων και μηχανών με σταθερές τιμές. Τα φορτία μπορούν επίσης να ρυθμιστούν για αλλαγή (από τις αρχικές τιμές Po και Qo σε ονομαστική τάση) ως συνάρτηση της τάσης του κόμβου στον οποίο συνδέεται το φορτίο. Στοιχεία που καθορίζονται ως PQ (για παράδειγμα σύγχρονες μηχανές, μετατροπείς PWM γεννητριών, ή SVS's) μπορούν να "εξαναγκαστούν" από τον αλγόριθμο ώστε οι τιμές P και Q που προκύπτουν από τη ροή φορτίου να είναι πάντα εντός ορίων.

 Κόμβος Ταλάντωσης: Εδώ η ενεργός τιμή της τάσης και η γωνία είναι σταθερές. Στους παραδοσιακούς υπολογισμούς ροής φορτίου ο κόμβος ταλάντωσης (που συνδέεται με μια σύγχρονη γεννήτρια ή ένα εξωτερικό δίκτυο) εκτελεί την εξισορρόπηση της ισχύος στο σύστημα.

• Κόμβος Ειδικής Συσκευής: ειδικοί κόμβοι που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση συσκευών όπως οι μετατροπείς HVDC, SVS, κ.λπ., με συγκεκριμένες συνθήκες ελέγχου (για παράδειγμα ο έλεγχος της ροής ενεργής ισχύος σε ένα συγκεκριμένο όριο MW σε έναν μετατροπέα HVDC, ή ο έλεγχος της τάσης ενός ζυγού από ένα SVS).

3.2.1. Μέθοδος ροής φορτίου ΑC

Στο PowerFactory, οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των αναλυθέντων δικτύων υλοποιούνται χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές διατυπώσεις:

- Newton-Raphson (Εξισώσεις Ρεύματος).
- Newton-Raphson (Εξισώσεις Ισχύος, κλασικές).

Και στις δύο περιπτώσεις τα προκύπτοντα μη γραμμικά συστήματα εξισώσεων πρέπει να λυθούν με μια επαναληπτική μέθοδο. Το PowerFactory χρησιμοποιεί τη μέθοδο του Newton-Raphson ως μέθοδο επίλυσης μη γραμμικών εξισώσεων. Η επιλογή της μεθόδου που χρησιμοποιείται για τη διατύπωση των εξισώσεων κόμβου είναι ορισμένη από τον χρήστη και πρέπει να επιλεγεί βάσει του τύπου του δικτύου που θα υπολογιστεί. Για μεγάλα συστήματα μεταφοράς, ιδιαίτερα όταν φορτίζονται έντονα, ο τυπικός αλγόριθμος Newton-Raphson που χρησιμοποιεί τη διατύπωση "Εξισώσεων Ισχύος" συνήθως συγκλίνει καλύτερα.

3.2.2. Μέθοδος ροής φορτίου DC

Πέρα από τους υπολογισμούς AC ροής φορτίου που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα, το PowerFactory προσφέρει μια τεχνική υπολογισμού DC ροής φορτίου. Η μέθοδος αυτή δεν πρέπει να ερμηνευτεί ως μια μέθοδος που πρέπει να χρησιμοποιείται σε περίπτωση συστημάτων DC, δεδομένου ότι ισχύει για συστήματα AC.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να απαιτείται η πραγματοποίηση γρήγορης ανάλυσης σε πολύπλοκα δίκτυα μεταφοράς όπου απαιτείται μόνο μια προσέγγιση της ενεργού ισχύος του συστήματος. Για τέτοιες καταστάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος DC ροής φορτίου. Άλλες εφαρμογές της μεθόδου DC ροής φορτίου περιλαμβάνουν καταστάσεις όπου η AC ροή φορτίου αντιμετωπίζει προβλήματα σύγκλισης. Σε αυτήν τη συγκεκριμένη μέθοδο, το μη γραμμικό σύστημα που προκύπτει από τις εξισώσεις κόμβων απλοποιείται λόγω της κυρίαρχης σχέσης που υπάρχει μεταξύ γωνίας τάσης και ενεργού ροής ισχύος σε δίκτυα υψηλής τάσης. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει ένα σύνολο γραμμικών εξισώσεων, όπου οι γωνίες τάσης των διακριτών σημείων είναι άμεσα σχετιζόμενες με την ενεργό ροή ισχύος μέσω της αντίδρασης των μεμονωμένων στοιχείων. Η μέθοδος DC ροής φορτίου δεν απαιτεί διαδικασία επανάληψης και η ταχύτητα υπολογισμού είναι συνεπώς σημαντικά μεγαλύτερη. Μόνο η ενεργός ροή ισχύος χωρίς απώλειες λαμβάνεται υπόψη.

Συνοψίζοντας, η μέθοδος DC ροής φορτίου έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Ο υπολογισμός απαιτεί την επίλυση ενός συνόλου γραμμικών εξισώσεων.

• Δεν απαιτούνται επαναλήψεις, επομένως γρήγορος και επίσης δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα σύγκλισης.

Προσεγγίζει την ενεργό ισχύ με μεγάλη ακρίβεια σε δίκτυα υψηλής τάσης.

3.3. Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι βιομηχανικές ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις μεγάλων διαστάσεων σχεδιάζονται έτσι ώστε οι καταναλωτές να εφοδιάζονται με ασφάλεια και αξιόπιστα. Ένα από τα κύρια στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων είναι η σωστή διαχείριση των βραχυκυκλωμάτων. Παρόλο που τα συστήματα σχεδιάζονται έτσι ώστε να παραμένουν όσο το δυνατόν πιο απαλλαγμένα από βραχυκυκλώματα, αυτά μπορεί να συμβούν ακόμη. Μια κατάσταση βραχυκυκλώματος προκαλεί γενικά μεγάλες μη ελέγξιμες ροές ρεύματος, οι οποίες αν δεν ανιχνευθούν και διαχειριστούν σωστά, μπορεί να οδηγήσουν σε ζημιές εξοπλισμού, διακοπή παροχής ενέργειας μεγάλων περιοχών (αντί για μόνο το ελαττωματικό τμήμα) καθώς και στην έκθεση του προσωπικού σε κίνδυνο. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα θα πρέπει επομένως να απομονώνει το βραχυκύκλωμα με ασφάλεια με ελάχιστες ζημιές εξοπλισμού και διακοπή του συστήματος. Οι τυπικές αιτίες βραχυκυκλωμάτων μπορεί να είναι οι ακόλουθες:

• Υπερφόρτιση από κεραυνό σε εκτεθειμένο εξοπλισμό όπως γραμμές μεταφοράς.

• Πρόωρη γήρανση της μόνωσης λόγω κυρίως μόνιμης υπερφόρτωσης, ακατάλληλου αερισμού κ.λπ.

Βλάβη εξοπλισμού.

• Ακατάλληλη λειτουργία συστήματος.

Μία από τις πολλές εφαρμογές του υπολογισμού βραχυκυκλωμάτων είναι η διαστασολόγηση του εξοπλισμού δικτύου κατά το στάδιο του σχεδιασμού. Σε αυτήν την περίπτωση, ο σχεδιαστής ενδιαφέρεται να λάβει τα μέγιστα αναμενόμενα ρεύματα (ώστε να διαστάσιολογήσει σωστά τον εξοπλισμό) και τα ελάχιστα αναμενόμενα ρεύματα (για να βοηθήσει στον σχεδιασμό λειτουργίας της διάταξης προστασίας).

Οι υπολογισμοί βραχυκυκλωμάτων που πραγματοποιούνται στο στάδιο του σχεδιασμού προσδιορίζουν τα αναμενόμενα ρεύματα και βοηθούν στη διαστασιολόγηση του εξοπλισμού δικτύου.

Για υπολογισμούς ΑC βραχυκυκλωμάτων χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι

• IEC 60909/VDE 0102,

3.3.1. Μέθοδος ΙΕC 60909/VDE 0102

Ο στόχος αυτής της μεθόδου είναι να πραγματοποιήσει έναν υπολογισμό βραχυκυκλώματος κοντά στην πραγματικότητα χωρίς την ανάγκη για τον προηγούμενο υπολογισμό ροής φορτίου και τον ορισμό των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας. Οι κύριες απλοποιήσεις είναι οι ακόλουθες:

• Θεωρούνται οι ονομαστικές συνθήκες για ολόκληρο το δίκτυο, για παράδειγμα Ui = Un,i.

- Αγνοούνται τα ρεύματα φορτίων.
- Χρησιμοποιείται ένα απλοποιημένο δίκτυο προσομοίωσης

 Για να διασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα εκτιμώνται με επιφύλαξη, εφαρμόζεται ένας παράγοντας διόρθωσης, c, στην τάση στο εσφαλμένο ζυγό. Αυτός ο παράγοντας διαφέρει για τον υπολογισμό των μέγιστων και ελάχιστων ρευμάτων βραχυκυκλώματος ενός δικτύου.

Ο υπολογισμός βραχυκυκλώματος βασισμένος σε αυτές τις απλοποιήσεις μπορεί να είναι ανεπαρκής για ορισμένες πρακτικές εφαρμογές. Για αυτό, επιπλέον παράγοντες διόρθωσης αντίστασης εφαρμόζονται στα στοιχεία του δικτύου.



Εικόνα 9 Διαφορετικοί τύποι υπεράκτιων ανεμογεννητριών

3.4. Ανάλυση έκτακτων καταστάσεων

Η ανάλυση έκτακτων καταστάσεων είναι μια διαδικασία αξιολόγησης της αντοχής και της ασφάλειας ενός ηλεκτρικού συστήματος ισχύος υπό ανώμαλες ή έκτακτες

συνθήκες λειτουργίας. Σκοπός της ανάλυσης αυτής είναι να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν διάφορες διακοπές στοιχείων του συστήματος (όπως γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, ζυγοί κ.λπ.) στην απόδοση του συστήματος και να εντοπιστούν πιθανοί κίνδυνοι ή παραβιάσεις των ορίων λειτουργίας.

Η ανάλυση έκτακτων καταστάσεων είναι μια ντετερμινιστική (μη-πιθανοτική) αξιολόγηση των επιπτώσεων αποτυχίας υπό συγκεκριμένες έκτακτες καταστάσεις. Αυτή η προσέγγιση εξετάζει τις επιπτώσεις μιας διακοπής ή αποτυχίας ενός στοιχείου του συστήματος σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη χρονική εξέλιξη της κατάστασης.

Η λειτουργία ανάλυσης έκτακτων καταστάσεων ξεκινά με έναν υπολογισμό ροής φορτίου πριν από τη βλάβη. Ακολουθώντας αυτό, για κάθε έκτακτη κατάσταση, εκτελείται ένας αντίστοιχος υπολογισμός ροής φορτίου μετά την έκτακτη κατάσταση (για μία χρονική στιγμή), που αποσύρει ένα ή περισσότερα πρωτεύοντα στοιχεία από την υπηρεσία. Η εντολή υπολογίζει τις αρχικές συνέπειες των έκτακτων καταστάσεων, αλλά δεν λαμβάνει υπόψη τα λειτουργικά μέτρα που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση προβλημάτων τάσης ή διακοπών παροχής.

Οι δυνατότητες αναφοράς που είναι διαθέσιμες στη λειτουργία ανάλυσης έκτακτων καταστάσεων του PowerFactory επιτρέπουν το φιλτράρισμα των αποτελεσμάτων που ενδιαφέρουν τον χρήστη, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης φόρτισης στοιχείων, των ξεπερασμένων ορίων τάσης κ.λπ.

1. Υπολογισμός ΑC ροής φορτίου:

 Χρήση επαναληπτικής μεθόδου για λεπτομερή και ακριβή ανάλυση ροής φορτίου.

• Κατάλληλη για περίπλοκα συστήματα όπου απαιτείται ακριβής ανάλυση των συνθηκών μετά την έκτακτη κατάσταση.

2. Υπολογισμός DC ροής φορτίου:

• Χρήση γραμμικής μεθόδου για γρήγορο υπολογισμό της ενεργού ροής ισχύος.

• Χρήσιμη για αρχική εκτίμηση και αναγνώριση πιθανών προβληματικών σημείων στο σύστημα.

3. Συνδυασμός υπολογισμών DC και AC για κρίσιμες περιπτώσεις:

Πρώτη εκτέλεση με τη μέθοδο DC για ταχύτερο υπολογισμό.

• Επανεκτέλεση με τη μέθοδο AC για περιπτώσεις όπου ανιχνεύονται προβλήματα, εξασφαλίζοντας έτσι ακρίβεια και λεπτομερή ανάλυση.

• Ο καθορισμός των κριτηρίων για την επαναϋπολογιστική μέθοδο AC γίνεται στις Προχωρημένες Επιλογές, εξασφαλίζοντας έτσι την προσαρμογή στις συγκεκριμένες ανάγκες του συστήματος.

• Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την αποτελεσματική και ακριβή ανάλυση των έκτακτων καταστάσεων, εξασφαλίζοντας ότι τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα και
χρήσιμα για την ασφάλεια και τη σταθερότητα του ηλεκτρικού συστήματος (Εικόνα 10).

udy Case:	Peak	Demand	/						2
vadina Limit	: [00.0		<u>م</u>			/	100	21 14	
				· ·	/			50000	
0	omponent	Branch, Substation or Site	Loading Continuous	Loading Short-Term J 121	Loading Base Case	Contingency Number	Contingency Name	Base Case and Continuous Loading [0 % + 152 %]	Т
1 21	ine_15_16_1		152,1	152,1	41,3	11	€2 Inc_16_17_1		
2 7 1	Ine_16_19_1	1	122,2	122,2	47,9	6	\$2. Ine_14_16_1		
3 21	Ine_14_16_1		117,3	117,3	87,7	12	👫 he_16_19_1		
4 21	ine_16_17_1		109,2	109,2	84,6	8	15_21_1		
5 21	Ine_13_23_1		101,5	101,5	63,4	4	%2 ine_12_23_1		
6 21	Ine_15_21_1		100.3	100,3	56,9	11	92 he_16_17_1		
7 21	Ine_15_21_2		100,3	100,3	56,3	11	92 he_16_17_1		
	Ine_12_23_1		99.7	99.7	63.0	5	\$2. he_13_23_1		
9 21	Ine_11_13_1		97,1	97,1	45,4	6	924 he_14_16_1		
10 21	Ine_21_22_1		90,9	90,9	48,4	14	%G he_1/_22_1		
11 21	IN6_17_22_1		30.7	90,7	43,5	21	RCs Ine_21_22_1		
12 6 1	Ine_6_10_1		88.3	88,3	66,3	-1	Bale Lale		-
14 2	ne_15_24_1		00,3	00,3	57.9	14	69. he 17.22.1		-
15 00 1	bf 24 3 1	1001 SE 24	10.2	80.9	58.1	6	\$3. he 14.16.1		
16 2 1	ne 11 14 1	LILL VE LY	81.3	81.3	45.9	12	\$2, Inc. 16, 19, 1		-
			2,10	01,5	40,0	14			-

Εικόνα 10 Αποτελέσματα ανάλυσης έκτατης ανάγκης

3.5. Περιβάλλον χρήστη

Κύρια χαρακτηριστικά του κύριου παραθύρου είναι τα εξής:

1. Περιγραφή της έκδοσης του PowerFactory: Το κύριο παράθυρο περιλαμβάνει μια περιγραφή της τρέχουσας έκδοσης του PowerFactory, που βοηθάει στη γρήγορη αναγνώριση της χρησιμοποιούμενης έκδοσης (Εικόνα 11).

- 2. Εικονίδια: Το κύριο παράθυρο περιέχει τα τυπικά εικονίδια για:
- Ελαχιστοποίηση: Μειώνει το παράθυρο στο κάτω μέρος της οθόνης.
- Μεγιστοποίηση/Αποκατάσταση: Επιτρέπει τη μεγιστοποίηση του παραθύρου σε πλήρη οθόνη ή την αποκατάστασή του σε προηγούμενο μέγεθος.

• Αλλαγή Μεγέθους: Επιτρέπει την αλλαγή του μεγέθους του παραθύρου σύροντας τις άκρες του.

• Κλείσιμο: Κλείνει το παράθυρο.

3. Κύρια γραμμή μενού: Η κύρια γραμμή μενού περιλαμβάνει αναπτυσσόμενα μενού επιλογών (Εικόνα 12).

4. Κύρια γραμμή εργαλείων: Περιλαμβάνει εντολές και άλλα εικονίδια (Εικόνα13).

5. Γραφικός επεξεργαστής: Εμφανίζει μονογραμμικά διαγράμματα, μπλοκ διαγράμματα και/ή διαγράμματα προσομοίωσης του ενεργού έργου. Τα μελετημένα

δίκτυα και τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να τροποποιηθούν άμεσα από τον γραφικό επεξεργαστή, τοποθετώντας και συνδέοντας στοιχεία.

6. Μενού περιβάλλοντος: Όταν κάνετε δεξί κλικ σε ένα αντικείμενο (στον γραφικό επεξεργαστή ή στον διαχειριστή δεδομένων), εμφανίζεται ένα μενού με ενέργειες σχετικές με το αντικείμενο.

7. Παράθυρο επεξεργασίας: Όταν κάνετε διπλό κλικ σε ένα αντικείμενο, εμφανίζεται το παράθυρο επεξεργασίας του. Οι παράμετροι που ορίζουν το αντικείμενο είναι προσβάσιμοι μέσω αυτού του παραθύρου. Συνήθως, το Παράθυρο επεξεργασίας αποτελείται από διάφορες "σελίδες", καθεμία από τις οποίες ομαδοποιεί παραμέτρους σχετικούς με μια συγκεκριμένη λειτουργία.

8. Διαχειριστής Δεδομένων: Είναι η άμεση επαφή με τη βάση δεδομένων. Η αριστερή πλευρά εμφανίζει μια συμβολική αναπαράσταση της πλήρους βάσης δεδομένων. Η δεξιά πλευρά είναι ένας περιηγητής δεδομένων που δείχνει το περιεχόμενο του επιλεγμένου φακέλου. Ο διαχειριστής δεδομένων μπορεί να προσπελαστεί πατώντας το εικονίδιο του διαχειριστή δεδομένων () στα αριστερά της κύριας γραμμής εργαλείων. Είναι πάντα 'αιωρούμενος' και μπορούν να είναι ενεργοί περισσότεροι από ένας ταυτόχρονα. Η κύρια λειτουργία του διαχειριστή δεδομένων είναι ενεργοί περισσότεροι από ένας ταυτόχρονα. Η κύρια λειτουργία του διαχειριστή δεδομένων είναι ενεργοί περισσότεροι από ένας ταυτόχρονα. Η κύρια λειτουργία του συστήματος. Ο διαχειριστής δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία μιας ομάδας επιλεγμένων αντικειμένων μέσα στον διαχειριστή δεδομένων σε μορφή πίνακα. Εναλλακτικά, τα αντικείμενα μπορούν να επεξεργασια).

9. Παράθυρο εξόδου: Εμφανίζεται στο κάτω μέρος του παραθύρου PowerFactory. Δεν μπορεί να κλείσει, αλλά μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.

10. Παράθυρο Επισκόπησης Έργου: Εμφανίζεται από προεπιλογή στην αριστερή πλευρά του κύριου παραθύρου εφαρμογής μεταξύ της κύριας γραμμής εργαλείων και του παραθύρου εξόδου. Παρέχει μια επισκόπηση του έργου, επιτρέποντας στον χρήστη να αξιολογήσει την κατάσταση του έργου με μια ματιά και να διευκολύνει την εύκολη αλληλεπίδραση με τα δεδομένα του έργου.



Εικόνα 12 Γραμμή Μενού PowerFactory.

| ╤ | 📩 🏦 🖞 🖄 🚖 | 😽 벽 疑 🍓 🛯 🖡 🕴 🎗 😰 못 🖓 🕼 🕸 🕄 🖉 🖻 의 🙎 🖪 🖻

Εικόνα 13 Γραμμή Εργαλείων Power Factory

3.6. Εκτέλεση ροής φορτίου

4

ή επιλέγουμε

Για να υπολογίσουμε τη ροή φορτίου πατάμε το εικονίδιο Calculation \rightarrow Load Flow από το κύριο μενού και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο(Εικόνα 14).

Load Flow Calculation - Study Ca	ses\01_Low Flow (High Load)\Load Flow Calculation.ComLdf	? ×
Basic Options Active Power Control Advanced Options keration Control Outputs Load/Generation Scaling Low Voltage Analysis Advanced Simulation Options	Calculation Method Calculation.ComLat Calculation.C	Close Cancel

Εικόνα 14 Παράθυρο ρυθμίσεων υπολογισμού Ροής Φορτίου

Σε μια ανάλυση ροής φορτίου στο DIgSILENT PowerFactory, εμφανίζονται διάφορες πληροφορίες όπως τη ροή ισχύος με βέλη (που υποδεικνύουν κατεύθυνση και μέγεθος) και χρωματικά κωδικοποιημένους ζυγούς και γραμμές, όπου τα χρώματα επισημαίνουν τα επίπεδα τάσης και τα φορτία γραμμής (π.χ. πράσινο για κανονικό, κόκκινο για υπερφόρτωση). Επίσης εμφανίζονται γραφήματα που δείχνουν τα επίπεδα τάσης σε ζυγούς για τον προσδιορισμό της σταθερότητας της τάσης. Οπτικές ειδοποιήσεις για ζητήματα όπως υπερφόρτιση ή παραβιάσεις τάσης. Αυτά τα γραφικά βοηθούν στη γρήγορη αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος και στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων.(Εικόνα 15)



Εικόνα 15 Εικόνα αποτελεσμάτων υπολογισμού Ροής Φορτίου.

3.7. Εκτέλεση υπολογισμού βραχυκυκλώματος

Για να ξεκινήσει ο υπολογισμός βραχυκυκλώματος πατάμε το εικονίδιο παιλέγουμε Calculation \rightarrow Short-Circuit από το κύριο μενού και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο(Εικόνα 16).

Εικόνα 16 Παράθυρο ρυθμίσεων υπολογισμού βραχυκυκλωμάτων.

Σε μια ανάλυση βραχυκυκλώματος στο DIgSILENT PowerFactory, οι βασικές πληροφορίες που εμφανίζονται είναι οι θέσεις σφαλμάτων με χρώματα υποδεικνύοντας τις περιοχές που επηρεάζονται από το σφάλμα και το μέγεθος των ρευμάτων σφάλματος. Βέλη κατεύθυνσης που δείχνουν την κατεύθυνση και το μέγεθος των ρευμάτων βραχυκυκλώματος στο σύστημα. Πίνακας δεδομένων που εμφανίζει τα ρεύματα σφάλματος, τις τάσεις και τη φόρτωση του εξοπλισμού σε κάθε κόμβο κατά τη διάρκεια του σφάλματος (Εικόνα 17).

Fault Locations wit Short-Circuit Calcu	h Feeders Lation / Method : II	C 60909		3-Phase	Short-Circuit	/ Max	. Short-	Circuit Cu	rrents
Asynchronous Motors Always Considere Decaying Aperiodic Using Method 	d Component (idc) B	Grid Ide Autom Conducto User 	ntification atic r Temperature Defined	No	Short-Circui Break Tim Fault Cle c-Voltage Fa User Defi 	t Durati e aring Ti ctor ned	on me (Ith)	0 1 N	,10 s ,00 s 0
Grid: Grid	System Stage	e: Grid	1			Anne	x:	/ 1	1
1	rtd.V. Voltage [kV] [kV] [de	c- g] Factor	Sk" [MVA/MVA]	Ik" [kA/kA] [deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
S10_90kV S10 BB L_S10-S11 L_S9-S10 Trf-WindPark We Cap_S10	90,00 0,00 0, S11_90kV S9_90kV WF West 20	.00 1,10	605,97 MVA 62,50 MVA 440,11 MVA 103,64 MVA 0,00 MVA	3,89 kA -80,12 0,40 kA 102,11 2,82 kA 98,83 0,66 kA 102,99 0,00 kA 0,00	2 8,84 kA 1 0,91 kA 3 6,42 kA 9 1,51 kA 0 0,00 kA	3,72	580,20	3,11	3,62
S11_90KV S11 BB1 CBS L_S10-S11 L_S7-S11 TrG_S11_1 TrG_S11_2	90,00 0,00 0, S11 BB2 S10_90kV S7_90kV T1_S11_11k T2_S11_11k	.00 1,10	560,98 MVA 165,42 MVA 63,76 MVA 82,60 MVA 125,66 MVA 125,66 MVA	3,60 kA -84,5 1,06 kA 92,8 0,41 kA 103,8 0,53 kA 103,7 0,81 kA 92,2 0,81 kA 92,2	9 9,05 kA 3 2,67 kA 4 1,03 kA 1 1,33 kA 5 2,03 kA 5 2,03 kA	3,33	518,42	3,41	3,67
S11 BB2 CBS TrG_S11_3 TrG_S11_4	90,00 0,00 0, S11 BB1 S12_90kV S12_90kV	.00 1,10	560,98 MVA 395,80 MVA 82,71 MVA 82,71 MVA	3,60 kA -84,59 2,54 kA 96,49 0,53 kA 92,83 0,53 kA 92,83	9 9,05 kA 9 6,39 kA 3 1,33 kA 3 1,33 kA	3,33	518,42	3,41	3,67
IS5_90KV IS5_BB1 ICBS IL_S5-S6 ITrG_S5_3 ITrG_S5_4 ITrG_S5_5 IS5_BB2	90,00 0,00 0, S5 BB2 S6_90KV T3 S5_5KV T4 S5_5KV T5 S5_5KV T5 S5_5KV 90,00 0,00 0	.00 1,10	885,16 MVA 611,16 MVA 89,36 MVA 89,36 MVA 47,71 MVA 885,16 MVA	5,68 kA -87,1(3,92 kA 91,9- 0,31 kA 104,93 0,57 kA 92,8: 0,57 kA 92,8: 0,31 kA 93,33	0 15,02 kA 4 10,37 kA 9 0,83 kA 1 1,52 kA 1 1,52 kA 8 0,81 kA 0 15 02 kA	5,39	839,55	5,27	5,88

Εικόνα 17 Εικόνα αποτελεσμάτων υπολογισμού βραχυκυκλωμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ανάλυση και περιγραφή του δικτύου προσομοίωσης

4.1. Περιγραφή των προσομοιώσεων

4.1.1. Ανάλυση ροής φορτίου

Η ανάλυση ροής ισχύος, γνωστή και ως ανάλυση ροής φορτίου, είναι μια κρίσιμη διαδικασία στον τομέα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας που αξιολογεί τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα. Χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα και υπολογιστικούς αλγόριθμους, όπως οι μέθοδοι Newton-Raphson, για να λύσουν τις μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις που περιγράφουν το σύστημα ισχύος οι μηχανικοί εξασφαλίζουν την αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

4.1.2. Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων

Ο πρωταρχικός στόχος της ανάλυσης βραχυκυκλώματος είναι ο προσδιορισμός του μεγέθους και της κατανομής των ρευμάτων βραχυκύκλωσης σε όλο το σύστημα. Αυτές οι πληροφορίες είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό διατάξεων προστασίας και τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας τους για την απομόνωση και τον περιορισμό του σφάλματος. Εκτελώντας ανάλυση βραχυκυκλώματος, οι μηχανικοί μπορούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία και την ασφάλεια του συστήματος ισχύος. Επιτρέπει τον σχεδιασμό ισχυρών μηχανισμών προστασίας που μπορούν να απομονώσουν γρήγορα σφάλματα, μειώνοντας τον κίνδυνο βλάβης του εξοπλισμού, διακοπές ρεύματος και διασφαλίζοντας την ασφάλεια του προσωπικού και της υποδομής.

4.1.3. Contingency analysis (Ανάλυση έκτακτης ανάγκης)

Ο πρωταρχικός στόχος της ανάλυσης έκτακτης ανάγκης είναι ο εντοπισμός πιθανών τρωτών σημείων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και η ανάπτυξη στρατηγικών για τον περιορισμό των επιπτώσεών τους. Αυτό περιλαμβάνει την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων αστοχίας και την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στη συνολική απόδοση του συστήματος.

Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης βοηθά στη διατήρηση της αδιάλειπτης παροχής ρεύματος, προστατεύει τον εξοπλισμό από ζημιές και διασφαλίζει την ασφάλεια του συστήματος και των χειριστών του.

4.1.4. Ανάλυση του αντίκτυπου της αύξησης του μήκους μιας διασύνδεσης στο δίκτυο

Ο στόχος αυτού του πειράματος είναι να αναλύσει πώς η αύξηση του μήκους μιας διασύνδεσης μεταξύ δύο τμημάτων ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει τη τις απώλειες ισχύος, τα επίπεδα τάσης και τη συνολική αξιοπιστία.

Η αύξηση του μήκους μιας διασύνδεσης σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εισάγει πολλές προκλήσεις, όπως υψηλότερες απώλειες ισχύος, πιο σημαντικές πτώσεις τάσης, μειωμένη σταθερότητα συστήματος και μειωμένη αξιοπιστία. Ωστόσο, με την εφαρμογή κατάλληλων στρατηγικών περιορισμού επιπτώσεων, όπως υψηλότερα επίπεδα τάσης, αντιστάθμιση άεργου ισχύος, αυτές οι προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά, διασφαλίζοντας ένα σταθερό και αξιόπιστο σύστημα ισχύος.

4.1.5. Ανάλυση του αντίκτυπου της αύξησης του μήκους μιας διασύνδεσης στο δίκτυο

Η οικονομικοτεχνική ανάλυση είναι κρίσιμη για τη σχεδίαση και τη λειτουργία δικτύων υψηλής τάσης, καθώς βοηθά στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας των επενδύσεων. Μέσω αυτής της ανάλυσης, λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, οι τεχνικές απαιτήσεις και τα οφέλη σε σχέση με τη διάρκεια ζωής των υποδομών.

Η ανάλυση εξισορροπεί το κόστος με την αξιοπιστία, την αποδοτικότητα και τη μακροχρόνια σταθερότητα του δικτύου, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων και την αποτελεσματική εξυπηρέτηση των ενεργειακών αναγκών.

4.2. Περιγραφή του συστήματος προσομοίωσης

Το δίκτυο υψηλής τάσης που μελετήθηκε είναι ένα πολύπλοκο δίκτυο σχεδιασμένο για να μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις σε υψηλές τάσεις, μειώνοντας τις απώλειες ισχύος και μεταφέροντας αποτελεσματικά ηλεκτρική ενέργεια από πηγές παραγωγής στα δίκτυα διανομής και στους τελικούς καταναλωτές. Αυτή η μελέτη διερευνά τα στοιχεία, τις λειτουργίες και τη σημασία των δικτύων υψηλής τάσης στα σύγχρονα συστήματα ισχύος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προσομοιώθηκε δίκτυο υψηλής τάσης 400kV χρησιμοποιώντας καλώδια ξηράς, με ενεργό ισχύς εισόδου P=2.487,1 MW.

4.2.1. Περιγραφή των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν

• Γραμμές Μεταφοράς: Είναι οι τα στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου, που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια υψηλής τάσης σε τεράστιες αποστάσεις.

Μετασχηματιστές: Συσκευές που αυξάνουν ή μειώνουν τα επίπεδα τάσης.

• Γεννήτριες: Οι γεννήτριες είναι θεμελιώδη στοιχεία των συστημάτων ισχύος, υπεύθυνα για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.

• Ζυγοί: Είναι βασικά στοιχεία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμεύουν ως αγωγοί για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας εντός των υποσταθμών και των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διασύνδεση διαφόρων στοιχείων του ηλεκτρικού συστήματος, όπως γεννήτριες, μετασχηματιστές και συσκευές διανομής.

• Φορτία: Τα φορτία είναι συσκευές ή συστήματα που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από πηγές ενέργειας όπως οι γεννήτριες ή το δίκτυο και αντιπροσωπεύουν τους τελικούς χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας.

Γραμμές Μεταφοράς

- AC Line 1 400kV 53km.
- AC Line 2 400kV 55km.
- AC Line 3 400kV 50km.
- AC Line 4 400kV 50km.
- AC Line 5 400kV 100km.
- AC Line 6 400kV 100km.
- AC Line 7 400kV 80km.
- AC Line 8 400kV 80km.
- AC Line 9 400kV 80km.
- AC Line 10 400kV 80km.
- AC Line 11 400kV 50km.
- AC Line 12 400kV 100km.

<u>Μετασχηματιστές</u>

- Transformer G1 800MVA 18/400 kV.
- Transformer G2 800MVA 18/400 kV.
- Transformer G3 600MVA 16.5/400 kV.
- Transformer G4 600MVA 16.5/400 kV.
- Transformer G5 800MVA 18/400 kV.
- Transformer G6 800MVA 18/400 kV.
- Transformer G7 600MVA 16.5/400 kV.
- PV Transformer 600MVA 18/400 kV.
- Wind Transformer 600MVA 16.5/400 kV.

<u>Γεννήτριες</u>

- GEN 1 360 MW.
- GEN 2 80.2 MW.
- GEN 3 379.86 MW.
- GEN 4 379.89 MW
- GEN 5 504.7615 MW
- GEN 6 504.7615 MW
- GEN 7 380 MW.

- PV System 90 MW.
- Wind Turbine 250MVA.

Bus Bars

- Main 1 400 kV.
- Main 2 400 kV.
- Main 3 400 kV.
- Main 4 400 kV.
- Main 5 400 kV.
- Main 6 400 kV.
- GEN 1 18 kV.
- GEN 2 18 kV.
- GEN 3 16.5 kV.
- GEN 4 16.5 kV.
- GEN 5 18 kV.
- GEN 6 18 kV.
- GEN 7 18 kV.
- PV 18 kV.
- Wind 16.5 kV.

<u>Φορτία</u>

- LOAD 1 348.8 MW
- LOAD 2 348.8 MW
- LOAD 3 610 MW
- LOAD 4 436 MW
- LOAD 5 697.6 MW

Παρακάτω θα επισυναπτούν εικόνες όπου θα φαίνονται ενδεικτικά οι τιμές και τα χαρακτηριστικά στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση.

<u>Γραμμές Μεταφοράς</u>

AC Line 1 400kV 53km

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 1(Εικόνα 18).

Line - Grid\LINE AC 1 400k\	/ 53km.ElmLne	7 ×
Basic Data	Name LINE AC 1 400k V 53km	OK
Load How	Type	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Terminal i Grid\Main bus 1\2\Cub_1 BB	Figure >>
Complete Short-Circuit	Terminal j	
ANSI Short-Circuit	Zone Terminal i 💌 🔿	Jump to
IEC 61363	Area Terminal i 💌 🔿	
DC Short-Circuit	Out of Service	
RMS-Simulation	Number of Resulting Values	1
EMT-Simulation	parallel Lines 1 Rated Current (act.) 1, kA	
Harmonics/Power Quality	Pos. Seq. Impedance, 21 13,30596 Ohm Pos. Seq. Impedance, Angle 84,74358 deg	
Optimal Power Flow	Parameters Pos. Seq. Resistance, R1 1,219 Ohm	
Poliobilty	Pos. Seq. Reactance, X1 13,25 Ohm	
Reliability	Length of Line 53, km Zero Seq. Reactance, X0 53, Ohm	
Generation Adequacy	Derating Factor 1. Earth-Fault Current, Ice 25,70363 A	
Tie Open Point Opt.	Laying Ground Ground Ground Ground Carth Factor, Magnitude 1,02315 Fath Factor, Angle -8,022422 deg	
Cable Sizing	Type of Line Cable	
Description	Type of Line Cable	
	Line Model	
	C Lumped Parameter (PI)	
	O Distributed Parameter	
	Sections/Line Loads	
1		0 1 0
ne Type - Equinment Type I	ibran/AC 400kV.Tvpl ne	? V
Basic Data	Name AC 400kV	ОК
Load Flow	Rated Voltage 400, kV	Count
VDE/IEC Short-Circuit		Cancel
VD2/IEC Short-Circuit	Rated Current 1, KA (in ground) Rated Current (in air) 1, KA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency 50, Hz	
ANSI Short-Circuit	Cable / OHL Cable	
IEC 61363	System Type AC Phases 3 Number of Neutrals 0	
DC Short-Circuit	- Parameters and Length 12 Converses	
RMS-Simulation	A D Li D Diversion Denne OL A Denne	
EMT Simulation	AC-Resistance R'(20'C) 0,023 Ohm/km AC-Resistance R0' 0,2 Ohm/km	
Harmonics/Power Quality	Heactance X: U.25 Uhm/km Reactance X0' 1. Ohm/km	
Protection		
Optimal Power Flow		
Reliability		
Generation Adequacy		
Cable Sizin-		
Cable Sizing		
Description		
		_
ine Type - Equipment Type	Library\AC 400kV.TypLne	? ×
Basic Data	Parameters per Length 1,2-Sequence	ОК
Level Dave	Max Operational Temperature 80 depC	
Load How	mus, operational reliperature juo, uogo	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit		
Complete Short-Circuit	AC-Resistance R'(20°C) 0.023 Ohm/km	
ANSI Short-Circuit	Conductor Material Aluminium	
IEC 61363		
DC Charl Car -	Parameters per Length 1.2-Sequence	_
DC Short-Circuit		
RMS-Simulation	Susceptance B' 3.141593 uS/km	
EMT-Simulation		
Harmonics/Power Quality		
Protection	Ins. Factor 0, Ins. Factor 0,	
Outine of Borrow Di]
Optimal Power How		
Reliability		
Generation Adequacy		
Cable Sizing		
- Description		
Description		

Εικόνα 18 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 1 400kV 53km

AC Line 2 400kV 55km

•

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 2(Εικόνα 19)

ine - Grid\LINE AC 2 400k\	55km.ElmLne	? ×
Basic Data	Name [INE &C 2.400kV.55/m]	ОК
Load Flow	Type	Connel
VDE/IEC Short-Circuit	Terminal i ▼ → Grid\Inverter\2\Cub_1 BB	Cancel
Complete Short-Circuit	Terminal j Grid\Main bus 2\1\Cub_1 BB	Figure >>
ANSI Short-Circuit	Zone Terminal i 💌 🔸	Jump to
IEC 61363	Area Terminal i 💌 🔸	
DC Short-Circuit	Cut of Service	
RMS-Simulation	Number of Resulting Values	
EMT-Simulation	parallel Lines 1 Rated Current (act.) 3, kA Pos Sea Impedance 71 13,80807.0hm	
Harmonics/Power Quality	Parameters Pos. Seq. Impedance, Angle 84,74358 deg	
Optimal Power Flow	Themal Rating Pos. Seq. Resistance, R1 1,265 Ohm Pos. Seq. Reactance, X1 13,75 Ohm	
Reliability	Length of Line 55, km Zero Seq. Resistance, R0 11, Ohm	
Generation Adequacy	Derating Factor 1. Earth-Fault Current, Ice 0, A	
Tie Open Point Opt.	Laying Ground	
Cable Sizing	Earth Factor, Angle -8,022422 deg	
Description	Type of Line Cable	
	Line Model	
	Lumped Parameter (PI) Distributed Parameter	
	 Distributed Fordinated 	
	Sections/Line Loads	
ne Type - Equipment Type	Library\AC 400 LINE.TypLne	? ×
Basic Data	Name AC 400 LINE	ОК
Load Flow	Rated Voltage 400. kV	<u> </u>
VDE/IEC Short-Circuit		Cancel
Consists Chair Chair	nated current [3, KA (in ground) Hated Current (in air) [3, kA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency 50, Hz	
ANSI Short-Circuit	Cable / OHL Cable	
IEC 61363	System Type AC Phases 3 Number of Neutrals 0	
DC Short-Circuit	Parameters per Length 1 2-Sequence	
RMS-Simulation	AC.Resistance RI/2010) 0.023 Ohm/km AC.Resistance RI/ 0.2 Ohm/km	
EMT-Simulation		
Hamonics/Power Quality	Beartance X ⁽⁾ 025 0hm/km Beartance X ⁽⁾ 1 0hm/km	
Protection		
Protection		
Optimal Power How		
Reliability		
Generation Adequacy		
Cable Sizing		
Description		
ine Type - Equipment Type	Library\AC 400 LINE.TypLne	? ×
Basic Data	Parameters per Length 1,2-Sequence	ОК
Load Bow	Max. Operational Temperature 80, degC	
VDF (FC Shi) C in		Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	40.Resistance B(2010) 0.023 0hm/km	
Complete Short-Circuit		
ANSI Short-Circuit	Conductor Material Copper	
IEC 61363		
DC Short-Circuit	Parameters per Length 1,2-Sequence	
RMS-Simulation	→I	
EMT Cias J-V	Susceptance B' 0, uS/km Susceptance B0' 0, uS/km	
Em I-Simulation		
Harmonics/Power Quality	Des Factor 0	
Protection	Ins. Factor JU,	
Optimal Power Flow		
Reliability		
Generation Adequacy		
Cable Sizing		
Caple bizing		
Description		

Εικόνα 19 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 2 400kV 55km

• AC Line 3 400kV 50km

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 3(Εικόνα 20)

ne - Grid\AC LINE 3 50km.	ElmLne				?	>
Basic Data	Name	AC LINE 3 50km			C	к
Load Flow	Туре	Equipment Type Library\AC 400kV			Car	ncel
VDE/IEC Short-Circuit	Terminal i	➡ Grid\Main bus 2\7\Cub_1	BB			
Complete Short-Circuit	Terminal j	Grid\Main bus 3\4\Cub_1	BB		Figu	re >:
ANSI Short-Circuit	Zone	Terminal i 💌 🔿			Jump	to .
IEC 61363	Area	Terminal i 🔹 🔹				
DC Short-Circuit	Out of Service					
RMS-Simulation	Number of		Resulting Values			
EMT-Simulation	parallel Lines	1	Rated Current (act.) Pos. Seg. Impedance, 71	1, kA 12 55279 Ohm		
Harmonics/Power Quality	Parameters		Pos. Seq. Impedance, Angle	84,74358 deg		
Optimal Power Flow	Thermal Rating	▼	Pos. Seq. Resistance, R1 Pos. Seq. Reactance, X1	1,15 Ohm 12 5 Ohm		
Reliability	Length of Line	50. km	Zero Seq. Resistance, R0	10, Ohm		
Generation Adequacy	Derating Factor	1.	Zero Seq. Reactance, X0 Earth-Eault Current Loe	50, Ohm 24 24871 A		
Tie Open Point Opt.	Laying	Ground	Earth Factor, Magnitude	1,02315		
Cable Sizing Description	Type of Line	Cable	Earth Factor, Angle	-8,022422 deg		
	Line Model					
	C Distributed Para	ameter (PI) arameter				
	Sections/L	ine Loads				

Line Type - Equipment Type l	ibrary\AC 400kV.Typ	lne						? ×
Basic Data	Name	AC 400kV						ОК
Load Flow	Rated Voltage	400. k\	r i i i i i i i i i i i i i i i i i i i					Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Current	1. k/	(in ground)	Rated Cum	ent (in air)	1.	kA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	50. Ha						
ANSI Short-Circuit	Cable / OHL	Cable	•					
IEC 61363	System Type	AC 💌	Phases	3 💌	Number o	f Neutrals 0 💌]	
DC Short-Circuit	Parameters per Le	ngth 1,2-Sequence		Paran	neters per Ler	nath Zero Sequenc	e	
RMS-Simulation	AC-Resistance	R'(20°C) 0.023	Ohm/km	AC-	Resistance R	0 0.2	Ohm/km	
EMT-Simulation				.			-	
Harmonics/Power Quality	Reactance X'	0,25	Ohm/km	Rea	ictance X0'	1.	Ohm/km	
Protection								
Optimal Power Flow								
Reliability								
Generation Adequacy								
Cable Sizing								
Description								

Basic Data	Parameters per Length 1,2-Sequence	
Load Flow	Max. Operational Temperature 80, degC	Ca
VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363	AC-Resistance R(20°C) 0.023 Ohm/Am Conductor Material Aluminium	
DC Short-Circuit	Parameters per Length 1.2-Sequence Parameters per Length Zero Sequence	
RMS-Simulation EMT-Simulation	Susceptance B' 3.141593 uS/km Susceptance B0' 0.7 uS/km	
Harmonics/Power Quality Protection	Ins. Factor 0.	
Optimal Power Flow		
Generation Adequacy		
Cable Sizing		
Description		

Εικόνα 20 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 3 400kV 50km

AC Line 5 400kV 100km

•

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 5(Εικόνα 21)

Line Crist AC LINE 5 1001-1	4001a/ Flast a s		_L	- B1 - 1	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Line - Grid AC LINE 5 100km	400KV.EIMEne				r X
Basic Data	Name	AC LINE 5 100km 400kV			ОК
Load Flow	Туре	Equipment Type Library\AC 400kV			Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Terminal i	➡ Grid\Main bus 2\4\Cub_1	BB		Figure >>
Complete Short-Circuit	Teminal j	✓ → Grid\Main 4\1\Cub_1	BB		Tigare 22
ANSI Short-Circuit	Zone	Terminal i 💽 🔸			Jump to
IEC 61363	Area	Teminal i 💽 🔸			
DC Short-Circuit	Cut of Service				
RMS-Simulation	Number of		Resulting Values		
EMT-Simulation	parallel Lines	1	Pos. Seq. Impedance, Z1	25,10558 Ohm	
Harmonics/Power Quality	Parameters		Pos. Seq. Impedance, Angle Pos. Seq. Resistance, R1	84,74358 deg	
Optimal Power Flow	Thermal Rating	▼ →	Pos. Seq. Reactance, X1	25. Ohm	
Reliability	Length of Line	100. km	Zero Seq. Resistance, R0 Zero Seq. Reactance, X0	20, Ohm 100, Ohm	
Generation Adequacy	Derating Factor	1.	Earth-Fault Current, Ice	48,49743 A	
Tie Open Point Opt.	Laying	Ground	Earth Factor, Magnitude Earth Eactor, Angle	1,02315 -8.022422 deg	
Cable Sizing	Type of Line	Cable		0.012 122 009	
Description	- Line Medel				
	Lumped Param	neter (PI)			
	C Distributed Par	rameter			
	Sections/Lir	ne Loads			
Line Type - Equipment Type	Library\AC 400kV.Typ		-		? ×
Basic Data	Name	AC 400RV			
Load How	Rated Voltage	400, kV		_	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Current	1. kA (in ground) Rated C	urrent (in air) 1,	kA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	50. Hz			
ANSI Short-Circuit	Cable / OHL	Cable			
IEC 61363	System Type	AC Phases 3	Number of Neutrals 0	·	
DC Short-Circuit	Parameters per Le	ngth 1.2-Sequence	rameters per Length Zero Sequen	De	
RMS-Simulation	AC-Resistance F	R(20°C) 0.023 Ohm/km	AC-Resistance R0' 0.2	Ohm/km	
EMT-Simulation			,	ا هـ	
Harmonics/Power Quality	Reactance X'	0,25 Ohm/km	Reactance X0' 1.	Ohm/km	
Protection					
Optimal Power Flow					
Reliability					
Generation Adequacy					
Cable Sizing					
Description					
Description					

ine Type - Equipment Type L	ibrary\AC 400kV.TypLne	? ×
Basic Data	Parameters per Length 1,2-Sequence	ОК
Load Flow	Max. Operational Temperature 80, degC	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363	AC-Resistance R'(20'C) 0.023 Ohm/km Conductor Material Aluminium 🔽	
DC Short-Circuit	Parameters per Length 1.2-Sequence Parameters per Length Zero Sequence	
RMS-Simulation EMT-Simulation	Susceptance B' 3.141593 uS/km Susceptance B0' 0.7 uS/km	
Harmonics/Power Quality Protection	Ins. Factor 0.	
Optimal Power Flow Reliability		
Cable Sizing		
Description		

Εικόνα 21 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 5 400kV 100km

AC Line 7 400kV 80km

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 7(Εικόνα 22)

•

ine - Grid\AC LINE 7 80km	400kV.ElmLne				? >
Basic Data	Name	AC LINE 7 80km 400kV			ок
Load Flow	Туре	► ← Equipment Type Library\AC 400kV			Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Terminal i	➡ Grid\Main bus 3\2\Cub_1	BB		
Complete Short-Circuit	Teminal j	➡ Grid\Main 4\5\Cub_1	BB		Hgure >>
ANSI Short-Circuit	Zone	Terminal i 💌 🔺			Jump to
IEC 61363	Area	Terminal i 💌 🔺			
DC Short-Circuit	Cut of Service				
RMS-Simulation	Number of		Resulting Values		
EMT-Simulation	parallel Lines	1	Rated Current (act.) Pos. Seg. Impedance, 71	1, kA 20.08446 Obm	
Harmonics/Power Quality	Parameters		Pos. Seq. Impedance, Angle	84,74358 deg	
Optimal Power Flow	Thermal Rating	▼ +	Pos. Seq. Resistance, R1 Pos. Seq. Reactance, X1	1,84 Ohm 20. Ohm	
Reliability	Length of Line	80, km	Zero Seq. Resistance, R0	16, Ohm	
Generation Adequacy	Derating Factor	1.	Zero Seq. Reactance, X0 Earth-Fault Current, Ice	80, Ohm 38,79794 A	
Tie Open Point Opt.	Laying	Ground	Earth Factor, Magnitude	1.02315	
Cable Sizing Description	Type of Line	Cable	Earth Factor, Angle	-8,022421 deg	
	Line Model				
	Lumped Para	ameter (PI)			
	C Distributed P	arameter			
	Sections/	Line Loads			

Line Type - Equipment Type	Library\AC 400kV.Typ	ne	? ×
Line Type - Equipment Type Base Data Load Row VDE/EC Short-Crout Complete Short-Crout ANSI Short-Crout IEC 61363 DC Short-Crout RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Cable String Description	Library/AC 400kV.Typ Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per Le AC-Resistance F Reactance X'	ne	? × OK Cancel

Line Type - Equipment Type Library\AC 400kV.TypLne	? ×
Basic Data Parameters per Length 1.2-Sequence	ОК
Load Flow Max. Operational Temperature 80, degC	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	
Complete Short-Circuit AC-Resistance R'(20°C) 0.023 Ohm/km	
ANSI Short-Circuit Conductor Material Aluminium	
IEC 61363	
DC Short-Circuit Parameters per Length 1,2-Sequence Parameters per Length Zero Sequence	
RMS-Simulation Susceptance B' 3141593 uS/km Susceptance BC 0.7 uS/km	
EMT-Simulation	
Hamonics/Power Quality	
Protection Ins. Factor IV, Ins. Factor IV,	
Optimal Power Flow	
Reliability	
Generation Adequacy	
Cable Sizing	
Description	

Εικόνα 22 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 7 400kV 80km

AC Line 9 400kV 80km

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 9(Εικόνα 23)

•

ſ	ine - Grid\AC LINE 9 80km 4	00kV.ElmLne			BI	? ×
h	Paolo Data					OK
H	Load Flow	Name	The line of some time three to contain			
Ш	VDE/IEC Short-Circuit	Tomical i	Equipment Type Library AC 400kV	DD		Cancel
l	Complete Short-Circuit	Terminal i	Circle (Main 5) 1 (Cub_1)	BB		Figure >>
Ш	ANSI Short-Circuit	Zone		00		Jump to
Ш	IEC 61363	Area	Terminal i			
H	DC Short-Circuit	Cut of Service				
ł	RMS-Simulation	Number of		Resulting Values		
	EMT-Simulation	parallel Lines	1	Rated Current (act.)	1, kA	
Ш	Harmonics/Power Quality	Parameters		Pos. Seq. Impedance, 21 Pos. Seq. Impedance, Angle	84,74358 deg	
l	Optimal Power Flow	Thermal Rating	▼ +	Pos. Seq. Resistance, R1 Pos. Seq. Reactance, X1	1,84 Ohm 20. Ohm	
Ш	Reliability	Length of Line	80. km	Zero Seq. Resistance, R0	16, Ohm	
Ш	Generation Adequacy	Derating Factor	1.	Zero Seq. Reactance, X0 Earth-Fault Current, Ice	80, Ohm 38,79794 A	
Ш	Tie Open Point Opt.	Laying	Ground	Earth Factor, Magnitude	1,02315	
H	Cable Sizing	Type of Line	Cable	Earth Factor, Angle	-6,022421 deg	
Ш	Description	the Medel				
H		Lumped Par	ameter (PI)			
l		C Distributed F	Parameter			
l		Sections/	line Loade			
Ш						
Ш						
l						
l						
Ľ						
ſ	Line Type - Equipment Type L	ibrary\AC 400kV.Ty	/pLne			? X
	Basic Data	Name	AC 400kV	_		ОК
I	Load Flow	Rated Voltage	400. kV			Cancel
I	VDE/IEC Short-Circuit	Rated Current	1, kA (in ground) Rated C	urrent (in air) 1,		
I	Complete Short-Circuit	Nominal Frequenc	y 50. Hz	,		
I	ANSI Short-Circuit	Cable / OHL	Cable			
I	IEC 61363	System Type	AC Phases 3 V	Number of Neutrals 0	-	
4	DC Short-Circuit				_	
1	RMS-Simulation	AC Devict	Proprio 0000 Pa	rameters per Length Zero Sequer	Ohen fam	
I	FMT-Simulation	AC-Resistance	R'(20°C) 0,023 Ohm/km	AC-Resistance R0' [0,2	Ohm/km	
1	Harmonics/Power Quality	Reactance X	0.25 Ohm/km	Reactance X0'	●	
	Protection				0.110 All	
1	Ontimal Power Flow	-				
1	Delishity					
	neiability					
l	Generation Adequacy					
I	Cable Sizing					
I	Description					
l						
l						
1						
1						
1						
L						

Line Type - Equipment Type Li	brary\AC 400kV.TypLne	? ×
Basic Data	Parameters per Length 1,2.Sequence	ОК
VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit	AC-Resistance R(20°C)	Cancel
ANSI Short-Circuit	Conductor Material Aluminium	
DC Short-Circuit	Parameters per Length 1.2-Sequence	
RMS-Simulation EMT-Simulation	Susceptance B' 3,141593 uS/km Susceptance B0' 0,7 uS/km	
Harmonics/Power Quality	Ins. Factor 0,	
Optimal Power Flow		
Reliability Generation Adequacy		
Cable Sizing		
Description		
L		

Εικόνα 23 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 9 400kV 80km

AC Line 11 400kV 50km

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 10(Εικόνα 24)

Line - Grid\AC LINE 11 50km	400kV.ElmLne		? ×
Basic Data	Name AC LINE 11 50km 400kV		ОК
Load Flow	Type Figuipment Type Library\AC 400kV		Canaal
VDE/IEC Short-Circuit	Terminal i ▼ → Grid\Main5\2\Cub_1	BB	Cancer
Complete Short-Circuit	Terminal j Grid\Main 6\1\Cub_1	BB	Figure >>
ANSI Short-Circuit	Zone Terminal i 💌 🕈		Jump to
IEC 61363	Area Terminal i 🗨 🔸		
DC Short-Circuit	Out of Service		
RMS-Simulation	Number of	Resulting Values	
EMT-Simulation	parallel Lines 1	Rated Current (act.) 1, kA Ros Sea Impedance 71 12 55279 Ohm	
Harmonics/Power Quality	Parameters	Pos. Seq. Impedance, Angle 84,74358 deg	
Optimal Power Flow	Thermal Rating 🔻 🔸	Pos. Seq. Resistance, R1 1,15 Ohm Pos. Seq. Reactance, X1 12.5 Ohm	
Reliability	Length of Line 50, km	Zero Seq. Resistance, R0 10, Ohm	
Generation Adequacy	Derating Factor 1.	Zero Seq. Reactance, X0 50, Ohm Earth-Fault Current, Ice 24,24871 A	
Tie Open Point Opt.	Laying Ground 💌	Earth Factor, Magnitude 1,02315	
Cable Sizing	Turne of Line Cable	Earth Factor, Angle -8,022422 deg	
Description	Type of Line Cable		
	(Lumped Parameter (PI)		
	C Distributed Parameter		
	Sections/Line Loads		
Line Type - Equipment Type I	Library\AC 400kV.TypLne		? X
Rasic Data		_	ОК
Load Flow	Pated Velance 400 InV		
VDE //EC Sheet Circuit	Nated Voltage 400, KV		Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Current 1, kA (in ground) Rated C	Jurrent (in air) 1, kA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency [50, Hz		
ANSI Short-Circuit	Cable / OHL Cable		
IEC 61363	System Type AC Phases 3	Number of Neutrals 0	
DC Short-Circuit	Parameters per Length 1,2-Sequence	arameters per Length Zero Sequence	
RMS-Simulation	AC-Resistance R'(20°C) 0,023 Ohm/km	AC-Resistance R0' 0,2 Ohm/km	
EMT-Simulation			
Harmonics/Power Quality	Reactance X' 0,25 Ohm/km	Reactance X0' 1. Ohm/km	
Protection			
Optimal Power Flow			
Optimal Power Row Reliability			
Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy			
Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Cable Sizing			
Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Cable Sizing			
Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy Cable Sizing Description			
Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Cable Sizing Description			
Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Cable Sizing Description			
Optimal Power Row Relability Generation Adequacy Cable Sizing Description			
Optimal Power Row Relaability Generation Adequacy Cable Sizing Description			
Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Cable Stang Description			
Optimal Power Now Reliability Generation Adequacy Cable String Description			

Line Type - Equipment Type Lil	brary\AC 400kV.TypLne	? ×
Basic Data	Parameters per Length 1,2-Sequence	ОК
Load Flow	Max. Operational Temperature 80, degC	Cancel
Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61963 DC Short-Circuit RIMS-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Cable Staing Description	Max. Operational Temperature 90. degC AC:Resistance R(20°C) 0.023 Ohm.km Conductor Material ALuminum Image: Conductor Material Susceptance Br 3.141593 uS/km Ins. Factor 0. Image: Conductor	Cancel

Εικόνα 24 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 11 400kV 50km

AC Line 12 400kV 100km

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γραμμής Μεταφοράς AC 'Line 12(Εικόνα 25)

•

	Name AC 4000AV		OK
pad Flow	Rated Voltage 400 kV		
DE/IEC Short-Circuit	Rated Current 1 kA (in or	round) Rated Current (in air) 1	Cancel
omplete Short-Circuit	Nominal Frequency 50. Hz	ioundy nated carenciprany [1,	NA .
VSI Short-Circuit	Cable / OHI Cable V		
C 61363	Sustem Tune AC Ph	Number of Neutrale	-
C Short-Circuit			<u> </u>
MS-Simulation	Parameters per Length 1,2-Sequence AC Posistance P(20)C) 0.022 Obr	Parameters per Length Zero Sequer	Ohm (rm
IT-Simulation	AC-Resistance R (20 C) [0,023 Onr	n/km Ac-nesistance Ru ju,2	Unm/km
armonics/Power Quality	Reactance X' 0,25 Ohr	m/km Reactance X0' 1.	Ohm/km
otection			
ptimal Power Flow			
eliability			
eneration Adequacy			
able Sizing			
escription			
e - Grid\AC LINE 12 400k	.ElmLne		? >
Basic Data	Name AC LINE 12 400kV		ОК
Load Flow	Type	Library\AC 400kV	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Terminal i ▼ → Grid\Main 6\2\Cu	ub_1 BB	
Complete Short-Circuit	Teminal j Grid \Main bus 3	9\Cub_1 BB	Figure >:
ANSI Short-Circuit	Zone Terminal i 🔹	•	Jump to .
	Area Terminal i	<u>•</u>	
BMS-Simulation	Out of Service Number of	Resulting Values	
EMT-Simulation	parallel Lines 1	Rated Current (act.)	1, kA
Harmonics/Power Quality	Parameters	Pos. Seq. Impedance, Z1 Pos. Seq. Impedance, Angle	25,10558 Ohm 84,74358 deg
Optimal Power Flow	Themal Rating	Pos. Seq. Resistance, R1 Pos. Seq. Reactance, X1	2,3 Ohm 25 Ohm
Reliability	Length of Line 100,	km Zero Seq. Resistance, R0 Zero Seq. Resistance, R0	20, Ohm 100, Ohm
Generation Adequacy	Derating Factor 1,	Earth-Fault Current, Ice	48,49743 A
Tie Open Point Opt.	Laying Ground	Earth Factor, Magnitude Earth Factor, Angle	1,02315 -8,022422 deg
Cable Sizing	Type of Line Cable		
beenpeer	Line Model		
	 Lumped Parameter (PI) 		
	C Distributed Parameter		
	C Distributed Parameter		
	C Distributed Parameter Sections/Line Loads		
	C Distributed Parameter Sections/Line Loads		
	C Distributed Parameter Sections/Line Loads		
	C Distributed Parameter Sections/Line Loads		
	C Distributed Parameter Sections/Line Loads		
	C Distributed Parameter Sections/Line Loads		
na Tana Environment Tana	Distributed Parameter Sections/Line Loads		
ne Type - Equipment Type	Distributed Parameter Sections/Line Loads bray/AC 400K/.TypLne Parameters in 10.2		? ×
ne Type - Equipment Type Besic Date	Distributed Parameter Sections/Line Loads branyIAC 400K//TypLine Parameters pr Length 1.2.Sequence Mar Construct Temorative In	- decl.	? ×
ne Type - Equipment Type Base Data Load Row VDE/IEC Shard-Crowt	Distributed Parameter Sections/Line Loads brany\AC 400KV.TypLne Parameter per Length 12.Sequence Max.Operational Temperature 00.		? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Raw VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit	C Distributed Parameter Sections/Line Loads ibrary/AC 400K/.TypI.ne Parameters per Length 12.Sequence Max. Operational Temperature 0. AC-Restitance R(20'C) 0.023	⊂ degC Orm/Am	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit	Distributed Parameter Sections/Line Loads branyLAC 400KV/TypLne Parameters per Length 12-Sequence Max. Operational Temperature 0. AC-Resistance R(20 °C) 0.023 Conductor Maerial Aumenum	⊂ degC 	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363	Distributed Parameter Sections/Line Loads brany\AC 400K/.TypI.ne Parameters per Length 1.2.Sequence Max. Operational Temperature 00. AC-Resistance R(20'C) 0.023 Conductor Material Auminum	[−] degC Otm/km	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit ANSI Short Circuit IEC 61363 DC Short Circuit	Distributed Parameter Sections/Line Loads brany\AC 400K/.TypLne Parameters per Length 1.2.Sequence Max. Operational Temperature 0. AC-Resistance R(20°C) 0.023 Conductor Material Parameters per Length 1.2.Sequence	degC Obm/km	? X OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Laad How VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EXT Simulation	Distributed Parameter Sections/Line Loads ibrany\AC 400K/.TypLne Parameters per Length 1.2.Sequence Max. Operational Temperature [00, AC-Resistance R(20°C) [0.023 Conductor Material ALminum Parameters per Length 1.2.Sequence Susceptance B* [3.141593] us/km	degC Orm/km Image: Superstance B0	? X OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61983 D Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation	Distributed Parameter Sections/Line Loads ibrany\AC 400K/.7ypLne Parameters per Length 1.2.Sequence Max. Operational Temperature [90, AC-Resistance R(20°C) [0.023 Conductor Material Aluminum Parameters per Length 1.2.Sequence Susceptance B' [3.141593] uS/km	degC Ohm/km Parameters per Length Zero Sequence Susceptance B0' 0.7	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Flow VDE/REC Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit EC 51363 DC Short-Circuit RMS-Simulation ENT-Simulation Harmonica/Power Quality Protection	Distributed Parameter Sections/Line Loads branyLAC 400KV/TypLne Parameters per Length 12.Sequence Max.Operational Temperature 00. Ac-Resistance R(20'C) 0.023 Conductor Material Parameters per Length 12.Sequence Susceptance B 3.141593 uS.4cm Ins. Factor 0.	deyC Oran/em Parameters per Length Zero Sequence Susceptance B0' 0.7 Ins. Factor 0.	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Row VDE/IEC Shot-Circuit Complete Shot-Circuit IEC 61363 DC Shot-Circuit IEC 61363 DC Shot-Circuit RIMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Protection Costnal Power Row	Distributed Parameter Sections/Line Loads BranyLAC 400KV.TypLne Parameters per Length 1.2.Sequence Max. Operational Temperature 00. AC-Resistance R(20'C) 0.023 Conductor Material Parameters per Length 1.2.Sequence Susceptance B' Susceptance Susceptance	degC OtmAn Parameters per Length Zero Sequence Susceptance 80 0.7 Ins. Fector 0.	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load How VDE/IEC Shot Circuit ANSI Shot-Circuit IEC 61363 DC Shot-Circuit IEC 61363 DC Shot-Circuit IEC 61363 DC Shot-Circuit IEC 61363 CS	C Distributed Parameter Sections/Line Loads brany/AC 400K/.TypLne Parameters per Length 1.2.Sequence Max. Operational Temperature [80. AC-Restitance R(20'C) [0.023 Conductor Material Auminum Parameters per Length 1.2.Sequence Susceptance B' [3.141593 u.S.Am ks. Factor [0.]	degC Orm/Am Image: Suboptance B0* 0.7	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Row VDE/IEC Shot-Circuit OP/IEC Shot-Circuit ANSI Shot-Circuit IEC 61363 DC Shot-Circuit IEC 61363 DC Shot-Circuit IEMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Protection Optimal Power Flow Relability Generation Adequacy	C Datributed Parameter Sections/Line Loads bran/LAC 400K/.TypLne Parameters per Length 12.Sequence Max.Operational Temperature 0. AC-Resistance R(20'C) 0.023 Conductor Material Auminum Parameters per Length 12.Sequence Susceptance B 3.141593 uS/km ins.Factor 0.	degC Otm/km Image: Substance B0 0.7 Image: Redor 0.7 Image: Redor 0.7	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Crout AVSI Short-Crout AISI Short-Crout AISI Short-Crout IEC 61363 DC Short-Crout IEC 6	Distributed Parameter Sections/Line Loads brany/AC 400K/.TypLine Parameters per Length 12.Sequence Max. Operational Temperature [80. AC-Resistance R(20'C) [0.023 Conductor Material [Auminium] Parameters per Length 12.Sequence Susceptance B [3:141593] u.S.Km Ins. Factor [0.]	degC Ohm/km Image: Susceptance B0 0.7 Image: Susceptance B0 0.7 Image: Susceptance B0 0.7 Image: Susceptance B0 0.7	? × OK Cancel
Ine Type - Equipment Type Basic Data Load Flow VDE/IEC Short Circuit Complete Short-Circuit EC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Hammorics/Power Quality Protection Optimal Power Flow Reliabity Cable Saring Description	Distributed Parameter Sections/Line Loads brany\AC 400k/.TypLne Parameters per Length 12.Sequence Max. Operational Temperature [00. AC-Resistance R(20'C) [0.023 Conductor Material [Auminium] Parameters per Length 12.Sequence Susceptance B [3.141593] u.S.Am Ins. Factor [0.]	degC Ohrn/km Image: Substant Specific State Sequence Substant Specific Specific State Sequence Image: Substant Specific State Sequence Image: Substant Specific S	? X OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Flow VDE/EC Short Circuit Complete Short Circuit Complete Short Circuit IEC 61363 CS Short-Circuit ENT-Simulation ENT-Simulation ENT-Simulation ENT-Simulation ENT-Simulation Cyclinal Power Flow Relability Circuit Adequacy Cable Starg Description	Datibuted Parameter Sections/Line Loads brary\AC 400K/.TypLne Parameters per Length 12.Sequence Max Operational Temperature 90. AC-Resistance R(20°C) 0.023 Conductor Material ALminum Parameters per Length 12.Sequence Susceptance B* 3.141593 u.S.Am Ins. Factor 0.	degC Ohm/km Parameters per Length Zero Sequence Susceptance B0 0.7 Ins. Factor 0.	? × OK Cancel
ne Type - Equipment Type Basic Data Load Flow VDE/EC Short Circuit Complete Short Circuit Complete Short Circuit EG Short Circuit EG Short Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Protection Optimal Power Flow Reliabity Carearation Adequacy Cable Saing Description	Datibuted Parameter Sections/Line Loads branyLAC 400KV.TypLne Parameters per Length 12.Sequence Max.Operational Temperature [00, AC-Resistance R(20°C) [0.023 Conductor Material [ALminum Parameters per Length 12.Sequence Susceptance B [3.141593] u.S.4m Ins. Factor [0,]	degC Orm/km Image: Subseptance B0° 0.7 Image: Subseptance B0° 0.7 Image: Subseptance B0° 0.7	? × OK Cancel

Εικόνα 25 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 12 400kV 100km

<u>Μετασχηματιστές</u>

•

Transformer G1

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του Μετασχηματιστή Transformer G1(Εικόνα 26)



asic Data	Con-load Tap Changer	
oad Flow	I Tap Changer 1	Ca
VDE/IEC Short-Circuit	Type Ratio/Asym. Phase Shifter 💌	
Complete Short-Circuit	at Side HV 💌	
ANSI Short-Circuit	Additional Voltage per Tap 1.25 %	
IEC 61363	Phase of du 0, deg	
DC Short-Circuit	Neutral Position 0	
RMS-Simulation	Minimum Position -8	
EMT-Simulation	Maximum Position 8	
Harmonics/Power Quality		
Protection	Voltage Range -10.0 % <= pT <= 10.0 %	
Optimal Power Flow		
Reliability		
Generation Adequacy		
Description		

Εικόνα 26 Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστή Transformer G1

Transformer GEN 3

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του Μετασχηματιστή Transformer G3(Εικόνα 27)

- I load klow		
2-Winding Transformer Type	- Equipment Type Library\Transformer 16.5kV/600MVA.TypTr2	? X
Basic Data	C On-load Tap Changer	ОК
Load Flow	Tap Changer 1	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Type Ratio/Asym. Phase Shifter 💌	
Complete Short-Circuit	at Side HV 💌	
ANSI Short-Circuit	Additional Voltage per Tap 1.25 %	
IEC 61363	Phase of du 0, deg	
DC Short-Circuit	Neutral Position 0	
RMS-Simulation	Minimum Position -8	
EMT-Simulation	Maximum Position 8	
Harmonics/Power Quality		
Protection	Voltage Range -10.0 % <= pT <= 10.0 %	
Optimal Power Flow		
Reliability		
Generation Adequacy		
Description		
2-Winding Transformer - G	rid Transformer GEN 3 FImTr2	2 X
Paria Data	General Grounding/Neutral Conductor	
Load Flow	Name Transformer GEN 3	
VDE/IEC Short-Circuit	Type ent Type Library\Transformer 16.5kV/600MVA	
Complete Short-Circuit	HV-Side did\Main5\3\Cub_1 BB	Figure >>
ANSI Short-Circuit	LV-Side Grid\GEN 3\1\Cub_1 BB	Jump to
IEC 61363	Zone HV-Side • •	
BMS-Simulation		
EMT-Simulation	Number of Flip Connections	
Harmonics/Power Quality	parallel Transformers	
Protection	Themal Rating	
Optimal Power Flow	Rating Factor 1. Rated Power (act.) 600, MVA	
State Estimation		
Reliability	Supplied Elements	
Tie Open Point Opt.	Mark Elements in Graphic Edit Elements	
Description		1 1

2-Winding Transformer Type	 Equipment Type Library\Tran 	nsformer 16.5kV/6	500MVA.TypTr2	2				? X
Basic Data	General Tap Changer Satu	ration Advanced]				. [ОК
Load Row	Magnetizing Impedance —							Cereral
VDE/IEC Short-Circuit	No Load Current),1 %						Caricel
Complete Short-Circuit	No Load Losses	800, kW						
ANSI Short-Circuit	-							
IEC 61363	Distribution of Leakage Rea	actances (p.u.)						
DC Short-Circuit	x,Pos.Seq. HV-Side),5						
RMS-Simulation	x,Pos.Seq. LV-Side),5						
EMT-Simulation	Distribution of Leakage Res	istances (p.u.)						
Harmonics/Power Quality	r,Pos.Seq. HV-Side),5						
Protection	r,Pos.Seq. LV-Side),5						
Optimal Power Flow								
Reliability								
Generation Adequacy								
Description								
	NameLizotom	nor (JEN 3						
2-Winding Transformer Type	Name Ursector Equipment Type Library\Trar	nsf (SEN 2 Isformer 16.5kV/6	500MVA.TypTr2	2			1	? ×
2-Winding Transformer Type Basic Data	Name Library\Trar Reuipment Type Library\Trar Name	nsformer 16.5kV/6	500MVA.TypTr2 kV/600MVA	2				? Х
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row	Name Technology	nsformer 16.5kV/6 Transformer 16.5 Three Phase Tra	500MVA. Typ Tra KV/600MVA Insformer	2				? × OK Cancel
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit	Here Iterator Equipment Type Library∖Trar Name Technology Rated Power	Transformer 16.5kV/6	500MVA. Typ Trz KV/600MVA Insformer MVA	2				? X OK Cancel
2-Vinding Tansformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit	Equipment Type Library/Tran Name Technology Rated Power Nomal Frequency	Fransformer 16.5kV/6 Transformer 16.5kV/6 Three Phase Tra 600, 1 50, 1	500MVA. Typ Tr2 RV/600MVA Insformer MVA Hz	2				? X OK Cancel
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Shon-Grout Complete Shon-Grout ANSI Shon-Circuit	Equipment Type Library/Tran Name Technology Rated Power Nomal Frequency Rated Votage	Soformer 16.5kV/6 Transformer 16.5kV/6 Three Phase Transformer 16.5 50, 1 50,	500MVA. Typ Tra kV/600MVA insformer MVA Hz	2 Vector Group				? X OK Cancel
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit IEC 61363	Equipment Type Library/Tran Name Technology Rated Power Nomal Frequency Rated Votage HV-Side LVS-de	Interference Interference<	500MVA. Typ Tr2 KV/600MVA Insformer MVA Hz KV	2 Vector Group HV-Side LV-Side	YN V			? X OK Cancel
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit	Equipment Type Library/Tran Technology Rated Power Nonnal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Side	Stormer 16.5kV/6 Transformer 16.5 Three Phase Tra 600, 1 50, + 400, k	500MVA.TypTr2 RV/600MVA Insformer NVA Hz KV KV	2 Vector Group HV-Side LV-Side	YN V D V			? X OK Cancel
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Shon-Grout Complete Shon-Grout IEC 61363 DC Shon-Grout IEC 61363 DC Shon-Grout IEC 61363 DC Shon-Grout IEC 61363 DC Shon-Grout	Equipment Type Library/Tar Name Technology Rated Power Nonnal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Side LV-Side	Finansionmer 16.5kV/6 Transformer 16.5kV/6 Three Phase Transformer 16.5kV/6 50. 1 50. 400. 1 1	500MVA.TypTr2 kV/600MVA insformer MVA Hz kV kV kV	2 Vector Group HV-Side LV-Side	YN V D V	- "30deg		? X OK Cancel
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Grout Complete Short-Grout IEC 61363 DC Short-Grout IEC 61363 IEC 61363	Nane Equipment Type Library\Tar Name Technology Rated Power Nominal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Side LV-Side LV-Side Control Votage uk	corf5bl/3 sformer 16.5kV/6 [Tensformer 16.5kV/6 Three Phase Tra [600, 1] [50, 1] [600, 1] [600, 1] [600, 1] [600, 1] [600, 1] [600, 1] [600, 1] [600, 1] [65, 1]	500MVA.TypTr2 kV/600MVA Insformer MVA 4z kV kV	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	YN • D •	- *30deg		? X OK Cancel
2-Winding Transformer Type Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation	Nanc Type Library/Tar Rame Technology Rated Power Nominia Frequency Rated Voltage HV-Side LV-Side LV-Side LV-Side Copper Losses	irransformer 16.5kV/d	500MVA.TypTr2 RV/600MVA Insformer MVA 4z (V (V (V (V) (V) (V) (V) (V)	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	YN • D • 1. YNd1	*30deg		? X OK Cancel
East Data East Data Load Row VDE/IEC Shot-Orout Complete Shot-Orout IEC 61363 DC Shot-Orout IEC 61363 DC Shot-Orout RMS-Smulation EMT-Smulation EMT-S	Name Trept library/Tar Name Technology Rated Power Nonnal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Side LV-Side Positive Sequence Impedan Short-Circuit Votage uk Copper Losses Zero Sequence Impedance	Image: Second	500MVA.TypTr2 kV/500MVA Insformer MVA 4z kV kV kV	2 Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	YN ▼ D ▼ I . YNd1			? X OK Cancel
East Annual	Name Technology Rated Power Nominal Frequency Rated Power Nominal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Si	irrandoment 16.5kV/d irrandoment 16.5kV/d former 16.5kV/d <t< td=""><td>500MVA.TypTr2 kV/500MVA Insformer MVA 4z kV kV kV</td><td>2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name</td><td>YN ▼ D ▼ I 1. YN⊌1 1</td><td>*30deg</td><td></td><td>? X OK Cancel</td></t<>	500MVA.TypTr2 kV/500MVA Insformer MVA 4z kV kV kV	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	YN ▼ D ▼ I 1. YN⊌1 1	*30deg		? X OK Cancel
Basic Data Complete Stort-Circuit Complete Stort-Circuit EEE C 51:0 Concut EE C 51:0 Concut EE C 51:0 Concut EE C 51:0 Concut EE C 51:0 Concut EMS-Smulation Hamonica/Power Quality Protection Optmal Power Row Relability Generation Adecuacy	Equipment Type Library/Tar Name Technology Rated Power Nomal Frequency Rated Vokape HV-Side LV-Side LV-Side LV-Side LV-Side Zero Sequence Impedance Short Circuit Vokage uk Copper Losses	Image: Second	500MVA.TypTr2 RV/500MVA Insformer NVA 4z KV KV KV KV KV KV KV KV KV KV KV KV	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	YN ▼ D ▼ I YNu1	- '30deg 		? X OK Cancel
Source Annual States Control Cont	Equipment Type Library\Tian Name Technology Rated Power Nominal Frequency Rated Volkage HV-Side LV-Side LV-Side LV-Side LV-Side LV-Side Zero Sequence Impedance Shot-Circuit Volkage uk0 SHC-Volkage (Rei_sk0)) uk0r	Instruction	500MVA.TypTr2 RV/600MVA Insformer MVA 42 KV KV KV KV KV KV KV KV KV KV KV	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	YN V D V 11. YNd1	*30deg		? X OK Cancel
Basic Data Load Row VDE/ICS Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit Exist Short-Circuit Exist Call CShort-Circuit Exist Call RMS-Simulation EMT-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Relability Generation Adequacy Description	Name Equipment Type Library\Tiar Name Technology Rated Power Nominal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Side LV-Side Postive Sequence Impedance Short-Circuit Votage uk Copper Losses -Zero Sequence Impedance Shot-Circuit Votage (Rejuk/0)) uk0r	ifandomer 16.5kl/d ifandomer 16.5kl/d Three Phase Tra 600. 1 50. 1 400. k 16.5 k 16.5 k 16.5 k 1200. k 1201. 1	500MVA.TypTr2 rxV/600MVA insformer MVA 4z (V (V (V (V (V (V) (V) (V) (V) (V) (V)	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	YN V D V 1.	- '30deg		? X OK Cancel
Basic Data Load Row VDE/ICS Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit EC 61363 DC Short-Circuit EC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Relability Generation Adequacy Description	Name Equipment Type Library\Tiar Name Technology Rated Power Nominal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Side LV-Side Postive Sequence Impedance Short-Circuit Votage uk Copper Losses -Zero Sequence Impedance Shot-Circuit Votage (Reijuk/0)) uk0r	ifandomer 16.5kl/d ifandomer 16.5kl/d Three Phase Tra 600. 1 50. 1 400. k 16.5 k 0 1 100. k 110.5 k 1200. k 12.8 1 0.1 1	500MVA.TypTr2 nsformer MVA 4z (V (V (V (V (V) (V) (V) (V) (V) (V) (V)	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	ТИ т р т 1. тыл	- *30deg		? X OK Cancel
Basic Data Load Row VDE/ICS Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit IEC 61363 CC-Short-Circuit EK 61363 CC-Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Coptinal Power Row Reliability Canention Adequacy Description	Name Lineadour Equipment Type Library/Tar Technology Rated Power Nominal Frequency Rated Voltage HV-Side LV-Side LV-Side Postive Sequence Impedance Short Circuit Voltage uk Copper Losses Zero Sequence Impedance Shot-Circuit Voltage uk0 SHC-Voltage (Re(sk0)) uk0r	Instruction Instruction Instruction 16.5kV/d Three Phase Transformer 16.5kV/d 1600 1 150 1 16.5 1 16.5 1 16.5 1 1200 1 12.8 1 10.1 1	500MVA.TypTr2 nsformer NVA 4z (V (V (V (V (V) (V) (V) (V) (V) (V) (V)	2 - Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	ТИ т D т Г. YNd1	*30deg		? × OK Cancel
Basic Data Load Row VDE/ICS Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit IEC 61363 CC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Relability Generation Adequacy Description	Name Lineadour Equipment Type Library/Tiar Technology Rated Power Nominal Frequency Rated Votage HV-Side LV-Side LV-Side Postive Sequence Impedance Short Circuit Votage uk Copper Losses Zero Sequence Impedance Shot-Circuit Votage uk0 SHC-Votage (Re(sk0)) uk0r	Instruction	500MVA.TypTr2 nsformer NVA 4z (V (V (V (V) (V) (V) (V) (V) (V) (V) (V	2 Vector Group HV-Side LV-Side Phase Shift Name	Тул • □ • 1 . У№1	*30deg		? X OK Cancel

Εικόνα 27 Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστή Transformer G3

<u>Γεννήτριες</u>

• Generator 1

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γεννήτριας Generator 1(Εικόνα 28)

m	<u></u>	
Synchronous Machine - Grid	I\GEN 1 360MW.EImSym	? X
Duris Duta	General Grounding/Neutral Conductor	OK
basic Data		
Load How	Name GEN I JOUMVV	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Type	Baum 22
Complete Short-Circuit	Terminal Grid\GEN 1\1\Cub_1 BB	
ANSI Short-Circuit	Zone 🔸	Jump to
IEC 61363	Area +	
120 01303		
DC Short-Circuit	Out of Service	
RMS-Simulation	Number of	
EMT-Simulation	parallel Machines	
Harmonics/Power Quality		
-	Generator/Motor	
Protection	Generator	
Optimal Power Flow	Motor	
State Estimation		
Reliability	Plant Category Coal	[
There do incy	Plant Model	
Generation Adequacy		
Description		
1		
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Synchronous Machine - Gri	d\GEN 1 360MW.ElmSym	? ×
	Cumples and a second	
Basic Data	General Advanced Automatic Dispatch	ОК
Load Flow	Spinning if circuit-breaker is open Mode of Local Voltage Controller	Cancel
VDE/IEC Short-Grouit	Reference Machine Power Factor	Cancer
Complete Sheet Council	Corresponding Bus Type: PQ C Voltage	Figure >>
Complete Short-Circuit		
ANSI Short-Circuit	External Secondary Controller	Jump to
IEC 61363	External Station Controller	
DC Short-Circuit	Dispatch Capability Curve	
DMC Simulation	Input Mode Default 💌	
rtm5-5imulation	gmin/-1.00 p gmax/ 1.00	
EMT-Simulation	Active Power 360, MW 0.90	
Harmonics/Power Quality	Reactive Power 0. Mvar 0.6667 (0.00/0.61) 0.00	
Protection	Voltage 1,02 p.u. 0(3333	
	ángie O deg	
Optimal Power Flow	1,000 -0,333 0,333 1,000.00	
State Estimation	Prim. Fréquency Bias 900, MIW/Hz -1/xd	
Reliability	Reactive Power Operational Limits	
Generation Adequacy	Canability Curve	
Description		
Description		
	Min. [-1, p.u. [-592, Mvar Scaling Factor (min.) [100, %	
	Max. 1, p.u. 592, Mvar Scaling Factor (max.) 100, %	
	- Active Power Operational Limits	
	Min. ju, MW	
	Max. 9999, MW Pn 532,8 MW	
	Active Power: Dation	
	Mar 500 0 MM Delta Factor	
	Max. 1032,8 MW Hating Factor 1, Ph 532,8 MW	
1		
Synchronous Machine Type -	Equipment Type Library\Generator18kV/592MVA.TypSym	? ×
71-		
Basic Data	Name Generator18kV/592MVA	ОК
Load Flow	Nominal Annarent Power 592 MVA	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit		
Complete Short-Circuit	Nominal Voltage	
ANGI Chest C	Power Factor 0.9	
AIV51 Short-Circuit	Connection YN 💌	
IEC 61363		
DC Short-Circuit		
RMS-Simulation		
FMT-Simulation		
Circle Sufficience		
Hamonics/Power Quality		
Harmonics/Power Quality Protection		
Harmonics/Power Quality Protection Optimal Power Flow		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy		
Harmonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Description		
Hamonica/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Description		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Description		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy Description		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Description		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Description		
Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Flow Reliability Generation Adequacy Description		

Synchronous Machine Type -	Equipment Type Libra	ary\Generato	r18kV/592MV	A.TypSym				? ×
Basic Data	Synchronous React	tances		7				ОК
Load Flow	xd	2,3	p.u.					Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	xq	2,	p.u.					
Complete Short-Circuit	- Reactive Power Lim	nits		2				
ANSI Short-Circuit	Minimum Value	-296,	Mvar 🟓					
IEC 61363	Maximum Value	296,	Mvar					
DC Short-Circuit								
RMS-Simulation	Zero Sequence Dat	ta	-	Negative Seque	ence Data	-		
EMT-Simulation	Heactance x0	0,1	p.u.	Reactance x2	0.2	p.u.		
Harmonics/Power Quality	Resistance r0 (0.	p.u.	Resistance r2	JO.	p.u.		
Protection								
Optimal Power Flow								
Reliability								
Generation Adequacy								
Benefation Adequacy								
Description								
Sunchronour Machine Tune -	General Count	Generator	-19-V/502MV	A Tursium				2 ×
Synchronous Machine Type -	General Journa Equipment Type Libra	ary\Generator	r18kV/592MV	A.TypSym				? ×
Synchronous Machine Type - Basic Data	Equipment Type Libra	ance	r18kV/592MV	A.TypSym	Shc. Current]	? ×
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row	Equipment Type Libra Subtransient Reacta saturated value xd"s	ary\Generator ance sat 0.2	r18kV/592MV	A.TypSym Steady-State	Shc. Current			? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VDE/IEC Shot-Crout	General Louis Equipment Type Libra Subtransient Reacta saturated value xd*s Stator Resistance	ance 0,2	r18kV/592MV	A.TypSym	Shc. Current — d of Reactances			? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Pow VDE/IEC Short-Orout Complete Short-Orout	Equipment Type Libra Subtransient Reacta saturated value xd*s Stator Resistance – rstr	ance sat 0.2	r18kV/592MV, р.и. р.и.	A. TypSym Steady-State	Shc. Current —			? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VOE/IEC Short-Creut Complete Short-Creut ANSI Short-Circuit	Equipment Type Libra Subtransient Reacta saturated value xd*s Stator Resistance – rstr	ance sat 0.2	r18kV/592МV/ р.и. р.и.	A. TypSym Steady-State	Shc. Current			? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VDE/ICC Short Circut Complete Short Circut ANSI Short Circut IEC 61363	Canacol Lo to Equipment Type Libra Subtransient Reacta saturated value xd*s Stator Resistance rstr Zero Sequence Dat	ance ance ance [0,001]	r18kV/592MV р.и. р.и.	A. TypSym Steady-State	Shc. Current			? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baic Data Load Row VDE/EC Short Circuit Complete Short Circuit EC 61363 DC Short Circuit	Concert 1/0	ance 0.2 0.001 a. 0.1	r18kV/592MV р.и. р.и. р.и.	A. TypSym Steady-State K instead Negative Se Reactance >	Shc. Current	р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baic Data Load Row VDE/IEC Stort-Crout Complete Shot-Crout ANSI Shot-Crout IEC 61363 DC: Shot-Crout RMS-Smutation	Equipment Type Libra Subtransent React saturated value xd"s Stator Resistance rdr Zero Sequence Dat Reactance x0 Resistance r0	anoc (0.001 (0.001 (0.001)	ри. ри. ри.	A. TypSym Steady-State K instead Negative Se Resolution	Shc. Current	р.и. р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circut Complete Short-Circut NISI Short-Circut IEC 6163 DC Short-Circut RMS-Simulation EMT-Simulation	Equipment Type Libra Equipment Type Libra Subtransient Reacta saturated value xd*s Stator Resistance ratr Zero Sequence Dat Resistance x0 Resistance r0	any\Generator ance sat 0.2 0.001 a a circuit	r18kV/592MV. р.и. р.и. р.и.	A.TypSym Steady-State I Ik instead Reactance x Resistance r	of Reactances d of Reactances quence Data 2 0.2 2 0.	р.и. р.и.		? X OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VDE/IEC Shot-Circut Complete Shot-Circut ANSI Shot-Circut IEC 61363 DC Shot-Circut RMS Smudation EMT-Smudation EMT-Smudation	Equipment Type Libre Subtransient Reacta saturated value xd*ts Stator Resistance ratr Zero Sequence Dat Reactance x0 Resistance r0 For single fed ahort	an, Generator ance sat 0.2 0.001 a a circuit circuit circuit ratio (xd	r18kV/592MV.	A.TypSym	- Shc. Current — d of Reactances quence Data — .2 0.2 2 0.	р.и. р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baic Data Load Row VDE/IES Short Circut ANSI Short Circut EEG 61363 DC Short Circut IEC 6363 DC Short Circut IEM Simulation EM T-Smulation Hamonics/Power Quality Protection	Equipment Type Libre Subtransient React saturated value xd*s Stator Resistance – ratr Zero Sequence Dat Reactance x0 Resistance r0 For single fed short- Reciprocal of short- Machine Type IEC9	ance	р.и. р.и. р.и. р.и. р.и.	A.TypSym Steady-State Kinstee Keactance x Resistance r I.2 p Salent Pole Sere	shc. Current	р.и. р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baic Data Load Row VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit EC 61363 CC Short Circuit EC 61363 CC Short Circuit RMS Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation	Equipment Type Libra Subtransient Reacts saturated value xd*s Stator Resistance ratr Zero Sequence Dat Resistance r0 For single fed abort - Reciprocal of short - Machine Type IEC9	ance	p.u. p.u. p.u. p.u. p.u.	A. TypSym Steady-State I is instead Negative Se Resolutions Resistance r I.2 p Salent Pole Sent	Shc. Current d of Reactances quence Data .2 0.2 2 0. 2 0.	р.и. р.и.		? ×
Synchronous Machine Type - Baic Data Load Row VDE/IEC Stort-Crout Complete Short-Crout ANSI Short-Crout IEC 61963 OC Short-Crout RMS-Simulation EMT-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Flow Falsabity	Equipment Type Libra Equipment Type Libra Subtransient Reacta saturated value xd*s Statr Resistance — ratr Zero Sequence Dat Resistance x0 Resistance r0 For single fed short- Reciprocal of short- Machine Type IECS	ance ance 0.2 (0.001)	р.и. р.и. р.и. р.и. р.и.	A.TypSym Steady-State Kinsteady Negative Se Resolution Se Interview Resistance of Interview Resistance of Interview Resistance of Interview Resistance of Resi	She. Current d of Reactances quence Data 2 0.2 2 0. 2 0.	р.и. р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baric Data Load Row VDE/ICS Short-Circut Complete Short-Circut Complete Short-Circut IEC 61363 ICC Sho	Equipment Type Libre Subtransient Reacta saturated value xd*s Stator Resistance rstr Zero Sequence Dat Resolance r0 Resistance r0 Reciprocal of short- Machine Type IEC9	ance	rl8kV/592MV	A. TypSym Steady-State I is instead Negative Se Reactance x Resistance r 1.2 p Salent Pole Serie	Shc. Current d of Reactances quence Data 2 [0,2 2 [0,2 2]0, 	р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VOERED Short Circut Complete Short Circut RASI Short Circut EG 61363 DC Short Circut RMS Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Cottnal Power Quality Protection	Equipment Type Libre Subtransient Reacta saturated value xd*a Stator Resistance ratr Zero Sequence Dat Reactance x0 Resistance r0 For angle fed short - Reciprocal of short - Machine Type IECS	any\Generator ance bat 0.2 0.001 a a circuit circuit circuit circuit circuit circuit	rl8kV/592MV	A.TypSym Steady-State It instead Negative Se Reactance x Resistance r [1,2 p Salient Pole Serie	shc. Current — d of Reactances quence Data 2 0.2 2 0. 2 0. 3 1 v	р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baic Data Laad Row VDE/EC Short Circut ANSI Short Circut EC 61363 DC Short Circut EK 6353 DC Short Circut RMS Smulation EMT-Smulation EMT-Smulation EMT-Smulation Protection	Equipment Type Libra Equipment Type Libra saturated value xd*a Stator Resistance – ratr Zero Sequence Dat Reactance x0 Resistance r0 For angle fed abort - Reciprocal of abort - Machine Type IEC9	ary/Generator ance ext [0.2 [0.001] a [0.1 [0. circuit circuit ratio (edi 009/IEC60909	p.u. p.u. p.u. p.u.	A.TypSym Steady-State k instead Negative Se Reactance x Resistance r 1.2 p Salient Pole Serie	Shc. Current — d of Reactances quence Data — .2 0.2 2 0.	р.и.		? ×
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Now VDE/EC Short-Croat Complete Short-Croat IEC 61363 DC Short-Croat IEC 6136 DC 6136 DC Short-Croat IEC 6136 DC Short-Croat IEC 6136 DC Short-Croat IEC 6136 DC Short-Croat IEC 6136 DC Short-Croat IEC 6136 DC Short-Croat IEC 6136 DC 6136 DC 6136 DC 6136 DC 6136 DC 6136 DC 6136 DC 6136 DC 6136 D	Equipment Type Libra Equipment Type Libra Staturated value xd*s Stator Resistance — ratr Zero Sequence Dat Resistance x0 Resistance r0 For single fed short- Reciprocal of short	any\Generator ance bat 0.2 0.001 .a 0.1 0. 0. circuit ratio (xd 09/IEC60909	p.u. p.u. p.u. p.u. p.u.	A. TypSym Steady-State I I Insteady Negative Se Resolution Se Resistance of I.2 p Salient Pole Send	Shc. Current	р.и.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baric Data Load Row VDE/IC Short-Circut Complete Short-Circut IEC 61363 DC Short-Circut IEC 613	Equipment Type Libre Equipment Type Libre saturated value xd*s Stator Resistance ratr Zero Sequence Dat Resolutione X0 Resistance r0 For single fed short ~ Reciprocal of short Machine Type IEC9	ary\Generator ance at [0.001] a a [0.11] [0. circuit circuit ratio (kd 09/IEC60909	r18kV/592MV/ p.u. p.u. p.u. p.u.	A. TypSym Steady-State K instead Negative Se Reactance x Resistance r 1.2 p Salent Pole Sene	She. Current d of Reactances 2 0.2 2 0. 	ри. ри.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VDEREG Short Circut Complete Short Circut EGE 61363 DC Short Circut EGE 61363 DC Short Circut EMT-Smudation Hamonica/Power Quality Protection Optimal Power Row Reliability Generation Adequacy Description	Equipment Type Libre Subtransient Reacta saturated value xd*a Stator Resistance – rat Zero Sequence Dat Reactance x0 Resistance r0 For single fed short - Reciprocal of short - Machine Type IECS	any/Generator ance est [0.2] [0.001] a [0.1] [0.] circuit ratio (vidi olos/IEC60909]	r18kV/592MV/	A.TypSym Steady-State Kinstee Keastance r Resistance r I.2 p Salient Pole Serie	she. Current — d of Reactances 2 0.2 2 0. s 1 v	ри. ри.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Baic Data Laad Row VDE/EC Short Circut ANSI Short Circut EC 61363 DC Short Circut EM - Smulation EM - Smulation EM - Smulation EM - Smulation EM - Smulation Copinal Power Row Reliability Generation Adequacy Description	Equipment Type Libra Equipment Type Libra saturated value xd*a Stator Resistance – ratr Zero Sequence Dat Reactance x0 Resistance r0 For angle fed abort- Reciprocal of abort – Machine Type IEC9	ary/Generator ance ext [0.2] [0.001] a [0.1] [0. circuit circuit ratio (edi 009/IEC60909	r18kV/592MV/	A.TypSym Steady-State I k instead Negative Se Reactance x Resistance r Salient Pole Serie	shc. Current d of Reactances 2 [0.2 2 [0. 2]0. 3] ▼	рл. рл.		? × OK Cancel
Synchronous Machine Type - Basic Data Load Row VDE/ICS Short-Crout Complete Short-Crout IEC 61363 DC Short-Crout IEC 61364 DC Short-Crout IEC 6136	Equipment Type Libra Equipment Type Libra Subtransient Reacta asturated value xd*s Stator Resistance ratr Zero Sequence Dat Resistance r0 Resistance r0 For angle fed short - Machine Type IECS	ary/Generator ance at [0.01] a [0.00] [0.00] [0.0] [0.00] [0.0]	-18кV/592МV/ р.и. р.и. р.и. р.и. set)	A. TypSym Steady-State Resit Se Resitance r 1.2 p Sallent Pole Serie	Shc. Current	ри. ри.		? × OK Cancel

Εικόνα 28 Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Generator 1

• Generator 3

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γεννήτριας Generator 3(Εικόνα 29)

Syn	chronous Machine - Grid\	GEN 3 379.86MW.EImSym	? ×
	asic Data	General Grounding/Neutral Conductor	ОК
l L	oad Flow	Name GEN 3 379.86MW	Cancel
j v	DE/IEC Short-Circuit	Type Type Library\Generator 16.5kV/450MVA	
. c	omplete Short-Circuit	Terminal Grid \GEN 3\3\Cub_1 BB	Figure >>
e A	NSI Short-Circuit	Zone 🔺	Jump to
1	EC 61363	Area 🔸	
	C Short-Circuit	Out of Service	
I F	MS-Simulation	Number of	
. E	MT-Simulation	parallel Machines 1	
н	larmonics/Power Quality	Generator/Motor	
P	rotection	Generator	
c	ptimal Power Flow	C Motor	
s	tate Estimation	Plant Category Gas	
. F	leliability	Plant Model	
G	ieneration Adequacy		
	lescription		
1			

· · · · · · · ·		19	
Synchronous Machine - Gri	d\GEN 3 379.86MW.ElmSym		? ×
Basic Data	General Advanced Automatic Dispatch		ОК
Load Flow	Spinning if circuit-breaker is open	Mode of Local Voltage Controller	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Reference Machine	C Power Factor	
Complete Short-Circuit	Conceptioning due type. 1 v	voitage	Figure >>
ANSI Short-Circuit	External Secondary Controller 🗨 🔿		Jump to
IEC 61363	External Station Controller 📃 🔸		
DC Short-Circuit	Dispatch	Capability Curve	
RMS-Simulation	Input Mode Default 💌		
EMT-Simulation	Active Power 379.86 MW	qmin/-1.00 1.0000 qmax/ 1.00 (0.000/-0.04) prat	
Harmonics/Power Quality	Reactive Power 0, Mvar	0,9867	
Protection	Voltage 1.02 p.u.	0,3333	
Optimal Revuer Revu	Angle 0. deg		
Course in the second se	Prim Frequency Blas 900 MW/Hz	1,000 0,333 0,333 1,000,00	
State Estimation		-1/xd	
Reliability	Reactive Power Operational Limits		
Generation Adequacy	Capability Curve		
Description	Use limits specified in type	100 10	
	Min. -1, p.u. -450,	Mvar Scaing Factor (min.) 100, %	
	Max. 1, p.u. 450,	Mvar Scaling Factor (max.) 100, %	
	Active Power Operational Limits		
	Min. 0, MW		
	Max. 99999, MW	Pn 405, MW	
	- Antius Paular Paties		
	May 405 NW Davia 5	1 Do 405 MM	
	Max. 1400, MVV Hating Factor	p. rn 405, MW	
Synchronous Machine Type	Equipment Type Library\Generator 16.5kV/450MVA.	TypSym	? X
			01
Basic Data	Name Generator 16.5kV/450MVA		OK
Load Flow	Nominal Apparent Power 450, MVA		Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Nominal Voltage 16.5 kV		
Complete Short-Circuit	Power Factor 0.9		
ANSI Short-Circuit	Connection YN -		
IEC 61363			
DC Short-Circuit			
RMS-Simulation			
EMT-Simulation			
Hamonics/Power Quality			
Protection			
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adecuacy			
Description			
1			
Synchronous Machine Type -	Equipment Type Library/Generator 16.5kV/450MVA.	TypSym	? ×
,			
Basic Data	Synchronous Reactances		ОК
Load Flow	xd 1.82 p.u.		Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	xq 1,35 p.u.		
Complete Short-Circuit	Reactive Power Limits		
ANSI Short-Circuit	Minimum Value -225. Mvar		
IEC 61363	Maximum Value 225. Muar		
DC Short-Circu#	HIVE Jaco, HIVE		
RMS.Simulation	Zero Sequence Data	Negative Sequence Data	
EMT Simulation	Reactance x0 0,1 p.u.	Reactance x2 0.2 p.u.	
Emit-Simulation	Resistance r0 0, p.u.	Resistance r2 0, p.u.	
Harmonics/Power Quality			
Protection			
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adequacy			
Description			
I			

Basic Data	- Subtransient Reacta	ance		Steady-State Sh	ic. Current		0
Load Flow	saturated value xd"s	sat 0.2	p.u.	Ik instead of	Reactances		Can
VDE/IEC Short-Circuit	Stator Resistance						
Complete Short-Circuit	rstr	0,001		1 1			
ANSI Short-Circuit							
IEC 61363	Zero Sequence Dat	a		Negative Seque	nce Data		
DC Short-Circuit	Reactance x0	0,1	p.u.	Reactance x2	0,2	p.u.	
RMS-Simulation	Resistance r0	0.	p.u.	Resistance r2	0.	p.u.	
EMT-Simulation	For single fed short-	circuit					
Hamonics/Power Quality	Reciprocal of short-	circuit ratio (xdsat)		1,2 p.u.			
Protection	Machine Type IEC9	09/IEC60909		Salient Pole Series 1	•		
Optimal Power Flow							
Reliability							
Generation Adequacy							
Description							

Εικόνα 29 Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Generator 3

Generator 5

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της Γεννήτριας Generator 7(Εικόνα 30)

•

5

Basic Data	General Grounding/Neutral Conductor	OK
Load Flow	Name GEN 5 504.7615MW	Cancel
DE/IEC Short-Circuit	Type ▼ → Type Library\Generator18kV/592MVA	
omplete Short-Circuit	Terminal Grid\GEN 5\1\Cub_1 BB	Figure >>
NSI Short-Circuit	Zone 💌	Jump to
EC 61363	Area 🔺	
C Short-Circuit	Cut of Service	
RMS-Simulation	- Number of	
MT-Simulation	narallel Marchinee	
farmonics/Power Quality		
Protection	- Generator/Motor	
Optimal Power Flow	C Motor	
state Estimation		
Reliability	Plant Category Nuclear	
eperation Adequacy	Plant Model 🔸	
leneration Adequacy		
rearing all the		
nchronous Machine - Grid	d\GEN 5 504.7615MW.ElmSym	?
nchronous Machine - Grid Basic Data	A(GEN 5 504.7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch	?
nchronous Machine - Grid Basic Data Load Row	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch C Spinning & circuit-breaker is open C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	? OK Cancel
nchronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch	? OK Cancel
nchronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit	AGEN 5 504-7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch General Advanced Automatic Dispatch General Constraine Cons	? OK Cancel Figure >
nchronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit	AGEN 5 504.761 SMW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Advanced Automatic Dispatch Advanced Automatic Dispatch Advanced A	? OK Cancel Figure > Jump to
nchronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363	AGEN 5 504.7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch C Sprining / crout/breaker is open C Reference Machine C Corresponding Bus Type: PV External Secondary Controller External Station Controller T + -	? OK Cancel Figure > Jump to
Achronous Machine - Grid Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit MSI Short-Circuit EC 61363 DC Short-Circuit	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch	? OK Cancel Figure > Jump to
chronous Machine - Grid Basic Data Load How VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit UNSI Short-Circuit EC 61363 CC Short-Circuit MMS-Simulation	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Spinning & circuit breaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: PV External Secondary Controller External Secondary Controller Dispatch	? OK Cancel Figure > Jump to
Achronous Machine - Grid Batic Data Load Row /DE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit WISI Short-Circuit EC 61363 DIC Short-Circuit MIS-Simulation	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Spinning if circuit breaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: PV Reference Machine Corresponding Bus Type: PV Reference Station Controller Index Mode Default Index	? Cancel Figure > Jump to
chronous Machine - Grid Basic Data .oad Flow D/DE/IEC Short-Crouit WDS/Short-Crouit WS/Short-Crouit WS/Short-Crouit WS-Smullation EMT-Smullation Hamonica/Power Quality	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Caprepording Bus Type: PV External Secondary Controller Fatemal Station Controller Capability Curve Dispatch Active Power 574.7615 MW Reactive Power 0 Mar	? Cancel Figure > Jump to
chronous Machine - Grid Basic Data .cad Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit VISI Short-Circuit VISI Short-Circuit E 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation Hamonics/Power Quality Protection	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch	? Cancel Figure > Jump to
chronous Machine - Grid Basic Data caed Row VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit Complete Short Circuit EC 61363 CO Short Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation HT-Simulation Hamonica/Power Quality Protection	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Spinning & circuit-breaker is open Reference Machine Conresponding Bus Type: PV External Secondary Controller External Secondary Controller Dispatch Dispatch Capability Curve Ca	? Cancel Figure > Jump to
chronous Machine - Grid Basic Data coad Row /DE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit EC 61363 CC Short-Circuit EC 61363 CC Short-Circuit EMT-Simulation HMS-Simulation HMS-Simulation Azemonica/Power Quality Protection Doptimal Power Row Sate Estimation	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Spinning if circuit breaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: PV External Static Controller Dispatch Dispatch Capability Curve Capabilit	? Cancel Figure > Jump to
Achronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit EC 61363 DCC Short-Circuit RIMS-Simulation RIMS-Simulation RAT-Simulation RAT-Simulation Rate-Circuit Protection State Estimation Relability	AGEN 5 504.7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch □ Spinning / circuit breaker in open □ Reference Machine Corresponding Bus Type: PV External Station Controller □ patch □ Active Power ↓ Capability Curve □ capability Cu	? Cancel Figure > Jump to
Achronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/REC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit EG 61363 DC Short-Circuit RIMS-Simulation EMT-Simulation Harmonica/Power Guality Protection Diptimal Power Row State Estimation Relability Smaration Adenuary	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Sprinting f circuit breaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: PV External Secondary Controller Hinput Mode Default Active Power 0, Mare Voltage 1,01 put, Angle 0, deg Pmm. Frequency Bis 1900, MW/Hz Reactive Power Operational Limits Preactive Power Power Operational Limits Preactive Power Power Operational Limits Preactive Power Pow	? OK Cancel Figure > Jump to
Achronous Machine - Grid Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit EG 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation RMS-Simulation RMS-Simulation RMS-Simulation Remove Flow State Estimation Reliability Generation Adequacy	AyEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Spinning / circuit-breaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: External Secondary Controller Image: Spinning / Controller <t< td=""><td>? OK Cancel Rgure > Jump to</td></t<>	? OK Cancel Rgure > Jump to
hchronous Machine - Grid Baaic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit EC 61363 CC Short-Circuit EC 61363 CC Short-Circuit RIMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	AyEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Spinning & circuit-breaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: Power Factor Cover Factor Power Factor Voltage External Stoin Controller Imput Mode Depatch Active Power 101 Angle 0, Angle 101 Prim. Frequency Bas Signing 10, Mage Imput Mode Depatch Active Power 0, <td>? Cancel Figure > Jump to</td>	? Cancel Figure > Jump to
Achronous Machine - Grid Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Crouit AVDE/IEC Short-Crouit AVDE/IEC Short-Crouit AVDE/IEC Short-Crouit EC 61363 DC Short-Crouit EC 61363 DC Short-Crouit Amonica/Power Quality Protection Optimal Power Row State Estimation Relability Generation Adequacy Description	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Adomatic Dispatch Spinning / circuit breaker in open Reference Machine Corresponding Bus Type: PV External Secondary Controller Poper Factor Poper fact	? CANCEL
Inchronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/ECS Nort-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit EG 61363 DC Short-Circuit ERIS-Simulation ERT-Simulation ERT-Simulation ERT-Simulation Hamonica/Power Quality Protection Optimal Power Row State Estimation Relability Generation Adequacy Description	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch □ Sprning / cruck theaker is open □ Reference Machine □ Corresponding Bus Type: □ External Secondary Controller □ External Station Controller □ Mode of Local Voltage Controller □ Detack □ Detack □ Nobartch □ Capability Curve □ Nobartch □ Detack □ Active Power □ 0. □ Active Power □ 0. <	? CK Cancel Figure > Jump to
Achronous Machine - Grid Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit EG 61363 DC Short-Circuit RIMS-Simulation RIMS-Simulation RIMS-Simulation RIMS-Simulation Hamonica-Prover Quality Protection Deptimal Power Flow State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Sprining / cruck threaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: Patternal Secondary Controller Impatch Dispatch Impatch Mode Default Impatch Reactive Power 0. Mode Impatch Capability Curve Impatch Reactive Power 0. Marge 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	? CANCEL CANCEL
Achronous Machine - Grid Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit ES 63363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Hamonica/Power Quality Protection Optimal Power Flow State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch Spinning / circuit/reaker is open Reference Machine Corresponding Bus Type: Power Factor Voltage External Station Controller Imput Mode Depatch Note of Local Voltage Controller Imput Mode Depatch Neadow Power Angle 0. Mixe Notage Prim: Frequency Bias 500. Mixer Capability Curve Prim: Frequency Bias Spoint Mix. 1. Puis Mixer Scaling Factor (min.) Top Mixer Scaling Factor (min.) Top Mixer Scaling Factor (min.) Top Active Power Operational Limts Mixer O. Mixer Scaling Factor (mix.) Top Ware Scaling Factor (mix.)	? CK Cancel Figure >: Jump to
nchronous Machine - Grid Baaic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit Complete Short-Circuit EC 61363 CS Short-Circuit EC 61363 CS Short-Circuit RMS-Simulation Hamonics/Power Quality Protection Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Adomatic Dispatch C Spinning if circuit breaker in open C Reference Machine Corresponding Bus Type: PV External Station Controller Deternal Station Controller C + - Deternal Station Controller C	?) Cancel Figure >> Jump to
Inchronous Machine - Grid Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit EG 61363 DC Short-Circuit EMT-Smullation EMT-Smullation EMT-Smullation EMT-Smullation EMT-Smullation Protection Diptimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	AGEN 5 504/7615MW.ElmSym General Advanced Automatic Dispatch □ Sprining / circuit-breaker is open □ Reference Machine □ Corresponding Bus Type: □ Betachine □ Depatch □ Betachine □ Depatch □ Depatch □ Depatch □ Depatch □ Active Power □ 1,000 □ 0,000 □ Active Power □ 0,000	?) Cancel Figure >> Jump to

ŀ	Synchronous Machine Type -	Equipment Type Library\Generator18kV/592MVA.TypSym	? ×
ł	Basic Data	Name Generator18kV/592MVA	ОК
	Load Flow		Canad
	VDE/IEC Short-Circuit	Nominal Apparent Power 592, MVA	Cancel
	Complete Short-Circuit	Power Easter	
	ANSI Short-Circuit	Connection YN V	
	IEC 61363		
	DC Short-Circuit		
	RMS-Simulation		
	EMT-Simulation		
	Hamonics/Power Quality		
	Protection		-
	Optimal Power How		
	Generation Adequacy		Ī
	Description		
ł			
1			
s	white the second s	Faujament Type Library/Generator18kV/592MVA.TypSym	7 X
	Basic Data	Synchronous Heactances	OK
	Load Flow	xa 2 p.u.	Cancel
	VDE/IEC Short-Circuit	uel les kon.	
	ANEL Sheet Crewit	Reactive Power Limits	
	IEC 61262	Minimum Value -296, Mvar	
	DC Shot-Circuit	Maximum Value 236, Mivar	
	BMS-Simulation	Zero Sequence Data	
	EMT-Simulation	Reactance x0 0.1 p.u. Reactance x2 0.2 p.u.	
	Harmonics/Power Quality	Resistance r0 0, p.u. Resistance r2 0, p.u.	
	Protection		
	Optimal Power Flow		
	Reliability		
	Generation Adequacy		
	Description		
μ			
[Synchronous Machine Type -	Equipment Type Library\Generator18kV/592MVA.TypSym	? ×
ł	Basic Data	Subtransient Reactance	ОК
l	Load Flow	saturated value xd"sat 0.2 p.u.	Cancel
l	VDE/IEC Short-Circuit	Stator Resistance	Cancor
	Complete Short-Circuit	rstr 0.001 p.u.	
	ANSI Short-Circuit		
	IEC 61363	Peactance x0 0.1 D.U. Reactance x2 0.2 D.U.	
l	BMS-Simulation	Resistance r0 0. p.u. Resistance r2 0. p.u.	
	EMT-Simulation	En sindle fed shot-circ it	
l	Harmonics/Power Quality	Reciprocal of short-circuit ratio (xdsat) 1.2 p.u.	
	Protection	Machine Type IEC909/IEC60909 Salient Pole Series 1 💌	
[Optimal Power Flow		
	Reliability		
	Generation Adequacy		
4	scoupion		
1			
ſ	,		

Εικόνα 30 Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Generator 7

Solar Farm

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του Φωτοβολταϊκού Πάρκου Solar Farm(Εικόνα 31)

•

PV System - Grid\Solar Farrm Basic Data			2 ~
Basic Data	ElmPvsys		· ^
	General System Configuration Zero Seque	ence/Neutral Conductor	ОК
Load Flow	Name Solar Farm		
VDE //EC Shed Crevel	, <u></u>		Cancel
	Terminal - A Cath Bio 100 h 1	PP.	Figure >>
Complete Short-Circuit		DD	
ANSI Short-Circuit	Zone 💻		Jump to
IEC 61363	Area 📥		
DC Short-Circuit	Cut of Service		
RMS-Simulation	Model Active Power Input	•	
EMT-Simulation	Technology 3PH		
Hamonics/Power Quality			
Ontimal Bauras Flaus	Number of		
Opumal Power Plow	Parallel Inverters 1		
State Estimation			
Reliability	Ratings		
Generation Adequacy	Nominal Apparent Power 180000	kVA	
Description	Power Factor 0.9		
	14-4-1 ml		
	Model		
1			
Invo .			1
PV System - Grid\PV Systen	.EIMPVsys		? ×
Basic Data	General System Configuration Zero Seque	ence/Neutral Conductor	ок
Load Flow	Name PV System		
VDE (EC Charles	1		Cancel
VDE/IEC Short-Circuit			Figure >>
Complete Short-Circuit	Terminal Grid\PV\1\Cub_1	BB	
ANSI Short-Circuit	Zone 🔺		Jump to
IEC 61363	Area 🔸		
DC Short-Circuit			
	1 Out of service		
RMS-Simulation	Model Active Power Input	`	
EMT-Simulation	Technology 3PH	<u> </u>	
Harmonics/Power Quality	Number of		
Optimal Power Flow	Parallel Inverters		
State Estimation			
Reliability	Ratings		
Generation Adequacy	Nominal Apparent Power 180000	kVA	
Description	Rower Factor		
	Power Pactor [0,5		
	Model 📑		
		U V (SEN ORE I APALARE I	
PV System - Grid\PV System.E	mPvsys	V V GEN-GER I APELTING I	? ×
PV System - Grid\PV System.E	mPvsys		? ×
PV System - Grid\PV System.E Basic Data	mPvsys		? Х
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Flow	ImPvsys In No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive		? × OK Cancel
PV System - Grid\PV System.B Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Orcut	ImPvsys ImP No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution	v v 180 (888 1 AA2184 1	? × OK Cancel
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit	ImPvsys In No Short-Grout Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Grout Level [180000,	ч тэм там та харлан т	? × OK Cancel Figure >>
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit	ImPvsys ImPvsys ImPvsys Mo Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level [180000, R to Xr ato 0,1]		? × OK Cancel Figure >> Jumo to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short Circuit ANSI Short-Circuit	ImPvsys In No Short-Circuit Contribution Satic Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient. Short-Circuit Level [180000] No Xirratio 0,1	kVA	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363	ImPvsys No Short-Grout Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Grout Level [180000, R to X" ratio 0,1 Warning! This setting is not part of the officia	KVA	? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.B Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit	ImProys ImProys In No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max, Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level [180000, Rto X: ratio Usaming This setting is not part of the officia Negative Sequence Impedance		? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Prov VDE/IEC Short-Circuit Complete Short Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61633 DC Short-Circuit RMS-Simulation	ImPvsys ImPvsys In Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level Its 7 ratio Units setting is not part of the office Negative Sequence Impedance Resistance r2 [99999.	KVA ▲ KVA ▲ KVA ▲ KVA ↓ KVA ↓	? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation	ImPvzys No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level Ito X" ratio 0.1 Warning1 This setting is not part of the officia Negative Sequence Impedance Resistance r2 [99999. Peastance r2 [99999.	KVA	? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Bail: Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 5135 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation	mPvsys No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max, Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level [180000, Rto X* ratio [0,1 Warning This setting is not part of the officia Negative Sequence Impedance Resistance 12 [99999, Reactance x2 [99999,		? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid/PV System.E Basic Data Load Pow VDE/IEC Short-Crout Complete Short Circuit ANSI Short-Circuit IEC G1633 DC Short-Circuit RMS-Smulation EMT-Smulation Hamonics/Power Quality	ImPvsys ImPvsys In No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Dirve Max. Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level Rto X [*] ratio Unit Warning This setting is not part of the officia Negative Sequence Impedance Resistance r2 [99999, Reactance x2 [99999,	kVA kVA I Unit is a start	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit Complete Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit	ImPvsys ImPosys In Sohot-Circuit Contribution Static Contribution Subtransient Short-Circuit Level Isourratio Instantion Negative Sequence Impedance Resistance r2 Isourratio Isourratio Instantiation Instantiation Isourratio Instantiatio In	. KVA	? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Row State Estimation	Mo Short Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransiert Short-Circuit Level [180000 [0,1] Warning This setting is not part of the officia Warning This setting is not part of the officia Resistance r2 [99999, Reactance x2	KVA VA VA VA VDE0102/IEC60909 standard. Pu. Pu. pu.	? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid/PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC G1633 DC Short-Circuit RMS-Smulation EMT-Simulation Hamonics/Power Quality Optimal Power Row State Estimation Relability	ImPvsys ImPvsys In No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level Rto X [*] ratio United Sequence Impedance Resistance r2 Resistance r2 S99999, Reactance x2 S99999,	kVA	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.5 Basic Data Load Flow VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit ANSI Short Circuit IEC 51363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Hamonico/Fower Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy	ImPvsys ImPosys In Short-Circuit Contribution Static Contribution Subtransient Short-Circuit Level Isource in the setting is not part of the officia Negative Sequence Impedance Resistance r2 Isource	KVA	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid/PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ImPvsys In Static Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient. Short-Circuit Level Isource Impediate Negative Sequence Impedance Resistance r2 Isource Isource Resistance r2 Isource Resistance R	✓ V 140 042 T AN LAK F	? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid/PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61633 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonice/Power Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ImPvsys In Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level Isource Internation Negative Sequence Impedance Resistence 12 Pediatance 12 99999, Reactance x2 99999,	KVA kVA I Units in the initial initia initial initial initial initi	? × OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid/PV System.E Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Crout ANSI Short-Crout IEC 51363 DC Short-Crout RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Flow State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max, Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level I 180000 Rto X* ratio Negative Sequence Impedance Resistance 12 99999, Reactance x2 99999,	KVA	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit ANS IShort-Circuit ANS IShort-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ImPvsys In No Short Circuit Contribution Satic Converter-Fed Dive Max. Fault Contribution Subtransient. Short-Circuit Level Ro Xir ratio Umaning This setting is not part of the official Warning This setting is not part of the official Negative Sequence Impedance Resistance r2 99999, Reactance x2 99999,	✓ V 140 442 T AN LAK F	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.5 Basic Data Load Flow VDE/IEC Short Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Hamonics/Power Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ImPvsys In Short-Circuit Contribution Static Contribution Subtransient Short-Circuit Level Isource Intervention Negative Sequence Impedance Resistance 12 Pediatance 12 Segastive Sequence Impedance Resistance x2 Segastive Resistance x2 Segastive Sequence	KVA KVA I U U U U U U U U U U U U U U U U U U U	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid/PV System.E Basic Data Load Flow VDE/IEC Short Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RIMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Flow State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ☐ No Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransiert Short-Circuit Level R to X [*] ratio Warning This setting is not part of the officia Negative Sequence Impedance Resistance r2 Peactance x2 [99399,	KVA	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Row VDE/IEC Short-Circuit ANS IShort-Circuit ANS IShort-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ImPvsys In No Short Circuit Contribution Satic Converter-Fed Dive Max. Fault Contribution Subtransient. Short-Circuit Level Rto X [*] ratio Umaning! This setting is not part of the official Negative Sequence Impedance Resistance r2 99999, Reactance x2 99999,	kVA kVA I Decision of the temperature of tempera	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.5 Basic Data Load Flow VDE/IEC Short Circuit Complete Short Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Hamonics/Fower Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ImPvsys In Short-Circuit Contribution Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransient Short-Circuit Level Isource Interval Negative Sequence Impedance Realistance 12 Pediatance 12 99999, Reactance x2 99999,	. KVA	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid/PV System.E Basic Data Load Flow VDE/IEC Short Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Flow State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ☐ No Short-Circuit Contribution ☐ Static Converter-Fed Drive Max. Fault Contribution Subtransiert Short-Circuit Level R to X [*] ratio 0,1 Warning This setting is not part of the officia Negative Sequence Impedance Resistance r.2 [99399, Reactance x.2	. KVA	? X OK Cancel Figure >> Jump to
PV System - Grid\PV System.E Basic Data Load Flow VDE/IEC Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit ANSI Short-Circuit IEC 61363 DC: Short-Circuit RMS-Simulation EMT-Simulation Harmonics/Power Quality Optimal Power Row State Estimation Reliability Generation Adequacy Description	ImPvsys ImPvsys In Satic Contribution Satic Converter-Fed Dirve Max. Fault Contribution Subtransiert. Short-Circuit Level Ro Xir ratio Umaning This setting is not part of the official Negative Sequence Impedance Resistance r2 99999, Reactance x2 99999,	kVA kVA I December 1 of the term kVA I December 1 of the term I December 1 of the term p U.	? X OK Cancel Rgure >> Jump to

Εικόνα 31 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Πάρκου Solar

Farm

Wind Turbine

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του Αιολικού Πάρκου Wind Farm(Εικόνα 32)

•

Static Generator - Grid/Wing	1 Turbine, ElmGenstat	7 X
State Generator Gind (Wind		
Basic Data	General Zero Sequence/Neutral Conductor	ОК
Load Flow	Name Wind Turbine	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Teminal Gird\WIND\2\Cub_1 BB	Enum 22
Complete Short-Circuit	Zone +	rigule >>
ANSI Short-Circuit	Area 🔸	Jump to
IEC 61363	Out of Service	
DC Short-Circuit	Technology 3PH	
RMS-Simulation	Category Wind Generatory	
TMS-Sinulaton	Category Wind Generator	
EM I-Simulation	Number of	
Harmonics/Power Quality	parallel Machines 1	
Optimal Power Flow	Bating	
State Estimation	Neminal Assampt Rever 250 MVA	
Reliability	Parente Forder	
Generation Adequacy	Power Factor 1.	
Description		
Static Generator - Grid\Wind	Turbine.ElmGenstat	? ×
Construction on a (wind	General Advanced Advancetor Provential	
Basic Data	Gerrerar Advanced Automatic Dispatch	ОК
Load Flow	Reference Machine Local Voltage Controller Power Factor	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Corresponding Bus Type: PQ	
Complete Short-Circuit	External Secondary Controller	Figure >>
ANSI Short-Circuit	External Station Controller	Jump to
IEC 61262	Dispatch Capability Curve	
120 01303	Input Mode Default 💌	
DC Short-Circuit	Active Power 62 50568 MW	
RMS-Simulation	Pagetter Peruse 0.0000 Million 0.0007	
EMT-Simulation	neacuve rower jo, invar	
Harmonics/Power Quality	Voltage 1. p.u. 0,3333 (0.00/ 0.25)	
Optimal Power Flow	Angle 0, deg	
State Estimation	Droop 1. %	
Reliability	Prim. Frequency Bias 0, MW/Hz	
Generation Adequacy	Reactive Power Operational Linite	
Cieneration Adequacy		
Description		
	Min1. p.u250, Mivar Scaling Factor (min.) 100, %	
	Max. 1, p.u. 250, Mvar Scaling Factor (max.) 100, %	
	Active Power Operational Limits	
	Min. 0, MW	
	May 9999 MW Po 250 MW	
	Active Power: Rating	
	Max. 250. MW Rating Factor 1. Pn 250, MW	
Static Generator - Grid\Wind	l Turbine.ElmGenstat	? ×
Basic Data	No Short-Circuit Contribution	ОК
Load Flow	Static Converter-Fed Drive	
VDE/IEC Short Crewit	Max. Fault Contribution	Cancel
Complete Short Circuit	Subtransient Short-Circuit Level 250, MVA	Figure >>
Complete Short-Circuit	B to X"ratio	hand
ANSI Short-Circuit	Ju, 1	Jump to
IEC 61363	Warning! This setting is not part of the official VDE0102/IEC60909 standard.	
DC Short-Circuit	Negative Sequence Impedance	
RMS-Simulation	Resistance r2 99999, p.u.	
EMT-Simulation	Reactance x2 99999, p.u.	
Harmonics/Power Quality		
Optimal Power Flow		
Spana Fower How		
State Estimation		
Reliability		
Generation Adequacy		
Description		
1		

Εικόνα 32 Χαρακτηριστικά Αιολικής Παραγωγής Wind Turbine

Τα παραπάνω στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν και από τα 3 Δίκτυα Υψηλής Τάσης (HVDC LCC, HVDC VSC και HVAC). Παρακάτω περιγράφονται τα στοιχεία της διασύνδεσης όπου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία των παραπάνω τεχνολογιών.

Ανορθωτής (Rectifier)

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του Ανορθωτή ισχύος που χρησιμοποιήθηκε στην διασύνδεση που βασίστηκε στην τεχνολογία HVDC LCC (Εικόνα 33)

asic Data	Name	Rectifier(1)					OK
oad Flow	Туре	Equipmer	nt Type Library\RE	с			Cancel
DE/IEC Short-Circuit	Terminal AC	✓ → Grid\Rec	tifier\2\Cub_1			BB 400kV	Figure >>
omplete Short-Circuit	Terminal DC+	✓ → Grid\DC	1\1\Cub_1			BB	
NSI Short-Circuit	Terminal DC-	✓ → Grid\DC	2\1\Cub_1			BB	Jump to .
	Zone	Terminal AC	<u> </u>				
C Short-Circuit	- Anea	Terminal AC	_ _				
MS-Simulation	Out of Servic	;e					
MI-Simulation	Orientation (Red	.fier/Inverter)	R				
amonics/Power Quality	Model	•					
plimal Fower Flow							
enablity							
escription	-						
							_
fier/Inverter/2 DC-Con	nections - Grid\Re	ctifier(1).ElmRec					?
sic Data	Firing Angle (al	pha-)Control		-			ОК
ad Flow	Control-Charac	teristic	Vdc •	-			Cance
DE/IEC Short-Circuit	Voltage Setpoi	nt Firing Angle Control	1.	p.u.			Figure
mplete Short-Circuit	Actual Firing-A	ngle	16.	deg			hume to
C 61363	Minimum Firing	Angle	0.	deg			t
C Short-Circuit	Maximum Firing) Angle	180,	deg			
MS-Simulation	Minimum Extine	ction Angle	0.	deg			
AT-Simulation	-Converter Tran	nsformer					
armonics/Power Quality	Tap-Changer		Fixed Tap	-			
timal Power Flow	Actual Winding	g Ratio	1.	p.u.			
liability							
eneration Adequacy				_			
scription	Commutation F	leactance	0.	Ohm			
	Phase Shift		Ju.	-30deg			
	Setpoint for DO	Load Flow					
		t	1.	MW			
	Power-Setpoin						
	Power-Setpoin						
ier / Inverter - Equipm	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec					? >
ier / Inverter - Equipm ic Data	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side)	2.		mOhm		? >
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row	Power-Setpoin ient Type Library\1 Rectifier Resist Rectifier Induct	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side)	2.		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) arameters	2.		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit splete Short-Circuit	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) arameters ay connection type	2. 5.		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Grout rolete Short-Grout SI Short-Grout	Power-Setpoin ent Type Library/1 Rectfier Resist Rectfier Induct ANSI/IEEE P © Double-w © Double-w	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectfier e rectfier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Girout E/IEC Short-Girout SI Short-Girout 61363	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit Applete Short-Circuit SI Short-Circuit 61363	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit S-Simulation	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit 5-Simulation T-Simulation	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) arameters arameters ar connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit 5-Simulation T-Simulation monics/Power Quality	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) arameters arameters ar connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit S-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Row	Power-Setpoin	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit S-Simulation T-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Row ability	Power-Setpoin nent Type Library\1 Rectfier Resist Rectfier Induct ANSI/IEEE P C Double-w C Double-w	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit S-Simulation T-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Row ability veration Adequacy	Power-Setpoin nent Type Library\1 Rectfier Resist Rectfier Induct ANSI/IEEE P © Double-w © Double-w	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	2. 5. e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit 3-Simulation T-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Row ability versition Adequacy contrion	Power-Setpoin Peter Type Library\I Rectfier Resist Rectfier Induct ANSI/IEEE C Double-w C Double-w	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit 6-363 Short-Circuit 5-Simulation T-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Row ability ierration Adequacy corption	Power-Setpoin nent Type Library\I Rectfier Resist Rectfier Induct ANSI/IEEE P © Double-w © Double-w	Rectifier.TypRec ance (DC-Side) ance (DC-Side) 'arameters ay connection type ye connection type	e rectifier e rectifier		mOhm uH		? > OK Cancel

Εικόνα 33 Χαρακτηριστικά Ανορθωτή

Αντιστροφέας (Inverter)

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του Ανορθωτή ισχύος που χρησιμοποιήθηκε στην διασύνδεση που βασίστηκε στην τεχνολογία HVDC LCC (Εικόνα 34)

F	lectifier/Inverter/2 DC-Conn	ections - Grid\Inv	rerter(1).ElmRec		?	×
	Basic Data	Name	Inverter(1)	_	Oł	<
	Load Flow	Туре	Equipment Type Library\Inverter		Can	cel
	VDE/IEC Short-Circuit	Terminal AC		BB		
	Complete Short-Circuit	Terminal DC+	Grid\DC 3\2\Cub_1	BB	Figure	***
	ANSI Short-Circuit	Terminal DC-	✓ → Grid\DC 4\2\Cub_1	BB	Jump	to
	IEC 61363	Zone	Terminal AC 💌 🔸			
	DC Short-Circuit	Area	Terminal AC			
	RMS-Simulation	Cut of Servic	xe			
	EMT-Simulation	Orientation (Rec	tifier/Inverter)			
	Harmonics/Power Quality	Model	•			
	Optimal Power Flow		·			
	Reliability					
	Generation Adequacy					
	Description					

sic Data	Firing Angle (alpha-)Control					0
ad Flow	Control-Characteristic	Vdc 🔻				0
E/IEC Short-Circuit	Voltage Setpoint	0.993	p.u.		_	Can
mplete Short-Circuit	Automatic Firing Angle Contro	ol			_	Figur
ISI Short-Circuit	Actual Firing-Angle	15,	deg			Jump
	Minimum Firing Angle	15,	deg		-	
Short-Circuit	Maximum Firing Angle	180.	deg			
AS-Simulation	Minimum Extinction Angle	0.	deg			
T-Simulation						
monics /Rower Ouslity	Converter Transformer					
time! Davies Davie	Tap-Changer	Fixed Tap	-			
	Actual Winding Ratio	1.	p.u.			
merauon Moequacy						
scription	Commutation Reactance	0.	Ohm			
	Phase Shift	0.	*30deg			
	C					
	Rower-Setnoint	172.6	MM			
ier / Inverter - Equinm	Power-Setpoint	172.6	MW			2
ier / Inverter - Equipm	Power-Setpoint	172.6	MW			?
ier / Inverter - Equipm	Power-Setpoint	172.6	MW .			?
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row	PowerSetpoint PowerSetpoint PowerSetpoint PowerSetpoint Ratings	172.6	MW			?
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/IEC Short-Circuit	PowerSetpoint PowerSetpoint PowerSetpoint PowerSetpoint Ratings Ratings Rated AC Voltage	172.6 cc	MW kV	•		?
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/IEC Short-Circuit replete Short-Circuit	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Pater AC Voltage Rated AC Voltage Rated DC Voltage (DC)	400,8121 515,	MW			?
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/IEC Short-Circuit nplete Short-Circuit SI Short-Circuit	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Patings Rated AC Voltage Rated DC-Voltage (DC) Rated Active Power	400.8121 515. 515.	MW kV kV MW	•		?
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Ratings Rated AC Voltage Rated DC-Voltage (DC) Rated Active Power Rated DC-Current	400.8121 515, 515, 1.	MW kV kV kA	.		?
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/IEC Short-Circuit Rolete Short-Circuit Si Short-Circuit 61363 Short-Circuit	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Ratings Rated AC Votage Rated AC Votage Rated AC Votage Rated ACtive Power Rated DC-Current Nominal Turns-Ratio #2411)	400.8121 515. 515. 1. 0.985	MW	•		?
ier / Inverter - Equipm ic Data di Row E/IEC Short-Circuit Robot-Circuit Si Short-Circuit 61363 Short-Circuit S-Simulation	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Ratings Rated AC Voltage Rated AC Voltage Rated DC Voltage (DC) Rated Active Power Rated DC-Current Nominal Turns-Ratio #241) Nominal Fing Angle	400.8121 515, 515, 1, 0.985 15,	MW	÷		? Ci
ier / Inverter - Equipm ic Data d Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit Si Short-Circuit Short-Circuit S-Simulation T-Simulation	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Ratings Rated AC Voltage Rated AC Voltage Rated AC Voltage Rated DC Voltage Rated DC Voltage Rated DC Current Nominal Turns-Ratio \$2A1) Nominal Turns-Ratio \$2A1)	400.8121 515. 515. 1. 0.985 15.	MW			? Ca
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit 5-Simulation T-Simulation	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Patend & Voltage Rated DC-Voltage (DC) Rated AC Voltage (DC) Rated DC-Current Nominal Tures-Ratio \$2/11) Nominal Firing Angle Diode-/Thyristor Converter-	172.6 400.8121 515, 515, 1, 0.985 15,	MW kV kV kA deg	•		? Са
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/IEC Short-Circuit SI Short-Circuit SI Short-Circuit Si Short-Circuit Si Short-Circuit S-Simulation T-Simulation T-Simulation	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Patings Rated AC Votage Rated DC Votage Rated DC Votage Rated DC Votage Rated DC Current Nominal Turus-Ratio \$211) Nominal Fing Angle Diode-/Thyristor Converter- Thyristor	172.6 400.8121 515, 515, 1, 0,985 15, 15,	MW			?
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/EC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit 5-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Row	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Patings Rated AC Voltage Rated AC Voltage Rated AC Voltage Rated DC-Voltage (DC) Rated ACtive Power Rated DC-Current Nominal Tums-Ratio \$241) Nominal Fing Angle Diode-/Thyristor Converter Typistor Tipistor Diode D	172.6 400.8121 515. 515. 1. 0.985 15.	MW			? Ca
ier / Inverter - Equipm ic Data id Row E/EC Short-Circuit E/EC Short-Circuit SI Short-Circuit 61363 Short-Circuit S-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Row lability	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Patings Rated AC Voltage Rated AC Voltage Rated DC Voltage (DC) Rated ACtive Power Rated DC Current Nominal Tums-Ratio \$2/11 Nominal Ring Angle Diode Diode Converter Transformer Converter Transformer	172.6 172.6 172.6 100,8121 515. 515. 1. 0,985 15. 15.	MW			? Ca
ier / Inverter - Equipm ic Data ic Data id Row E/IEC Short-Circuit E/IEC Short-Circuit S Short-Circuit 5 Short-Circuit 6 1363 5 Short-Circuit 6 1363 7 Short-Circuit 7 Short-Circuit 8 Short-Circuit 6 1363 7 Short-Circuit 8 Short-C	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Patings Rated AC Voltage Rated DC Voltage (DC) Rated ACtive Power Rated DC-Current Nominal Turns-Ratio (\$241) Nominal Firing Angle Diode:/Thyristor Converter Thyristor Converter Transformer- To This To	172.6 400.8121 515. 515. 1. 0.985 15.	MW			? Ca
ier / Inverter - Equipm ic Data ic Data E/IEC Short-Circuit Si Short-Circuit Si Short-Circuit Si Short-Circuit S-Simulation T-Simulation T-Simulation monics/Power Quality imal Power Flow lability meration Adequacy scription	Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Power-Setpoint Pathod Setup Power-Setpoint Pathod Setup Power Rated AC Voltage Rated DC Voltage (DC) Rated AC Voltag	172.6 xc 400.8121 515. 515. 1. 0.985 15. 15.	MW kV kV kA deg	→		? Ca

Εικόνα 34 Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα

Μετατροπείς (Converters)

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των Μετατροπέων που χρησιμοποιήθηκαν στην τεχνολογία HVDC VSC(Εικόνα 35)

PWM Converter/2 DC-Conn	ections - Grid\PWM Convert	er/2 DC-Connecti	ions.ElmVsc				?		×
Basic Data	Name PWM Conve	rter/2 DC-Connecti	ons					ок	
Load Flow	Terminal AC 💌 🔶 Grid	Rectifier\2\Cub_1		BB 400kV				Cancel	
VDE/IEC Short-Circuit	Teminal DC+ 💌 🔶 Grid	DC 1\1\Cub_1		BB					_
Complete Short-Circuit	Terminal DC- 💌 🕈 Grid	DC 2\1\Cub_1		BB				igure >	-
ANSI Short-Circuit	Zone Terminal AC	• •					Ju	mp to	
IEC 61363	Area Terminal AC	- +							
DC Short-Circuit	Out of Service								
RMS-Simulation	- Number of			7					
EMT-Simulation	parallel Converters	1							
Harmonics/Power Quality		,							
Optimal Power Flow	Ratings			Modulation	A73.8				
Reliability	Rated AC-Voltage	400,	kV	C Rectangular	PWM				
Generation Adequacy	Rated DC-Voltage (DC)	515.	kV	C No Modulatio	n				
Description	Rated Power	110.	MVA						
Description	Series Reactor			7					
	Short Circuit Impedance	0.	%	No-Load Losses	0.	kW			
	Copper Losses	0.	kW						
	Model 主								

WM Converter/2 DC-Conr	ections - Grid\PWM Convert	r/2 DC-Connec	ctions.ElmVsc			? ×
Basic Data	General Advanced				_ [ОК
Load Flow	Control Mode	Vac-Vdc	•			Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	AC Voltage Setpoint	1.	p.u.			Dermit
Complete Short-Circuit	Controlled Node (AC)	▼ →			-	rigure >>
ANSI Short-Circuit	DC Maharan Catalant					Jump to
IEC 61363	DC voitage Setpoint	p.	p.u.			
DC Short-Circuit						
RMS-Simulation						
EMT-Simulation	External Station Controller			0.10.0		
Harmonics/Power Quality	Reactive Power Limits			Capability Curve	-	
Optimal Power Flow	Capability Curve 💌	•		qmin/-1.00 p qmax/ 1.00		
Reliability	Min1.	p.u110,	Mvar	1.00		
Generation Adequacy	Max. 1,	p.u. 110,	Mvar	0.5-		
Description	Scaling Factor (min.)	100.	%			
	Scaling Factor (max.)	100.	%	-10 -0,5 0,0 0,5 1,0		
	- Setpoint for DC Load Flow			-0.5-		
	Active Power Setpoint	110,	MW	omin		
	Controlled Flow 🔻 🕈			-1.00		
				1		

Εικόνα 35 Χαρακτηριστικά Μετατροπέων

Και στις δύο τεχνολογίες HVDC χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια καλώδια για τις γραμμές μεταφοράς, όπου παρακάτω επισυνάπτονται τα χαρακτηριστικά τους(Εικόνα 36).

		• DC C	Cables		
ne - Grid\Line DC 1 515km	+.ElmLne				?
Basic Data	Name	Line DC 1 515km +			ОК
oad Flow	Type	Equipment Type Library/DC LINE			
/DE/IEC Short-Circuit	Teminal i	▼ ♦ Gid\DC 1\2\Cub 1	BB		Cancel
Complete Shot Circuit	Terminal		DD		Figure >
AND Care Care	Teminaij		DB		Jump to
ANSI Short-Circuit	Zone	Terminali 💽 👻			- comp to
	Area	Terminal			
DC Short-Circuit	Cut of Service				
RMS-Simulation	Number of		Resulting Values	1.1.4	
EMT-Simulation	parallel Lines	1	Pos. Seq. Impedance, Z1	51,75686 Ohm	
lamonics/Power Quality	Parameters		Pos. Seq. Impedance, Angle	84,28941 deg	
Optimal Power Flow	Thermal Rating	▼ →	Pos. Seq. Resistance, RT Pos. Seq. Reactance, X1	5, 15 Ohm 51 5 Ohm	
Reliability	Length of Line	515. km	Zero Seq. Resistance, R0	0, Ohm	
Generation Adequacy	Derating Factor	1.	Zero Seq. Reactance, X0 Earth Earth Current, Ion	0, Ohm	
Tie Open Point Opt.	Laving	Ground	Earth Factor, Magnitude	0,3333333	
Table Sizing	coying		Earth Factor, Angle	180, deg	
cable sizing	Type of Line	Cable			
Description	- Line Model				
	Lumped Parar	meter (PI)			
	C Distributed Pa	rameter			
	Sections/Li	ne Loads			
ne Type - Equipment Type L	Library\DC LINE.TypL	ne			?)
			_		011
Basic Data	Name	DC LINE			ОК
Load Flow	Rated Voltage	515. kV			Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Current	1. kA (in ground) Rated C	Current (in air) 1.	kA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	50. Hz	,		
ANSI Short-Circuit	Cable / OHI	Cable			
IDC 61363	Gable / UFL				
100 01303	System Type				
DC Short-Circuit	Parameters per Le	ngth 1,2-Sequence	arameters per Length Zero Sequen	ce	
RMS-Simulation	AC-Resistance F	R'(20°C) 0.01 Ohm/km			
EMT-Simulation					
Harmonics/Power Quality	Reactance X'	0.1 Ohm/km		-	
Protection					
Onlineal Results Result					
Optimal Power Flow					
Reliability					
Generation Adequacy					
Cable Sizing					
Description					
Description					
e lype - Equipment lype L	Library\DC LINE. lypL	ne			· ·
Basic Data	Parameters per Le	ngth 1,2-Sequence			ОК
Load Flow	Max. Operational	Temperature 80. degC			Come
VDE/IEC Short-Circuit		▲ 1			Cano
Complete Short-Circuit	AC-Resistance F	R'(20°C) 0.01 Ohm/km			
ANSI Short Circuit	Conductor Mate	rial Auminium 💌			
Anyor short-circuit		,			
EC 61363	Parameters as	orth 1 2-Sequence	ramaters per Length Zoo Ca		
DC Short-Circuit	Parameters per Le	rigut 1,2-Sequence Par	ameters per Length Zero Sequen		
RMS-Simulation	Suscentance R	3.141593 uS/km		•	
EMT-Simulation	Susceptance B	19.111999 09/KIII			
Hamonics/Power Quality		→			
Protection	Ins. Factor	0.		-	
Optimal Power Dow					
Opential Fower FIOW					
B 1 1 4					
Reliability					
Reliability Generation Adequacy					
Reliability Generation Adequacy Cable Sizing					
Reliability Generation Adequacy Cable Sizing Description					
Relability Generation Adequacy Cable Sizing Description					
Reliability Generation Adequacy Cable Sizing Description					
Relability Generation Adequacy Cable Sizing Description					
Reliability Generation Adequacy Cable Sizing Description					
Reliability Generation Adequacy Cable Sizing Description					

DC Cables

Εικόνα 36 Χαρακτηριστικά DC καλωδίων διασύνδεσης

Στο δίκτυο AC χρησιμοποιήθηκε για τη διασύνδεση ένα καλώδιο HVAC με τα παρακάτω χαρακτηριστικά(Εικόνα 37)

e - Gria\HVAC LINE.EImL					
Basic Data	Name	HVAC LINE			ОК
Load Flow	Туре	Equipment Type Library\AC 400kV			Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Teminal i	➡ Grid\Single Busbar\2\Cub_1	BB		Devention
Complete Short-Circuit	Teminal j	✓	BB		Figure >>
ANSI Short-Circuit	Zone	Terminal i			Jump to
EC 61363	Area	Terminal i 🔹 🔹			
DC Short-Circuit	Out of Service				
RMS-Simulation	Number of		Resulting Values		
EMT-Simulation	parallel Lines	1	Rated Current (act.)	1, kA	
lamonics/Power Quality	Parameters		Pos. Seq. Impedance, Angle	84,74358 deg	
Optimal Power Flow	Thermal Rating	▼ →	Pos. Seq. Resistance, R1 Pos. Seq. Reactance, X1	11,845 Ohm 128 75 Ohm	
Reliability	Length of Line	515, km	Zero Seq. Resistance, R0	103, Ohm	
Generation Adequacy	Derating Factor	1.	Zero Seq. Reactance, X0 Earth-Earth Current, Ico	515, Ohm 249 7617 A	
Tie Open Point Opt.	Laying	Ground	Earth Factor, Magnitude	1,02315	
Cable Sizing		,	Earth Factor, Angle	-8,022421 deg	
- Description	Type of Line	Cable			
	Line Model				
	C Durit Lumped Par	ameter (PI)			
	Uistributed P	rarameter			
	Sections/	Line Loads			
Type - Equipment Type I	.ibrary\AC 400kV.Ty	plne			?
: Type - Equipment Type lasic Data	.ibrary∖AC 400kV.Tyr Name	pLne			?
e Type - Equipment Type I Jasic Data oad Row	.ibrary∖AC 400kV.Tyj Name Rated Voltage	pLne <u>RC 490xV</u> 400. kV			?
: Type - Equipment Type asic Data oad Row DE/IEC Short-Circuit	Library∖AC 400kV.Tyj Name Rated Voltage Rated Current	pLne 205400000 400. 1. KV 1. KA (in ground) Rated C		kA	? OK Cancel
: Type - Equipment Type I astic Data oad Row DE/IEC Short-Circuit omplete Short-Circuit	Library∖AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency	pLne <u>20: 450xx)</u> 400. kV 1. kA (n ground) Rated C 50. Hz	- Jurrent (n air) 1,	- kA	? OK Cancel
: Type - Equipment Type I asic Data oad Row DE/IEC Short-Circuit omplete Short-Circuit NSI Short-Circuit	Library∖AC 400kV.Tyj Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency	pLne <u>2014/00/00</u> KV <u>1</u> . KA (in ground) Rated C <u>50.</u> Hz Cable →	- Jurrent (in air) 1.	kA	? OK Cancel
Type - Equipment Type I and Data Ded Flow DE/IEC Short-Grout Omplete Short-Grout NSI Short-Grout Short-Grout	.ibrary∖AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL	Image: second	- Jurrent (n air) 1.	kA	? OK Cancel
Type - Equipment Type I asic Data oad Row DE/IEC Short-Circuit Omplete Short-Circuit NSI Short-Circuit ISI Short-Circuit IC 61363	Library∖AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type	pLne 400. kV 1. kA (n ground) Rated C 50. Hz Cable • AC • Phases 3 •	Number of Neutrala 0	kA ¥	? OK Cancel
Type - Equipment Type I asic Data Deal Row DE/IEC Short-Circuit DE/IEC Short-Circuit NSI Short-Circuit EC Short-Circuit C Short-Circuit	Librany∖AC 400kV.Tyn Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per Lu	PLne 400. kV 1. kA (n ground) Rated C 50. Hz Cable AC Phases 3	iument (in air) [1. Number of Neutrals 0 irraneters per Length Zero Seque	kA T	? OK Cancel
Type - Equipment Type I anic Data anic Data De/IEC Short-Grout DE/IEC Short-Grout DE/IEC Short-Grout SI Short-Grout C Short-Grout MS-Smulation	Library∖AC 400kV.Tyr Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per Li AC-Resistance	202 400 xX 400 kV 1. kA (n ground) Rated C 50. Hz Cable ♥ AC ♥ Phases 3 ♥ ength 1.2 Sequence Pt R(20°C) 0.023 Ohm/km	Jurrent (in air) 1. Number of Neutrals 0. Insmeters per Length Zero Seque AC-Resistance R07 0.2	kA T Ohm/km	? OK Cancel
Type - Equipment Type I auc Data and Row DE/IEC Short-Circuit omplete Short-Circuit NSI Short-Circuit C Short-Circuit MS-Simulation MT-Simulation	Library\AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance	20: 400.0V 400. kV 1. kA (n ground) S0. Hz Cable • AC • Phases 3. R(20'C) [0.023] Ohm.km •	Sument (in air) 1. Number of Neutrals 0 srameters per Length Zero Seque AC-Resistance R07 0.2	kA ▼ Ohm/km	? Cancel
Type - Equipment Type I asic Data and Row DE/IEC Short-Circuit Omplete Short-Circuit NSI Short-Circuit C Short-Circuit MS-Simulation MT-Simulation Iamonics/Power Quality	Library\AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Noninal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	June June 400. kV 1. kA (n ground) File V Cable V AC V Phases 3 R(20 C) 0.023 Obm/km V	ument (n air) [1, Number of Neutrals [0] arameters per Length Zero Seque AC-Resistance R07 [0,2] Reactance X07 [1,	kA • Ohm/km Ohm/km	? OK Cancel
Type - Equipment Type I asc Data Deal Row DE/IEC Short-Circuit DE/IEC Short-Circuit Short-Circuit C Short-Circuit C Short-Circuit MS-Simulation MT-Simulation Mamonics/Power Quality rotection	Library\AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per Li AC-Resistance Reactance X'	MCE 4000.vv 400. kV 1. kA (n ground) 50. Hz Cable v AC v Phases 3 ngth 1.2:Sequence Phases [0.25] Ohm.km	Aurrent (in air) 1. Number of Neutrala 0. prameters per Length Zero Seque AC-Resistance R0 0.2. Reactance X0 1.	kA Chm/km Ohm/km	? OK Cancel
Type - Equipment Type I asic Data De/IEC Short-Circuit DE/IEC Short-Circuit SIS Short-Circuit C Short-Circuit C Short-Circuit MS-Simulation MT-Simulation Iamonics/Power Quality rotection	Library∖AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Cument Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	Science KV 1. kA (in ground) Rated C 50. Hz KV Cable P Rated C R/2000, 0.023 Ohm/km P/2 0.25 Ohm/km 1	Jurrent (in air) 1. Number of Neutralis 0. arameters per Length Zero Seque 4C-Resistance R0" 0.2 Resistance X0" 1.	kA The Columization of the Column of the Co	? OK Cancel
Type - Equipment Type I and Data and Row DE/IEC Short-Circuit omplete Short-Circuit NSI Short-Circuit NSI Short-Circuit MS-Simulation MT-Simulation MT-Simulation Amonica/Power Quality rotection ptanal Power Row elability	Library\AC 400kV.Tyr Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	PLne 20:0000 400. kV 1. kA (n ground) Rated C 50. Hz Cable AC ▼ Phases 3 ▼ R(20°C) 0.023 Ohm.km 0.25 Ohm.km	Surrent (in air) 1. Number of Neutrals 0 straneters per Length Zero Seque ACCResistance R0 [0.2 Reactance X0 [1.	kA Ohm/km Ohm/km	? OK Cancel
a Type - Equipment Type I latte Data oad Row DD/IEC Short-Circuit amplete Short-Circuit NSI Short-Circuit C 61363 C C Short-Circuit IMS-Simulation IMT-Simulation Iamonics/Power Quality rotection liptimal Power Row kelabitty	Library\AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X	June 400. kV 400. kV I. kA (n ground) Fated C 50. Hz Cable • Ac • Phases 3 • ength 1.2.Sequence Phases 3 • P [0.25] Ohm.km [1] I I I	Aurrent (n air) 1. Number of Neutrals 0 arameters per Length Zero Seque AC-Resistance R0° 0.2 Reactance X0° 1.	kA Chm/km Ohm/km	? OK Cancel
E Type - Equipment Type I lasc Data oed Row DE/IEC Short-Circuit iomplete Short-Circuit NSI Short-Circuit EC 61363 CC Short-Circuit MT-Simulation IMT-Simulation IMT-Simulation Iamonics/Power Quality totection totection totection planal Power Row Ielability ieneration Adequacy	Library\AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Noninal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	PLne 400. kV 1. kA (n ground) Plated C 50. Hz Cable Phases 3 Plated C acc Phases 3 Plated C Cable Cable Phases 3 Plated C Cable Cable Cable Plated C Cable Cable Cab	ument (n air) [1, Number of Neutrals [0] arameters per Length Zero Seque AC-Resistance R0 [0,2] Reactance X0 [1,	kA • Ohm/km Ohm/km	? K Cancel
E Type - Equipment Type I state Data De/IEC Dato Carcuit DE/IEC Short-Carcuit NSI Short-Carcuit SI Short-Carcuit Short-Carcuit MS-Smulation MT-Smulation Iamonics/Power Quality rotection bindl Power Row kelability ieneration Adequacy able Sting	Library∖AC 400kV.Tyy Name Rated Voltage Rated Cument Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	pLne <u>202 20030</u> <u>400.</u> kV <u>1.</u> kA (n ground) Rated C <u>50.</u> Hz <u>Cable</u> ▼ <u>AC</u> ▼ Phases 3 ▼ <u>R(20 C)</u> 0.023 Ohm/km <u>0.25 Ohm/km</u>	Turrent (in air) [1, Number of Neutralis [0] arameters per Length Zero Seque AC-Resistance R07 [0,2] Reactance X07 [1,	kA • Ohm/km Ohm/km	? OK Cancel
attic Data attic	Library\AC 400kV.Tyr Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per Li AC-Resistance Reactance X'	PLne 20540000 400. kV 1. kA (n ground) Rated C 50. Hz Cable ▼ AC ▼ Phases 3 ▼ nrgh 1.2-Sequence R(20°C) 0.023 Ohm/km 0.25 Ohm/km	Surrent (in air) 1. Number of Neutrals 0 Invances per Length Zero Seque ACCResistance R0 [0.2 Reactance X0 [1.	kA Ohm/km Ohm/km	? OK Cancel
E Type - Equipment Type I auto Data aed Row DD/IEC Short-Circuit amplete Short-Circuit NSI Short-Circuit NSI Short-Circuit NS-Simulation MT-Simulation IMT-Simulation IMT-Simulation Imtervention Verover Row kelability inneration Adequacy able Stiing kescription	Library\AC 400kV.Ty Name Rated Votage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type - Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	June 400. kV 1. kA (n ground) File Image: state of the st	Urrent (n air) 1. Number of Neutrals 0 Intraneters per Length Zero Seque AC-Resistance R0' 0.2 Reactance X0' 1.	kA • Ohm/km Ohm/km	? OK Cancel
e Type - Equipment Type I sate Data aad Row DE/IEC Short-Circuit NSI Short-Circuit EC 61363 IC Short-Circuit IMS-Simulation IMT-Simulation Iamonics/Power Quality rotection ptimal Power Row leability eneration Adequacy able Stang lescription	Library\AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Current Noninal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	pLne 400. kV 1. kA (n ground) Pated C 50. Hz Cable Phases 3 P ength 1.2.Sequence R(20 C) [0.023 Ohm/km]	ument (n air) [1, Number of Neutrals [0] arameters per Length Zero Seque AC-Resistance R0 [0,2] Reactance X0 [1,	kA Nnce Ohm/km Ohm/km	? Cancel
EType - Equipment Type I asic Data De/IEC Short-Circuit DE/IEC Short-Circuit NSI Short-Circuit SI Short-Circuit C Short-Circuit MS-Simulation MT-Simulation MT-Simulation MT-Simulation MT-Simulation MT-Simulation MT-Simulation MT-Simulation Beavier Row Relating Rever Row Rever	Library∖AC 400kV.Ty Name Rated Voltage Rated Cument Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per L AC-Resistance Reactance X'	pLne <u>202 2003</u> <u>400</u> <u>1</u> <u>k</u> A (n ground) Rated C <u>50</u> <u>Hz</u> <u>Cabe</u> ▼ <u>A</u> C ▼ Phases 3 ▼ <u>R(20 C)</u> 0.023 Ohm/km <u>0.25 Ohm/km</u>	Jurrent (in air) 1. Number of Neutralis 0. arameters per Length Zero Seque 4C-Resistance R0" 0.2 Reactance X0" 1.	kA Chm/km Ohm/km	7 OK Cance
e Type - Equipment Type I aste Data ead Row DE/IEC Short-Circuit Omplete Short-Circuit NSI Short-Circuit MS-Simulation MT-Simulation MT-Simulation MT-Simulation Iamonica;/Power Quality rotection ptimal Power Row Ielability eneration Adequacy able Stang escription	Library\AC 400kV.Tyr Name Rated Voltage Rated Current Nominal Frequency Cable / OHL System Type Parameters per Li AC-Resistance Reactance X'	pLne 20:0000 400. kV 1. kA (n ground) Rated C 50. Hz Cable ▼ AC ▼ Phases 3 ▼ nrgh 1.2:Sequence R(20°C) 0.023 Ohm.km 0.25 Ohm.km	Number of Neutrals 0 Number of Neutrals 0 Interneters per Length Zero Seque ACCResistance R0 02 Reactance X0 1.	kA Ohm/km Ohm/km	? OK Cancel

HVAC LINE

•

Εικόνα 37 Χαρακτηριστικά ΑC καλωδίων διασύνδεσης

Όλα τα παραπάνω στοιχεία που επιγράφτηκαν προηγουμένως διαμορφώνουν το παρακάτω δίκτυο υψηλής τάσης που διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση αξιόπιστης και αποτελεσματικής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, στην αντιμετώπιση της κυμαινόμενης ζήτησης και στην ενοποίηση διαφόρων πηγών ενέργειας. Επισυνάπτονται πίνακες που περιέχουν συγκεντρωτικά τις τιμές των εξαρτημάτων αυτών(Εικόνα 38,Εικόνα 39,Εικόνα 40), τέλος απεικονίζεται το δίκτυο με τη HVDC LCC διασύνδεση.

		Γραμμές Μεταφοράς								
										DC
									AC	Interconn
									Interconne	ection
	Line 1	Line 2	Line 3	Line 5	Line 7	Line 9	Line 11	Line 12	ction Line	Line
	53km	55km	50km	100km	80km	80km	50km	100km	515km	515km
Rated Current (kA)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0
Pos. Seq. Impedance Z1 (Ohm)	13,3	13,8	12,6	25,1	20,1	20,1	12,6	25,1	129,3	51,8
Pos. Seq. Impedance Angle (deg	84,7	84,7	84,7	84,7	84,7	84,7	84,7	84,7	84,7	84,3
Pos. Seq. Resistance R1 (Ohm)	1,2	1,3	1,2	2,3	1,8	1,8	1,2	2,3	11,8	5,2
Pos. Seq. Reactance X1 (Ohm)	13,3	13,8	12,5	25,0	20,0	20,0	12,5	25,0	128,8	51,5
Pos. Seq. Resistance R0 (Ohm)	10,6	11,0	10,0	20,0	16,0	16,0	10,0	20,0	103,0	0,0
Pos. Seq. Reactance X0 (Ohm)	53,0	55,0	50,0	100,0	80,0	80,0	50,0	100,0	515,0	0,0

Εικόνα 38 Τιμές των Γραμμών Μεταφοράς

	Transformers										
	Transformer G1	Transformer G2	Transformer G3	Transformer G4	Transformer G5	Transformer G6	Transformer G7	PV Transformer	Wind Transform		
Rated Power (MVA)	800	800	600	600	800	800	600	600	600		
Nominal frequency (hz)	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
HV-Side (kV)	400	400	400	400	400	400	400	400	400		
LV-Side (kV)	18	18	16	16	18	18	16	16	16		
HV-Side	YN										
LV-Side	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
Short Circuit Voltage uk	18%	18%	16%	16%	18%	18%	16%	16%	16%		
Copper Losses (kW)	1700	1700	1200	1200	1700	1700	1200	1200	1200		
Short Circuit Voltage uk0	14.4%	14.4%	12.8%	12.8%	14.4%	14.4%	12.8%	12.8%	12.8%		
Phase Shift (deg)	30	30	30	30	30	30	30	30	30		

Εικόνα 39 Τιμές των Μετασχηματιστών

		Generators								
	GEN 1	GEN 2	GEN 3	GEN 4	GEN 5	GEN 6	GEN 7	PV System	Static Generator	
Nominal Apparent Power (MVA)	592,0	592,0	450,0	450,0	592,0	592,0	450,0	180,0	250,0	
Nominal Voltage (kV)	18,0	18,0	16,5	16,5	18,0	18,0	16,5	18,0	16,5	
Power Factor	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	
Connection	YN	YN	YN	YN	YN	YN	YN	3PH	3PH	
Plant Category	Coal	Coal	Gas	Gas	Nuclear	Nuclear	Gas		Wind Generator	
Xd (p.u)	2,3	2,3	1,8	1,8	2,3	2,3	1,8			
Xq (p.u)	2,0	2,0	1,4	1,4	2,0	2,0	1,4			

Εικόνα 40 Τιμές Γεννητριών



Εικόνα 41 Απεικόνιση του δικτύου Υψηλής Τάσης LCC

4.3. Ανάλυση ροής φορτίου

Η ανάλυση Ροής φορτίου πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο AC Load Flow χρησιμοποιώντας τη μαθηματική μέθοδο Newton Raphson.

Επισυνάπτονται, τα αποτελέσματα των εκτελέσεων που υλοποιήθηκαν καθώς επίσης επισυνάπτονται οι πίνακες όπου φαίνονται οι διαφορές των 3 τεχνολογιών της διασύνδεσης (Πίνακας 2,Πίνακας 3,Πίνακας 4).Οι γραμμές μεταφοράς(Line 1 έως και

Line 12) είναι όλες 400kV AC καθώς επίσης και η AC διασύνδεση(AC Interconnection Line). Ωστόσο, οι διασυνδέσεις LCC και VSC είναι 515kV DC (DC interconnection Line).

	Γραμμές Μεταφοράς και Διασύνδεση ΗVAC						
	Ενεργός Ισχύς (MW)	Ρεύμα (kA)	Ποσοστό Φόρτισης %	Απώλειες (MW)			
Line 1 53km	175,1	0,31	30,8	0,32			
Line 2 55km	172,6	0,32	34,2	0,38			
Line 3 50km	185,9	0,27	27,8	0,26			
Line 5 100km	185,9	0,27	27,8	0,26			
Line 7 80km	97,4	0,14	16,4	0,15			
Line 9 80km	97,4	0,14	16,4	0,15			
Line 11 50km	237,0	0,31	34,7	0,65			
Line 12 100km	237,0	0,31	34,7	0,65			
AC Interconnection Line	174,8	0,32	31,8	2,15			

Πίνακας 2 Περιγραφή Γραμμών Μεταφοράς και διασύνδεσης ΗVAC

Πίνακας 3 Περιγραφή Γραμμών Μεταφοράς και διασύνδεσης HVDC LCC

	Γραμμές Μεταφοράς και Διασύνδεση HVDC LCC							
	Ενεργός Ισχύς (MW)	Ρεύμα (kA)	Ποσοστό Φόρτισης%	Απώλειες (MW)				
Line 1 53km	175,0	0,25	26,5	0,25				
Line 2 55km	173,6	0,26	26,1	0,26				
Line 3 50km	185,0	0,27	27,9	0,26				
Line 5 100km	185,0	0,27	27,9	0,26				
Line 7 80km	97,0	0,15	14,8	0,14				
Line 9 80km	97,0	0,15	14,8	0,14				
Line 11 50km	237,3	0,35	35,3	0,68				
Line 12 100km	237,3	0,35	35,3	0,68				
DC Interconnection Line 1 +	87,4	0,34	11,3	0,59				

Πίνακας 4 Περιγραφή Γραμμών Μεταφοράς και διασύνδεσης HVDC VSC			
11170000000000000000000000000000000000	Πίναικας 4 Περιγραφή	Γοσιμιών Μεταφοράς και	Sugaring Second HVDC VSC
	πινακάς 4 περιγραφη	Τραμμων Μεταφοράς και	

	Γραμμές Μεταφοράς και Διασύνδεση HVDC VSC						
	Ενεργός Ισχύς (MW)	Ρεύμα (kA)	Ποσοστό Φόρτισης%	Απώλειες (MW)			
Line 1 53km	175,1	0,28	30,0	0,31			
Line 2 55km	173,6	0,26	25,5	0,25			
Line 3 50km	185,1	0,27	27,5	0,26			
Line 5 100km	185,1	0,27	27,5	0,26			
Line 7 80km	97,1	0,15	15,0	0,14			
Line 9 80km	97,1	0,15	15,0	0,14			
Line 11 50km	237,3	0,35	35,2	0,67			
Line 12 100km	237,3	0,35	35,2	0,67			
DC Interconnection Line 1 + 87,4 0,34 11,3 0,59							

Πίνακας 5 Σύγκριση Απωλειών Ενεργού Ισχύος σε όλες τις Γραμμές Μεταφοράς σύμφωνα με το είδος της διασύνδεσης

	Απώλειες Ενε Μεταφοράς κ	ργού Ισχύος Γρ αι Λιασυνδέσεα	αμμών ον(MW)
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC
Line 1 53km	0,25	0,31	0,32
Line 2 55km	0,26	0,25	0,38
Line 3 50km	0,26	0,26	0,26
Line 5 100km	0,14	0,14	0,15
Line 7 80km	0,68	0,67	0,65
Line 9 80km	1,90	1,88	1,82
Line 11 50km	0,03	0,04	0,06
Line 12 100km	1,69	1,68	1,67
DC Interconnection Lines	1,19	1,19	
AC Interconnection Line			2,15
Σύνολο Απωλειών Γραμμών Μεταφοράς	9,36	9,35	10,35



Εικόνα 42 Απεικόνιση των Απωλειών Ενεργού Ισχύος των γραμμών μεταφοράς.





Και τα δύο συστήματα HVDC ξεπέρασαν το HVAC όσον αφορά την απόδοση, με το HVDC VSC να είναι το πιο αποδοτικό. Το σύστημα VSC παρουσίασε τις χαμηλότερες απώλειες μεταφοράς, ακόμη και σε σενάρια υψηλού φορτίου, καθιστώντας το ιδανικό για έργα μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων ή μεγάλης γωρητικότητας (Πίνακας 5).

Τα συστήματα ΗVAC παρουσίασαν μεγαλύτερη αστάθεια τάσης σε υψηλότερα φορτία, ενώ και τα δύο συστήματα HVDC διατήρησαν καλύτερα επίπεδα τάσης (Εικόνα 42). Το HVDC VSC, ειδικότερα, επέδειξε ανώτερο έλεγγο τάσης, ο οποίος είναι κρίσιμος για τις σύγχρονες εφαρμογές του δικτύου, ειδικά όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν διακυμάνσεις. Κάθε σύστημα έχει τα πλεονεκτήματά του και η χρήση του γίνεται με συγκεκριμένο σκοπό, αλλά η κατανόηση των αντίστοιχων απωλειών ισχύος είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

Για τη διασύνδεση των 515km, τα συστήματα HVDC VSC έχουν τις λιγότερες απώλειες ισχύος σε σύγκριση με τα συστήματα HVAC και HVDC LCC(Εικόνα 43). Η προηγμένη τεχνολογία IGBT στα συστήματα VSC μειώνει τις απώλειες μεταγωγής, ενώ η ικανότητά τους να διαχειρίζονται ανεξάρτητα την άεργο ισχύ και να παράγουν λιγότερες αρμονικές ενισχύει περαιτέρω την απόδοση τους. Οι μικρότεροι, πιο αποτελεσματικοί μετασχηματιστές και ο ακριβής έλεγχος ροής ισχύος στα συστήματα VSC συμβάλλουν επίσης σε χαμηλότερες συνολικές απώλειες, καθιστώντας το HVDC VSC τη βέλτιστη επιλογή για την ελαχιστοποίηση των απωλειών ισχύος στη συγκεκριμένη διασύνδεση.

Παρακάτω απεικονίζονται τα τρία δίκτυα ύστερα από την προσομοίωση ροής φορτίου (Εικόνα 44,Εικόνα 45,Εικόνα 46).



Εικόνα 44 Ανάλυση Ροής Φορτίου στο δίκτυο ΗVAC



Εικόνα 45 Ανάλυση Ροής Φορτίου στο δίκτυο HVDC LCC



Εικόνα 46 Ανάλυση Ροής Φορτίου στο δίκτυο HVDC VSC

4.4. Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων.

Η Ανάλυση Βραχυκυκλώματος πραγματοποιήθηκε με βάση το πρότυπο IEC 60909, όπου εφαρμόστηκε βραχυκύκλωμα στους ζυγούς Main Bus 1 και Main Bus 2 που είναι κοινοί ζυγοί και στα 3 δίκτυα.

Παρακάτω επισυνάπτονται τα αποτελέσματα και των τριών τεχνολογιών.

					<u>HV</u>	AC						
								DIgSILENT	Pro	ject:		
								PowerFactory 15.1.7	 Dat	e: 6/19/2	024	
Fault Locations wi Short-Circuit Calc	th Feeder ulation /	s Method	: IEC	 60909		3	-Phase S	Short-Circuit	/ Ma	ix. Short-C	ircuit Cu	irrents
Asynchronous Motor Always Consider	s ed		1	Grid Ide Autom	ntification atic			Short-Circui Break Tim Fault Cle	t Durat e aring T	ion	e 1	,10 s
Decaying Aperiodic Using Method	Componen	t (idc) B		Conducto User	r Temperature Defined	No		c-Voltage Fa User Defi	ctor ned	. ,	Ν	lo
Grid: Grid		System S	tage:	Grid	 I				Ann	ex:	/ 1	
	rtd.V. [kV]	Vo] [kV]	tage [deg]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	I [kA/kA]	k" [deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
lain bus 1					5 4 3 7 OF MVA	7 02 14		20.77.14	3.00	5030.37	7.54	
AC LINE 1 53km	Single	Bus	0,00	1,10	965,40 MVA	1,39 kA	94,78	3,69 kA	7,20	5050,57	7,54	0,1
PV Transformer	PV				172,84 MVA	0,25 kA	95,51	0,66 kA				
Transformer G1	GEN 1				2146,22 MVA	3,10 kA	90,44	8,21 kA				
Transformer GEN	GEN 2				2146,22 MVA	3,10 kA	90,44	8,21 kA				

Εικόνα 47 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 1 στη ΗVAC

διασύνδεση

Fault Locations wit Short-Circuit Calco	th Feeders ulation /	Method	: IEC 6	0909		3	-Phase S	Short-Circuit	/ Ma	x. Short-C	ircuit C	 urrents
Asynchronous Motor: Always Consider Decaying Aperiodic Using Method	s ed Component	(idc) B	G 	irid Ide Autom Conducto User	ntification Natic r Temperature Defined	No		Short-Circu Break Tir Fault Cle c-Voltage Fa User Def:	it Durat e earing T actor ined	ion ime (Ith)	(9,10 s 1,00 s No
Grid: Grid	S	ystem S	tage: G	irid					Ann	iex:	/ 1	I
	rtd.V. [kV]	Vol [kV]	tage [deg]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	I [kA/kA]	k" [deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
Main bus 2 BB AC LIEN 4 50km AC LINE 2 50 KM AC LINE 3 50km AC LINE 5 100km AC LINE 6 100km	400,00 Main bus Single B Main bus Main 4 Main 4	0,00 3 Sus 3	0,00	1,10	7377,26 MVA 2277,79 MVA 905,02 MVA 2277,79 MVA 958,65 MVA 958,65 MVA	10,65 kA 3,29 kA 1,31 kA 3,29 kA 1,38 kA 1,38 kA	-87,64 92,20 94,32 92,20 91,79 91,79	27,77 kA 8,57 kA 3,41 kA 8,57 kA 3,61 kA 3,61 kA	10,40	7207,28	10,31	10,96

Εικόνα 48 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 2 στη HVAC

διασύνδεση

HVDC LCC

								DIgSILENT PowerFactory 15.1.7	Pro Dat	ject: e: 7/27/20	924	
Fault Locations wit Short-Circuit Calcu	h Feeders lation /	, Method	: IEC 6	0909		3	-Phase S	hort-Circuit	/ Ma	x. Short-C	ircuit Cu	urrents
Asynchronous Motors Always Considere Decaying Aperiodic Using Method	d Component	: (idc) B	G C 	rid Ide Autom onducto User	ntification atic r Temperature Defined	No		Short-Circuit Break Time Fault Clea c-Voltage Fac User Defir	Durat aring T tor ned	ion ime (Ith)	1	9,10 s 1,00 s No
Grid: Grid		System	Stage: G	rid					Ann	ex:	/ 1	
	rtd.V. [kV]	Vo [kV]	ltage [deg]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	I [kA/kA]	k" [deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
Main bus 1 BB LINE AC 1 400kV PV Transformer Transformer G1 Transformer GEN	400,00 Rectifie PV GEN 1 GEN 2	0,00 2r	0,00	1,10	4464,62 MVA 0,00 MVA 172,84 MVA 2146,22 MVA 2146,22 MVA	6,44 kA 0,00 kA 0,25 kA 3,10 kA 3,10 kA	-89,36 0,00 95,51 90,44 90,44	17,29 kA 0,00 kA 0,62 kA 8,34 kA 8,34 kA	5,49	3802,88	4,05	5,75

Εικόνα 49 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 1 στη HVDC LCC

διασύνδεση

								DIgSILENT PowerFactory 15.1.7	Pro Dat	ject: e: 7/27/2	024	
Fault Locations wi Short-Circuit Calc	th Feeders ulation /	Method	: IEC (50909		3	-Phase S	5 <mark>h</mark> ort-Circuit	/ Ma	x. Short-C	ircuit Cu	urrents
Asynchronous Motor Always Consider Decaying Aperiodic Using Method	s ed Component	(idc) B		Auton Auton Conducto User	ntification Natic r Temperature Defined	No		Short-Circuit Break Time Fault Clea c-Voltage Fac User Defir	Durat aring T tor ned	ion ime (Ith)	9 1 N),10 s 1,00 s 10
Grid: Grid	s	ystem :	Stage: (Grid	 I				Ann	iex:	/ 1	
	rtd.V. [kV]	Vo [kV]	ltage [deg]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	I [kA/kA]	k" [deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
Main bus 2 BB LINE AC 2 400kV LINE AC 3 50km LINE AC 3 50km LINE AC 5 100km LINE AC 6 100km	400,00 Inverter Main bus Main bus Main 4 Main 4	0,00 3 3	0,00	1,10	6472,85 MVA 0,00 MVA 2277,79 MVA 2277,79 MVA 958,65 MVA 958,65 MVA	9,34 kA 0,00 kA 3,29 kA 3,29 kA 1,38 kA 1,38 kA	-87,92 0,00 92,20 92,20 91,79 91,79	24,47 kA 0,00 kA 8,61 kA 8,61 kA 3,62 kA 3,62 kA	9,10	6302,87	9,06	9,63

Εικόνα 50 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 2 στη HVDC LCC

διασύνδεση

HVDC VSC

								DIgSILENT PowerFactory 15.1.7	Pro Dat	oject: e: 7/27/2	024	
Fault Locations wit Short-Circuit Calcu	h Feeders lation /	5 Method	: IEC 6	0909		3	-Phase S	Short-Circuit	/ Ma	x. Short-C	ircuit Cu	urrents
Asynchronous Motors Always Considere Decaying Aperiodic Using Method	d Component	t (idc) B	G 	rid Ide Autom onducto User	ntification Matic r Temperature Defined	No		Short-Circuit Break Time Fault Clea c-Voltage Fac User Defin	Durat ring T tor ed	ion ime (Ith)	6 1 N	9,10 s L,00 s No
Grid: Grid	 <u>9</u>	System :	Stage: G	rid	 I				Ann	iex:	/ 1	
	rtd.V. [kV]	Vo [kV]	ltage [deg]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	I [kA/kA]	k" [deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
Main bus 1 BB LINE AC 1 400kV PV Transformer Transformer G1 Transformer GEN	400,00 Rectifie PV GEN 1 GEN 2	0,00 ≘r	0,00	1,10	4595,50 MVA 342,71 MVA 172,84 MVA 2146,22 MVA 2146,22 MVA	6,63 kA 0,49 kA 0,25 kA 3,10 kA 3,10 kA	-85,35 160,21 95,51 90,44 90,44	17,49 kA 1,30 kA 0,66 kA 8,17 kA 8,17 kA	6,06	4198,84	6,20	6,86

Εικόνα 51 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 1 στη HVDC VSC

διασύνδεση

								DIgSILENT PowerFactory 15.1.7	Pro Dat	ject: e: 7/27/20	924	
Fault Locations wi Short-Circuit Calc	th Feeders ulation / 1	Method	: IEC (50909		3	-Phase	Short-Circuit	/ Ma	x. Short-C	ircuit Cu	irrents
Asynchronous Motor Always Consider Decaying Aperiodic Using Method	s ed Component	(idc) B		Grid Ide Autom Conducto User	ntification atic r Temperature Defined	No		Short-Circuit Break Time Fault Clea c-Voltage Fac User Defir	Durat aring T tor ned	ion ime (Ith)	e 1 N),10 s 1,00 s Io
Grid: Grid	s	ystem 9	stage: (Grid	1				Ann	ex:	/ 1	
	rtd.V. [kV]	Vo [kV]	ltage [deg]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	I [kA/kA]	k" [deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]
Main bus 2 BB LINE AC 2 400kV LINE AC 3 50km LINE AC 450km 4 LINE AC 5 100km LINE AC 6 100km	400,00 Inverter Main bus Main bus Main 4 Main 4	0,00 3 3	0,00	1,10	6608,42 MVA 342,56 MVA 2277,79 MVA 2277,79 MVA 958,65 MVA 958,65 MVA	9,54 kA 0,49 kA 3,29 kA 3,29 kA 1,38 kA 1,38 kA	-85,16 160,15 92,20 92,20 91,79 91,79	24,69 kA 1,28 kA 8,51 kA 8,51 kA 3,58 kA 3,58 kA	9,29	6438,52	9,06	9,79

Εικόνα 52 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 2 στη HVDC VSC

διασύνδεση

Παρατηρούμε πως στο σύστημα διασύνδεσης AC υπάρχει μεγαλύτερη ισχύ βραχυκύκλωσης, καθώς και το μεγαλύτερο ρεύμα βραχυκύκλωσης, πράγμα που το καθιστά μια ανεπιθύμητη επιλογή. Οι θέσεις των γεννητριών σε σχέση με το σφάλμα επηρεάζει την ισχύ βραχυκυκλώματος. Οι γεννήτριες πιο κοντά στη θέση του σφάλματος θα έχουν πιο σημαντικό αντίκτυπο σε σύγκριση με εκείνες που βρίσκονται πιο μακριά λόγω των διαδρομών χαμηλότερης αντίστασης, που επιβεβαιώνεται, καθώς η ισχύς βραχυκύκλωσης στον ζυγό Main Bus 2 (Εικόνα 48,Εικόνα 50,Εικόνα 52) είναι μεγαλύτερη από του ζυγού Main Bus 1 (Εικόνα 47).

Από την άλλη πλευρά παρατηρούμε πως τα προηγμένα συστήματα προστασίας στις διασυνδέσεις HVDC μπορούν να απομονώσουν επιλεκτικά ελαττωματικά τμήματα διατηρώντας παράλληλα τη ροή ισχύος σε υγιή μέρη του δικτύου, ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις των βραχυκυκλωμάτων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρείται ότι η τεχνολογία LCC υπερτερεί της τεχνολογίας VSC, καθώς η ισχύς βραχυκυκλώματος είναι χαμηλότερη(Πίνακας 6,Πίνακας 7). Τα συστήματα HVDC VSC, ενώ είναι εξαιρετικά ευέλικτα και προσφέρουν καλύτερο έλεγχο της ροής ισχύος, τείνουν να συνεισφέρουν υψηλότερα ρεύματα σφάλματος σε σύγκριση με το HVDC LCC. Ενώ οι διασυνδέσεις LCC και VSC στα συστήματα HVDC δεν αποτρέπουν πάντα τα βραχυκυκλώματα, ενισχύουν σημαντικά την ικανότητα διαχείρισης και περιορισμού των επιπτώσεων σφαλμάτων. Αυτές οι τεχνολογίες βελτιώνουν τον περιορισμό του ρεύματος βραχυκυκλώματος, την ταχεία ανίχνευση και απομόνωση σφαλμάτων και τη συνολική σταθερότητα του συστήματος, συμβάλλοντας σε ένα πιο αξιόπιστο και ανθεκτικό δίκτυο μεταφοράς ισχύος.

Βραχυκύκλωμα στον ζυ	γó Main I	Bus 1	
	HVAC	HVDC LCC	HVDC VSC
Ισχύς Βραχυκυκλώματος Sk'' (MVA)	5428	4465	4596
Αρχικό Ρεύμα Βραχυκύκλωσης Ιk'' (kA)	7,83	6,44	6,63
Μέγιστο Ρέυμα Βραχυκύκλωσης ip (kA)	20,77	17,29	17,49
Ονομαστικό ρεύμα Ιb (kA)	7,26	5,49	6,06
Φαινόμενη ισχύς Sb (MVA)	5030	3802	4199

Πίνακας 6 Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main Bus 1

Πινακας /	Αποτελεσματα	Βραχυκυκλωματος	z στον ζυγο Main bus 2	

Βραχυκύκλωμα στον ζυ	γó Main E	Bus 2	
	HVAC	HVDC LCC	HVDC VSC
Ισχύς Βραχυκυκλώματος Sk'' (MVA)	7377	6473	6608
Αρχικό Ρεύμα Βραχυκύκλωσης Ιk'' (kA)	10,65	9,34	9,54
Μέγιστο Ρέυμα Βραχυκύκλωσης ip (kA)	27,77	24,47	24,69
Ονομαστικό ρεύμα Ιb (kA)	10,40	9,10	9,29
Φαινόμενη ισχύς Sb (MVA)	7207	6303	6438

Τα δίκτυα υψηλής τάσης, ιδιαίτερα αυτά που χρησιμοποιούν τεχνολογία HVDC, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την απόδοση, τη σταθερότητα και την αξιοπιστία. Η ικανότητα των συστημάτων HVDC να διαχειρίζονται τα ρεύματα βραχυκυκλώματος, να εντοπίζουν και να απομονώνουν γρήγορα σφάλματα και να διασυνδέουν τα ασύγχρονα δίκτυα, τα καθιστά εξαιρετική επιλογή για σύγχρονη μεταφορά ισχύος. Καθώς η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια συνεχίζει να αυξάνεται και η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γίνεται πιο διαδεδομένη, η τεχνολογία HVDC θα διαδραματίζει ολοένα και πιο ζωτικό ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντος των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

4.5. Ανάλυση έκτακτης ανάγκης

Η ανάλυση έκτακτης ανάγκης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των επιπτώσεων πιθανών βλαβών ή διακοπών, όπως η απώλεια μιας γραμμής μεταφοράς ή μιας γεννήτριας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Προσδιορίζει κρίσιμα σημεία των οποίων η αστοχία θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστάθεια του συστήματος, παραβιάσεις τάσης ή υπερφόρτιση επιτρέποντας στους μηχανικούς να αναπτύξουν στρατηγικές για τη διατήρηση αξιόπιστης και ασφαλούς λειτουργίας του δικτύου σε διάφορα σενάρια λειτουργίας.

Παρακάτω επισυνάπτονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα 3 διαφορετικά δίκτυα:

					HV	AC		
Contin	ngency Analysis	Report: Maximu	um Loadii	ngs				
Study Cas	Study Case(2)							
Result File	e Contingency Analysis AC							
Loading Li	i 80,0							
Overloadi	i 100							
	Component	Branch, Substation	Loading	Loading	Loading	Contingency	Contingency	Base Case and Continuous Loading
		or Site	Continuous	Short-Term	Base Case	Number	Name	[0 % - 122 %]
		or Site	Continuous [%]	Short-Term [%]	Base Case [%]	Number	Name	[0 % - 122 %]
1	ACLINE 1 53km	or Site	Continuous [%] 122,01	Short-Term [%] 122,01	Base Case [%] 35,20	Number 20	Name Transformer GEN 5	[0 % - 122 %]
1	ACLINE 1 53km HVACLINE	or Site	Continuous [%] 122,01 122,01	Short-Term [%] 122,01 122,01	Base Case [%] 35,20 36,04	Number 20 20	Name Transformer GEN 5 Transformer GEN 5	[0 % - 122 %]
1 2 3	ACLINE 1 53km HVACLINE ACLINE 2 50 KM	or Site	Continuous [%] 122,01 122,01 120,58	Short-Term [%] 122,01 122,01 120,58	Base Case [%] 35,20 36,04 36,04	Number 20 20 20	Name Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 Transformer GEN 5	[0 % - 122 %]
1 2 3 4	ACLINE 1 53km HVACLINE ACLINE 2 50 KM ACLINE 10 80km 400kV	or Site	Continuous [%] 122,01 122,01 120,58 92,94	Short-Term [%] 122,01 122,01 120,58 92,94	Base Case [%] 35,20 36,04 36,04 56,04	Number 20 20 20 13	Name Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 AC LINE 9 80km 400kV	[0 % - 122 %]
1 2 3 4 5	ACLINE 1 53km HVACLINE ACLINE 2 50 KM ACLINE 10 80km 400kV ACLINE 9 80km 400kV	or Site	Continuous [%] 122,01 120,58 92,94 92,94	Short-Term [%] 122,01 122,01 120,58 92,94 92,94	Base Case [%] 35,20 36,04 36,04 56,04 56,04	Number 20 20 20 13 4	Name Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 AC LINE 9 80km 400kV AC LINE 10 80km 400kV	[0 % - 122 %]
1 2 3 4 5 6	ACLINE 1 53km HVACLINE ACLINE 250 KM ACLINE 10 80km 400kV ACLINE 9 80km 400kV Transformer G1	or Site	Continuous [%] 122,01 122,01 120,58 92,94 92,94 81,36	Short-Term [%] 122,01 120,58 92,94 92,94 81,36	Base Case [%] 35,20 36,04 56,04 56,04 9,48	Number 20 20 20 13 4 20	Name Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 ACLINE 9 80km 400kV ACLINE 10 80km 400kV Transformer GEN 5	[0 % - 122 %]
$ \begin{array}{r} 1\\2\\3\\4\\5\\6\end{array} $	ACLINE 1 53km HVACLINE ACLINE 250 KM ACLINE 10 80km 400kV ACLINE 9 80km 400kV Transformer G1	or Site	Continuous [%] 122,01 122,01 120,58 92,94 92,94 81,36	Short-Term [%] 122,01 122,01 120,58 92,94 92,94 81,36	Base Case [%] 35,20 36,04 56,04 56,04 9,48	Number 20 20 13 4 20	Name Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 Transformer GEN 5 AC LINE 9 80km 400kV AC LINE 10 80km 400kV Transformer GEN 5	[0 % - 122 %]

Εικόνα 53 Αποτελέσματα υπερφόρτωσης στο δίκτυο ΗVAC

HVDC LCC

Conti	ngency Analysis	Report: Maximu	ım Loadi	ngs				
Study Cas	Study Case(2)							
Result File	Contingency Analysis AC							
Loading L	80,0							
Overloadi	100							
	Component	Branch, Substation	Loading	Loading	Loading	Contingency	Contingency	Base Case and Continuous Loading
		or Site	Continuous	Short-Term	Base Case	Number	Name	[0 % - 162 %]
			[%]	[%]	[%]			
1	Transformer GEN 5		161,58	161,58	72,62	22	Transformer GEN 6	
2	Transformer GEN 6		161,58	161,58	64,10	21	Transformer GEN 5	
3	LINE AC 10 80km 400kV		109,13	109,13	58,92	13	LINE AC 9 80km 400kV	
4	LINE AC 9 80km 400kV		109,13	109,13	58,92	3	LINE AC 10 80km 400kV	
5	LINE AC 12 400kV		01.06	01.06	49 55	1	2-Winding Transformer	

Εικόνα 54 Αποτελέσματα υπερφόρτωσης στο δίκτυο HVDC LCC

HVDC VSC

Conti	ngency Analysis	Report: Maximu	ım Loadiı	ngs				
Study Cas	Study Case(1)							
Result File	Contingency Analysis AC							
Loading L	80,0							
Overloadi	100							
	Component	Branch, Substation	Loading	Loading	Loading	Contingency	Contingency	Base Case and Continuous Loading
		or Site	Continuous	Short-Term	Base Case	Number	Name	[0% - 138%]
			[%]	[%]	[%]			
1	Transformer GEN 5		138,00	138,00	72,53	22	Transformer GEN 6	
2	Transformer GEN 6		138,00	138,00	63,93	21	Transformer GEN 5	
3	LINE AC 10 80km 400kV		97,44	97,44	58,64	13	LINE AC 9 80km 400kV	
4	LINE AC 9 80km 400kV		97,44	97,44	58,64	3	LINE AC 10 80km 400kV	

Εικόνα 55 Αποτελέσματα υπερφόρτωσης στο δίκτυο HVDC VSC

Στα τρία διαφορετικά δίκτυα μεταφοράς παρατηρείται πως οι γραμμές μεταφοράς Line 9 και Line 10, που έχουν ίδια χαρακτηριστικά και συνδέουν τους ίδιους ζυγούς μεταξύ τους, υπερφορτώνονται και φτάνουν σε ένα κρίσιμο σημείο (Εικόνα 53Εικόνα 54,Εικόνα 55). Παρακάτω θα γίνει μια ανάλυση ροής φορτίου όπου αρχικά θα τεθεί εκτός λειτουργίας γραμμή μεταφοράς Line 9 (Εικόνα 56) και ύστερα θα τεθεί εκτός λειτουργίας και η γραμμή μεταφοράς Line 10 (Εικόνα 57).

Με την απενεργοποίηση της γραμμής Line 9, το φορτίο που μεταφερόταν μέσω αυτής θα πρέπει να ανακατανεμηθεί στις υπόλοιπες γραμμές του δικτύου. Αυτή η ανακατανομή αναμένεται να αυξήσει το ποσοστό χρήσης στις υπόλοιπες γραμμές, ειδικά στη Line 10, η οποία θα αναλάβει μεγάλο μέρος του φορτίου της Line 9. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να γίνει λεπτομερής ανάλυση της νέας κατάστασης ροής φορτίου για να εντοπιστούν τυχόν νέες ανισορροπίες και περιοχές υπερφόρτωσης.



HVAC

Εικόνα 56 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVAC διασύνδεση όπου η Γραμμή Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτός λειτουργίας.



Εικόνα 57 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVAC διασύνδεση όπου η Γραμμή Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας.

Πίνακας 8 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεσης μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτός λειτουργίας, έχοντας HVAC διασύνδεση.

	Κανονικές Συνθήκες	LINE 9 Εκτός
	Λειτουργίας(%)	Λειτουργίας(%)
	Ποσοστό Φόρτισης	
LINE 1 53km	30,8	30,6
LINE 2 55km	34,2	35,0
LINE 3 50km	27,8	28,0
LINE 5 100km	16,4	16,3
LINE 7 80km	34,7	34,7
LINE 9 80km		
LINE 10 80km	57,5	95,4
LINE 11 50km	14,2	18,1
LINE 12 100km	49,6	69,5
AC Interconnection Line	31,8	32,6

Πίνακας 9 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεσης μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτός λειτουργίας, έχοντας ΗVAC διασύνδεση.

	Κανονικές	LINE 9 & 10
	Συνθήκες	Εκτός
	Λειτουργίας(%)	Λειτουργίας(%)
	Ποσοστό Φόρτισης	
LINE 1 53km	30,8	30,9
LINE 2 55km	34,2	38,3
LINE 3 50km	27,8	28,5
LINE 5 100km	16,4	16,1
LINE 7 80km	34,7	35,2
LINE 9 80km		
LINE 10 80km		
LINE 11 50km	14,2	111,3
LINE 12 100km	49,6	166,7
AC Interconnection Line	31,8	36,4



Εικόνα 58 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με HVDC LCC διασύνδεση όπου η Γραμμή Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτός λειτουργίας.



Εικόνα 59 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με HVDC LCC διασύνδεση όπου η Γραμμή Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας.

	Κανονικές Συνθήκες Δειτουογίας(%)	LINE 9 Εκτός Δειτουογίας(%)
	Ποσοστό Φόρτισης	11010007105(70)
LINE 1 53km	26,5	61,6
LINE 2 55km	26,1	60,7
LINE 3 50km	27,9	15,9
LINE 5 100km	14,8	18,6
LINE 7 80km	35,3	31,9
LINE 9 80km		
LINE 10 80km	58,9	83,2
LINE 11 50km	11,2	30,2
LINE 12 100km	49,6	51,9
DC Interconnection Line 1 +	11,3	26,3

Πίνακας 10 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεσης μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτός λειτουργίας, έχοντας HVDC LCC διασύνδεση.

Πίνακας 11 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεσης μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτός λειτουργίας, έχοντας HVDC LCC διασύνδεση.

	Κανονικές Συνθήκες	LINE 9 & 10
	Λειτουργίας(%)	Εκτός
		Λειτουργίας(%)
	Ποσοστό Φόρτισης	
LINE 1 53km	26,5	68,8
LINE 2 55km	26,1	67,7
LINE 3 50km	27,9	12,2
LINE 5 100km	14,8	19,8
LINE 7 80km	35,3	31,6
LINE 9 80km		
LINE 10 80km		
LINE 11 50km	11,2	111,7
LINE 12 100km	49,6	129,8
DC Interconnection Line 1 +	11,3	29,4





Εικόνα 60 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με HVDC VSC διασύνδεση όπου η Γραμμή Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας.



Εικόνα 61 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με HVDC VSC διασύνδεση όπου η Γραμμή Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας.

	Κανονικές	LINE 9 Εκτός
	Συνθήκες	Λειτουργίας(%)
	Λειτουργίας(%)	
	Ποσοστό Φόρτισης	
LINE 1 53km	30,0	76,1
LINE 2 55km	25,5	75,5
LINE 3 50km	27,5	8,0
LINE 5 100km	15,0	20,5
LINE 7 80km	35,2	29,7
LINE 9 80km		
LINE 10 80km	58,6	74,2
LINE 11 50km	11,7	36,9
LINE 12 100km	49,4	41,3
DC Interconnection Line 1 +	11,3	33,4

Πίνακας 12 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεσης μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτός λειτουργίας, έχοντας HVDC VSC διασύνδεση.

Πίνακας 13 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεσης μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτός λειτουργίας, έχοντας HVDC VSC διασύνδεση.

	Κανονικές	LINE 9 & 10
	Συνθήκες	Εκτός
	Λειτουργίας(%)	Λειτουργίας(%)
	Ποσοστό Φόρτισ	ης
LINE 1 53km	30,0	76,1
LINE 2 55km	25,5	75,5
LINE 3 50km	27,5	10,7
LINE 5 100km	15,0	20,8
LINE 7 80km	35,2	29,6
LINE 9 80km		
LINE 10 80km		
LINE 11 50km	11,7	110,2
LINE 12 100km	49,4	116,7
DC Interconnection Line 1 +	11,3	33,4

Το σύστημα HVAC έδειξε σημαντική ευπάθεια σε περίπτωση που μια γραμμή βγει εκτός λειτουργίας. Όταν μεγάλες γραμμές όπως η γραμμή 9 και η γραμμή 10 τέθηκαν εκτός λειτουργίας, οι υπόλοιπες γραμμές HVAC παρουσίασαν σημαντική υπερφόρτωση(Εικόνα 56,Εικόνα 57). Η ροή ισχύος έπρεπε να ανακατανεμηθεί σε λιγότερα μονοπάτια, οδηγώντας σε υπερβολική καταπόνηση του συστήματος όπου το ποσοστό χρήσης των καλωδίων των γραμμών μεταφοράς αυξήθηκε δραματικά, γεγονός που αύξανε την πιθανότητα διαδοχικών αστοχιών(Πίνακας 8,Πίνακας 9). Τα συστήματα HVAC, αν και χρησιμοποιούνται ευρέως, στερούνται ευελιξίας στη διαχείριση ξαφνικών απρόοπτων, ιδιαίτερα σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων, υψηλής χωρητικότητας. Η εξάρτηση του συστήματος από τη σύγχρονη λειτουργία περιορίζει περαιτέρω την ικανότητά του να απομονώνει τα σφάλματα αποτελεσματικά, καθιστώντας το επιρρεπές σε αστάθεια κατά τη διάρκεια τέτοιων διακοπών.

Το σύστημα HVDC LCC έπαιξε κρίσιμο ρόλο στην υποστήριξη των πληγεισών περιοχών κατά τη διάρκεια έκτακτων συμβάντων(Εικόνα 58,Εικόνα 59). Η ικανότητά του να ελέγχει και να παρέχεται ισχύς που χρειαζόταν στα επηρεαζόμενα τμήματα του δικτύου ελαχιστοποίησε τις επιπτώσεις της διακοπής των γραμμών μεταφοράς. Οι γραμμές HVDC LCC όχι μόνο διατήρησαν σταθερή μεταφορά ισχύος, αλλά και μείωσαν τον κίνδυνο υπερφόρτωσης σε άλλα μέρη του δικτύου (Πίνακας 10,Πίνακας 11). Αυτό υπογραμμίζει την ικανότητα του δικτύου HVDC LCC να εξισορροπεί υψηλά φορτία και να διασφαλίζει αξιόπιστη παροχή ισχύος, καθιστώντας τις γραμμές μεταφοράς πιο ανθεκτικές και αποτελεσματικές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες HVAC.

Το σύστημα HVDC VSC ανέδειξε το υψηλότερο επίπεδο ευελιξίας και ελέγχου κατά τη διάρκεια σεναρίων έκτακτης ανάγκης (Εικόνα 601,Εικόνα 612). Σε αντίθεση με το LCC, η τεχνολογία VSC λειτουργεί ανεξάρτητα από το σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος και μπορεί να υποστηρίξει ασθενέστερα δίκτυα. Σε περίπτωση διακοπών γραμμής (π.χ. Γραμμή 9 και Γραμμή 10), το σύστημα VSC ανακατανείμει αποτελεσματικά την ισχύ, βοηθώντας τις πληγείσες περιοχές σταθεροποιώντας τα επίπεδα τάσης και αποτρέποντας την υπερφόρτωση σε άλλα μέρη του δικτύου (Πίνακας 12,Πίνακας 13). Η ικανότητά του να ελέγχει ανεξάρτητα την ενεργό και άεργο ισχύ το έκανε ιδιαίτερα αποτελεσματικό στη διατήρηση της σταθερότητας. Αυτό καθιστά το δίκτυο VSC εξαιρετικά προσαρμόσιμο, ιδιαίτερα σε δίκτυα που απαιτούν γρήγορες και ακριβείς προσαρμογές στις ροές ισχύος κατά τη διάρκεια έκτακτων αναγκών. Ωστόσο, η πρόσθετη ευελιξία των γραμμών μεταφοράς VSC έχει υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις γραμμές LCC, κάτι που θα μπορούσε να είναι περιοριστικός παράγοντας σε έργα μεγάλης κλίμακας.

Παρακάτω, η πρώτη λύση θα δοκιμαστεί στο δίκτυο HVAC όπου παρατηρήθηκε το μέγιστο ποσοστό χρήσης στη γραμμή μεταφοράς Line 12 (167%) όταν και οι δύο γραμμές μεταφοράς είναι εκτός λειτουργίας.

Προσθήκη μιας πρόσθετης γραμμής μεταφοράς μεταξύ δύο ζυγών για την ομοιόμορφη κατανομή της ισχύος είναι μια βιώσιμη στρατηγική για τον περιορισμό των προβλημάτων που σχετίζονται με τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας ισχύος σε μία μόνο γραμμή.

• Ενίσχυση Υποδομών: Αύξηση της χωρητικότητας των υπολοίπων γραμμών μέσω αναβάθμισης του εξοπλισμού.



Εικόνα 62 Προσθήκη Γραμμών Μεταφοράς 13 και 14

Με την εισαγωγή των Γραμμών 13 και 14, οι οποίες είναι ουσιαστικά όμοιες με τις Γραμμές 11 και 12 αντίστοιχα, το σύστημα μπορεί να κατανείμει το φορτίο των πιο ομοιόμορφα. Τα υπερφορτωμένα συστήματα συχνά αντιμετωπίζουν αυξημένες λειτουργικές απώλειες λόγω συντήρησης και πιθανών προβλημάτων ασφαλείας. Με την προσθήκη νέων γραμμών σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες, αυξάνεται η συνολική χωρητικότητα του συστήματος (Εικόνα 62). Πίνακας 14 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεσης μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτός λειτουργίας, με την προσθήκη των Γραμμών Μεταφοράς Line 13 και Line 14 στην ΗVAC διασύνδεση.

	Προσθήκη Line	LINE 9 & 10
	13 &14 (%)	Εκτός
		Λειτουργίας(%)
	Ποσοστό Φόρτιση	ς
LINE 1 53km	30,80	30,90
LINE 2 55km	35,50	38,30
LINE 3 50km	28,00	28,50
LINE 5 100km	16,30	16,10
LINE 7 80km	34,70	35,20
LINE 9 80km		
LINE 10 80km		
LINE 11 50km	55,20	111,30
LINE 12 100km	82,40	166,70
LINE 13 50km	55,20	
LINE 14 100km	82,40	
AC Interconnection Line	33,10	36,40

Στην περίπτωση που είχαμε κάνει σωστή μελέτη και είχαν προστεθεί οι γραμμές μεταφοράς Line 13 & Line 14 παρατηρείται πως το δίκτυο μεταφοράς δεν θα έφτανε σε κρίσιμη κατάσταση(Πίνακας 14).

Επιπλέον, η προσθήκη νέων γραμμών μεταφοράς θα ενισχύσει την ικανότητα του δικτύου να ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς οι πληθυσμοί αυξάνονται και οι βιομηχανίες επεκτείνονται, η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται επίσης. Επεκτείνοντας προληπτικά το δίκτυο με νέες γραμμές μεταφοράς, μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι η υποδομή είναι ικανή να ανταποκριθεί στις μελλοντικές απαιτήσεις, χωρίς συμβιβασμούς στη σταθερότητα ή την αποτελεσματικότητα.

Τέλος, οι νέες γραμμές θα βελτιώσουν τη συνολική ανθεκτικότητα του δικτύου. Σε περίπτωση βλάβης ή αστοχίας σε ένα τμήμα του δικτύου, οι πρόσθετες γραμμές θα παρέχουν εναλλακτικές διαδρομές για την επαναδρομολόγηση της τροφοδοσίας, ελαχιστοποιώντας έτσι τον κίνδυνο εκτεταμένων διακοπών.

4.6. Ανάλυση του αντίκτυπου της αύξησης του μήκους μιας διασύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα δίκτυα υψηλής τάσης αποτελούν τη ραχοκοκαλιά των σύγχρονων συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας τη μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες. την απόδοση και τη σταθερότητά τους. Οι απώλειες ισχύος στα δίκτυα υψηλής τάσης αποτελούν αναπόφευκτο μέρος της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το μήκος των διασυνδέσεων σε αυτά τα δίκτυα μπορεί να

επηρεάσει σημαντικά τις απώλειες, ως αποτέλεσμα η κατανόηση αυτών είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της βιωσιμότητας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Διεξήχθη μια προσομοίωση για να εξεταστεί πώς το μήκος μιας διασύνδεσης, μετρημένο σε χιλιόμετρα, επηρεάζει τις απώλειες ισχύος εντός αυτής της διασύνδεσης. Αυτή η μελέτη επικεντρώθηκε σε τρία διαφορετικά συστήματα μεταφοράς ισχύος, καθένα από τα οποία αναλύθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Load Flow για να διασφαλίσει ακριβή και ολοκληρωμένα αποτελέσματα.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις απώλειες ενεργού ισχύος μιας γραμμής μεταφοράς παρουσιάζονται παρακάτω. Η συνολική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς καθώς επίσης το μέτρο και η φάση παρουσιάζονται παρακάτω:

 $Z = (R(20^{\circ}C) + jX(20^{\circ}C))(\Omega/km) * length(km)$ $|Z| = \sqrt{R(20^{\circ}C)^{2} + X(20^{\circ}C)^{2}} (\Omega)$ $\varphi = X(20^{\circ}C)/R(20^{\circ}C)^{\circ}$

Παρακάτω έγιναν μετρήσεις κάνοντας χρήση της μεθόδου Ροής Φορτίου για τα 3 διαφορετικά συστήματα μεταφοράς ενέργειας, όπου μεταβαλλόταν το μήκος της διασύνδεσης. Πιο συγκεκριμένα, τα διαφορετικά μήκη διασύνδεσης είναι :

- 50km
- 80 km
- 110 km
- 140 km
- 170 km
- 200 km
- 250 km
- 320 km
- 515 km

<u>Διασύνδεση μήκους 50 km</u>

Πίνακας 15 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 50km.

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 50km Διασύνδεση (MW)			
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC	
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,36	
LINE 2 55km	0,39	0,37	0,38	
LINE 3 50km	0,22	0,22	0,21	
LINE 5 100km	0,15	0,15	0,16	
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,64	
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,74	
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,03	
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48	
DC Interconnection Line 1 +	0,09	0,09		
AC Interconnection Line			0,37	

Διασύνδεση μήκους 80 km

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 80km Διασύνδεση				
	(MW)				
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC		
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,35		
LINE 2 55km	0,39	0,37	0,38		
LINE 3 50km	0,22	0,21	0,21		
LINE 5 100km	0,15	0,15	0,16		
LINE 7 80km	0,66	0,65	0,64		
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,75		
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,03		
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48		
DC Interconnection Line 1 +	0,14	0,14			
AC Interconnection Line			0,57		

Πίνακας 16 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 80km.

<u>Διασύνδεση μήκους 110 km</u>

Πίνακας 17 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 110km.

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 110km Διασύνδεση				
	(MW)				
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC		
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,35		
LINE 2 55km	0,39	0,38	0,38		
LINE 3 50km	0,22	0,21	0,21		
LINE 5 100km	0,15	0,15	0,16		
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,64		
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,75		
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,03		
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48		
DC Interconnection Line 1 +	0,19	0,19			
AC Interconnection Line			0,77		

Διασύνδεση μήκους 140 km

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 140km Διασύνδεση (MW)		
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,34
LINE 2 55km	0,39	0,38	0,38
LINE 3 50km	0,22	0,21	0,21
LINE 5 100km	0,15	0,15	0,16
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,64
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,75
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,03
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48
DC Interconnection Line 1 +	0,25	0,24	
AC Interconnection Line			0,97

Πίνακας 18 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 140km.

Διασύνδεση μήκους 170 km

Πίνακας 19 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 170km.

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 170km Διασύνδεση		
	(MW)		
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,34
LINE 2 55km	0,39	0,38	0,38
LINE 3 50km	0,22	0,21	0,21
LINE 5 100km	0,15	0,15	0,16
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,64
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,74
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,03
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48
DC Interconnection Line 1 +	0,30	0,30	
AC Interconnection Line			1,16

Διασύνδεση μήκους 200 km

Πίνακας 20 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 200km.

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 200km Διασύνδεση (MW)		
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,34
LINE 2 55km	0,39	0,38	0,38
LINE 3 50km	0,22	0,21	0,21
LINE 5 100km	0,15	0,15	0,16
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,64
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,74
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,03
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48
DC Interconnection Line 1 +	0,35	0,35	
AC Interconnection Line			1,35

Διασύνδεση μήκους 250 km

Πίνακας 21 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 250km.

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 250km Διασύνδεση (MW)		
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,35
LINE 2 55km	0,40	0,38	0,39
LINE 3 50km	0,22	0,21	0,21
LINE 5 100km	0,15	0,15	0,16
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,64
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,74
LINE 11 50km	0,0,21	0,03	0,04
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48
DC Interconnection Line 1 +	0,44	0,44	
AC Interconnection Line			1,67

Διασύνδεση μήκους 320 km

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 320km Διασύνδεση		
	(MW)		
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC
LINE 1 53km	0,38	0,43	0,36
LINE 2 55km	0,40	0,38	0,40
LINE 3 50km	0,22	0,21	0,21
LINE 5 100km	0,15	0,16	0,16
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,64
LINE 9 80km	1,80	1,78	1,74
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,04
LINE 12 100km	1,50	1,49	1,48
DC Interconnection Line 1 +	0,57	0,56	
AC Interconnection Line			2,11

Πίνακας 22 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 320km.

Πίνακας 23 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεσης για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 515km.

	Απώλειες Ενεργού Ισχύος για 515km Διασύνδεση (MW)		
	HVDC LCC	HVDC VSC	HVAC
LINE 1 53km	0,38	0,42	0,43
LINE 2 55km	0,40	0,37	0,45
LINE 3 50km	0,22	0,22	0,21
LINE 5 100km	0,16	0,15	0,16
LINE 7 80km	0,65	0,65	0,63
LINE 9 80km	1,79	1,78	1,73
LINE 11 50km	0,02	0,03	0,04
LINE 12 100km	1,49	1,49	1,48
DC Interconnection Line 1 +	0,92	0,90	
AC Interconnection Line			3,33

Καθώς αυξανόταν το μήκος της διασύνδεσης, παρατηρήθηκε ότι αυξάνονταν και οι απώλειες ισχύος. Αυτή η συσχέτιση οφείλεται κυρίως στην εγγενή αντίσταση των γραμμών μεταφοράς, η οποία προκαλεί τη διάχυση ενέργειας ως θερμότητα σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Η προσομοίωση παρείχε λεπτομερείς πληροφορίες για το πώς αυτές οι απώλειες κλιμακώνονται με την απόσταση της διασύνδεσης.[77]

Για μικρότερες διασυνδέσεις, οι απώλειες ισχύος ήταν σχετικά χαμηλές, καθιστώντας αυτές τις διαμορφώσεις πιο αποτελεσματικές για τη μεταφορά ισχύος.

Ωστόσο, καθώς επιμηκύνονταν η διασύνδεση, η αντίσταση που συναντούσε το ηλεκτρικό ρεύμα αυξήθηκε, οδηγώντας σε μεγαλύτερη απώλεια ισχύος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας, οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν σημαντικά τη συνολική απόδοση και αξιοπιστία του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 63).

Η προσομοίωση τόνισε κρίσιμα σημεία όπου οι απώλειες έγιναν αρκετά σημαντικές ώστε να δικαιολογούν την εξέταση εναλλακτικών μεθόδων ή τεχνολογιών μεταφοράς, όπως τα συστήματα συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC), τα οποία είναι γνωστά για την αποτελεσματικότητά τους σε μεγάλες αποστάσεις.

Συμπερασματικά, για διασυνδέσεις υψηλής τάσης πέραν των 150 km, η τεχνολογία HVAC γίνεται λιγότερο πρακτική λόγω των αυξανόμενων απωλειών ισχύος(Εικόνα 63). Όπως δείχνει το γράφημα, οι απώλειες HVAC αυξάνονται σημαντικά με την απόσταση, καθιστώντας το HVDC (είτε LCC, είτε VSC) μια πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη επιλογή για μεγαλύτερες αποστάσεις.

Η προσομοίωση υπογράμμισε τη σημασία της βελτιστοποίησης των μηκών διασύνδεσης στα συστήματα μεταφοράς ισχύος για την ελαχιστοποίηση των απωλειών. Κατανοώντας τη σχέση μεταξύ του μήκους της διασύνδεσης και των απωλειών ισχύος, οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί του συστήματος μπορούν να λάβουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις για να βελτιώσουν την απόδοση και τη βιωσιμότητα των δικτύων ισχύος.



Εικόνα 63 Ποσοστό Απωλειών Ενεργού Ισχύος της Διασύνδεσης προς τις Συνολικές Απώλειες Ενεργού Ισχύος όλων των Γραμμών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Τεχνοοικονομική ανάλυση συστημάτων μεταφοράς ισχύος.

5.1. Τεχνική ανάλυση

Τα συστήματα υψηλής τάσης, είτε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), είτε συνεχές ρεύμα (DC), αποτελούν κρίσιμα στοιχεία των σύγχρονων δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται, η ανάγκη για αποδοτικά, αξιόπιστα και βιώσιμα συστήματα μεταφοράς ενέργειας γίνεται όλο και πιο σημαντική. Η επιλογή μεταξύ συστημάτων υψηλής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος και συνεχούς ρεύματος, ιδιαίτερα στη μεταφορά ισχύος μεγάλης κλίμακας και σε μεγάλες αποστάσεις, περιλαμβάνει πολύπλοκες διαδικασίες λήψης αποφάσεων που απαιτούν πλήρη κατανόηση τόσο της τεχνικής απόδοσης, όσο και της οικονομικής βιωσιμότητας.

Η τεχνοοικονομική ανάλυση (TEA) παρέχει ένα συστηματικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της λειτουργικής απόδοσης συστημάτων υψηλής τάσης AC και DC. Αυτή η ανάλυση ενσωματώνει τεχνικές παραμέτρους, όπως απώλειες συστήματος, ικανότητα μεταφοράς και αξιοπιστία, με οικονομικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων κεφαλαίου, του λειτουργικού κόστους και των εξόδων συντήρησης. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις τεχνικές, όσο και τις οικονομικές πτυχές, το ΤΕΑ βοηθά τους ενδιαφερόμενους να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την καταλληλότερη τεχνολογία για συγκεκριμένες εφαρμογές, είτε σε συστήματα αστικών δικτύων, διηπειρωτικές ζεύξεις ισχύος ή ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας(Εικόνα 64).

Στα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής τάσης, η τεχνολογία είναι καθιερωμένη, προσφέροντας πλεονεκτήματα, όπως η ευκολία μετατροπής τάσης και η ευρεία υποδομή. Ωστόσο, τα συστήματα AC μπορούν να υποφέρουν από σημαντικές απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις λόγω της αντίδρασης και απαιτούν πολύπλοκο συγχρονισμό μεταξύ των δικτύων. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα υψηλής τάσης DC (HVDC), αν και αρχικά είναι πιο ακριβά λόγω της ανάγκης για μετατροπείς και εξειδικευμένο εξοπλισμό, προσφέρουν ανώτερη απόδοση στη μεταφορά μεγάλων αποστάσεων με μειωμένες απώλειες και δυνατότητα σύνδεσης ασύγχρονων δικτύων[78].

Αυτή η εισαγωγή στην τεχνοοικονομική ανάλυση για συστήματα AC και DC υψηλής τάσης θα διερευνήσει τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή και την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών. Θα συζητηθούν οι αντισταθμίσεις μεταξύ της αρχικής κεφαλαιουχικής δαπάνης και του μακροπρόθεσμου λειτουργικού κόστους, καθώς και ο αντίκτυπος των τεχνολογικών εξελίξεων και της δυναμικής της αγοράς στο μέλλον της μεταφοράς ισχύος υψηλής τάσης. Με την κατανόηση αυτών των παραγόντων, οι μηχανικοί, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι επενδυτές μπορούν να πλοηγηθούν καλύτερα στις πολυπλοκότητες του σχεδιασμού και της υλοποίησης του συστήματος υψηλής τάσης, διασφαλίζοντας μια ισορροπία μεταξύ της οικονομικής απόδοσης και της αξιοπιστίας του συστήματος στο συνεχώς εξελισσόμενο ενεργειακό τοπίο.



Εικόνα 64 Διαδικασία λήψης αποφάσεων και τεχνικής ανάλυσης [78].

Η εξίσωση που περιγράφει την ισχύ που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός της AC γραμμής μεταφοράς περιγράφεται παρακάτω.

$$\mathbf{P} = V_{AC} * I_{AC} * \cos\left(\varphi\right)$$

Ενώ η εξίσωση που περιγράφει την ισχύ που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός της DC γραμμής μεταφοράς περιγράφεται παρακάτω.

 $\mathbf{P} = V_{DC} * I_{DC}$

όπου, V_{AC} είναι η φασική τάση στην AC γραμμή μεταφοράς και V_{DC} είναι η τάση στην DC γραμμή μεταφοράς, φ η γωνία διαφοράς τάσης και ρεύματος.

Γνωρίζουμε πως $I_{AC} = I_{DC}$ και $V_{DC} = \sqrt{2} * V_{AC}$, τότε ο λόγος των ικανοτήτων μεταφοράς ισχύος είναι:

$$\frac{Pd}{Pa} = \frac{\sqrt{2}}{\cos\left(\varphi\right)}$$

Οπότε παρατηρείται πως στην ιδανική περίπτωση φ=0° η ενεργός ισχύς που μπορεί να μεταφέρει η DC διασύνδεση είναι $\sqrt{2}$ φορές μεγαλύτερη.

Το φαινόμενο της κορώνας είναι μια διαδικασία που συμβαίνει όταν το ηλεκτρικό πεδίο γύρω από έναν αγωγό σε ένα σύστημα υψηλής τάσης γίνεται αρκετά ισχυρό ώστε να ιονίζει τον περιβάλλοντα αέρα, οδηγώντας σε μερική ηλεκτρική εκκένωση. Αυτός ο ιονισμός των μορίων του αέρα προκαλεί μια ορατή λάμψη, έναν ήχο συριγμού ή τριξίματος και το σχηματισμό όζοντος και άλλων αντιδραστικών ουσιών. Το φαινόμενο της κορώνας μπορεί να συμβεί γύρω από γραμμές μεταφοράς, μονωτές και άλλο εξοπλισμό υψηλής τάσης. Οι απώλειες κορώνας αναφέρονται στις απώλειες ισχύος που συμβαίνουν σε γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης λόγω του ιονισμού του περιβάλλοντος αέρα. Όταν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από έναν αγωγό υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο, ο αέρας κοντά στον αγωγό ιονίζεται, προκαλώντας μερική εκφόρτιση. Αυτό το φαινόμενο, οδηγεί σε πολλές ανεπιθύμητες ενέργειες, όπως απώλειες ενέργειας, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και ηχητικό θόρυβο.

Στην μεταφορά AC, το ηλεκτρικό πεδίο γύρω από τον αγωγό αλλάζει συνεχώς κατεύθυνση και μέγεθος με τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος (συνήθως 50 ή 60 Hz). Αυτό σημαίνει ότι η πολικότητα της τάσης αντιστρέφεται πολλές φορές ανά

δευτερόλεπτο, οδηγώντας σε μια διαδικασία δυναμικού ιονισμού και επανασύνδεση ιόντων στον αέρα που περιβάλλει τους αγωγούς. Στη μεταφορά συνεχούς ρεύματος, το ηλεκτρικό πεδίο είναι στατικό και δεν αλλάζει κατεύθυνση ή μέγεθος με την πάροδο του χρόνου. Ως αποτέλεσμα, όταν ο αέρας γύρω από τον αγωγό ιονιστεί, ο ιονισμός παραμένει σχετικά σταθερός, οδηγώντας σε λιγότερο συχνά συμβάντα ιονισμού σε σύγκριση με τα συστήματα AC. Αυτό το σταθερό πεδίο τείνει να παράγει μικρότερες απώλειες, καθώς τα ιονισμένα σωματίδια δεν διαταράσσονται και αναμορφώνονται συνεχώς.

Το επιδερμικό φαινόμενο είναι ένα φαινόμενο στους ηλεκτρικούς αγωγούς όπου το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) τείνει να συγκεντρώνεται κοντά στην επιφάνεια του αγωγού, αντί να κατανέμεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη την περιοχή της διατομής του. Αυτό το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο όσο αυξάνεται η συχνότητα του AC. Ως αποτέλεσμα έχει σημαντικές επιπτώσεις στα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος, αλλά δεν επηρεάζει τα συστήματα συνεχούς ρεύματος (DC)(Εικόνα 65).

Το αποτέλεσμα είναι κρίσιμος παράγοντας στα συστήματα AC, ειδικά σε υψηλότερες συχνότητες (όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στη μεταφορά ή με αρμονικές). Οδηγεί σε αυξημένη αντίσταση αγωγού και υψηλότερες απώλειες τα οποία πρέπει να αντιμετωπίζονται για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου

Τα συστήματα συνεχούς ρεύματος δεν υποφέρουν από την αυξημένη αντίσταση και τις σχετικές απώλειες που προκαλούνται από το επιδερμικό φαινόμενο, καθιστώντας τα πιο αποτελεσματικά από αυτή την άποψη, ιδιαίτερα σε μεγάλες αποστάσεις.



Εικόνα 65 Επιδερμικό φαινόμενο στους ΑC και DC αγωγούς

Τα συστήματα AC απαιτούν άεργο ισχύ για τη διαχείριση των επιπέδων τάσης και την αντιστάθμιση των επαγωγικών και χωρητικών επιδράσεων που είναι εγγενείς στις γραμμές μεταφοράς AC. Αυτά τα φαινόμενα προκαλούν πτώσεις τάσης και απαιτούν άεργο ισχύ για τη διατήρηση της σταθερότητας, ιδιαίτερα σε μεγάλες αποστάσεις. Αντίθετα, τα συστήματα συνεχούς ρεύματος δεν υποφέρουν από επαγωγική ή χωρητική αντίδραση στην σταθερή κατάσταση και επομένως δεν απαιτούν άεργο ισχύ για τη διαχείριση τάσης. Αυτό καθιστά τη μεταφορά DC πιο αποτελεσματική και απλούστερη για μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπως το HVDC.

5.2. Οικονομική ανάλυση

Η οικονομική ανάλυση των συστημάτων υψηλής τάσης είναι μια κρίσιμη πτυχή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, που εστιάζει στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, της υλοποίησης και της λειτουργίας των δικτύων μεταφοράς. Τα συστήματα υψηλής τάσης διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποτελεσματική μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, μειώνοντας τις απώλειες ενέργειας και διασφαλίζοντας την αξιόπιστη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στους τελικούς χρήστες. Καθώς οι παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις συνεχίζουν να αυξάνονται και η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιταχύνεται, η κατανόηση των οικονομικών επιπτώσεων των συστημάτων υψηλής τάσης γίνεται όλο και πιο σημαντική.

Αυτή η ανάλυση περιλαμβάνει την αξιολόγηση του κόστους που σχετίζεται με διάφορα εξαρτήματα συστημάτων υψηλής τάσης, συμπεριλαμβανομένων των γραμμών μεταφοράς, των υποσταθμών και των συσκευών προστασίας. Λαμβάνει επίσης υπόψη τις αντισταθμίσεις μεταξύ των αρχικών επενδύσεων κεφαλαίου και των συνεχιζόμενων λειτουργικών δαπανών, όπως η συντήρηση, οι απώλειες ενέργειας και η αξιοπιστία του συστήματος. Διεξάγοντας μια ενδελεχή οικονομική ανάλυση, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τα πιο οικονομικά και αποδοτικά σχέδια, τεχνολογίες και στρατηγικές για την κάλυψη των τρεχουσών και μελλοντικών ενεργειακών αναγκών.

Επιπλέον, η οικονομική ανάλυση των συστημάτων υψηλής τάσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη εξωτερικούς παράγοντες όπως ρυθμιστικές απαιτήσεις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τεχνολογικές εξελίξεις. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη συνολική ανάλυση κόστους-οφέλους, αλλάζοντας ενδεχομένως τον προτιμώμενο σχεδιασμό ή τη επιχειρησιακή στρατηγική. Επομένως, μια ολοκληρωμένη οικονομική ανάλυση όχι μόνο βοηθά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, αλλά διασφαλίζει επίσης την ευθυγράμμιση με ευρύτερους οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς στόχους.

Το κριτήριο αξιολόγησης της συγκεκριμένης μελέτης διεξάγεται με την ανάλυση προεξοφλημένων ταμειακών ροών (DCF) που είναι μια μέθοδος οικονομικής αξιολόγησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αξίας μιας επένδυσης ή μιας εταιρείας με βάση την παρούσα αξία των αναμενόμενων μελλοντικών ταμειακών ροών της. Με την προεξόφληση αυτών των μελλοντικών ταμειακών ροών πίσω στην αξία τους με τους σημερινούς όρους, χρησιμοποιώντας ένα προεξοφλητικό επιτόκιο (συχνά το κόστος κεφαλαίου της εταιρείας), η ανάλυση DCF βοηθά στον προσδιορισμό του αν μια επένδυση αξίζει τον κόπο.

5.2.1. Επενδυτικά κόστη

Όσον αφορά το κόστος τω υποσταθμών, το κόστος του διαμορφώνεται ανάλογα τις ανάγκες και τις απαιτήσεις που υπάρχουν στο έργο. Στην προκειμένη περίπτωση το κόστος ενός υποσταθμού εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) περιγράφεται από τη σχέση: $C_{HVAC_{Sub}} = 32.000 \notin [79]$

Οπότε το κόστος του υποσταθμού για την AC διασύνδεση που μεταφέρει 174,8MW ανέρχεται περίπου στα 5,59 εκατομμύρια ευρώ. Σε αντίθεση το κόστος ενός υποσταθμού συνεχούς ρεύματος (DC) συγκεκριμένα HVDC LCC περιγράφεται από τη σχέση:

 $C_{LCC \ Sub} = 80.000 \notin [MW \ [79]]$

Δεδομένου πως η LCC διασύνδεση μεταφέρει 174,8 MW ενεργού ισχύος τότε το κόστος ανέρχεται περίπου στα 13,98 εκατομμύρια ευρώ. Τέλος, όσον αφορά την HVDC LCC διασύνδεση το κόστος του υποσταθμού περιγράφεται από τη σχέση: $C_{VSC Sub} = 102.000 \notin [79]$





Εικόνα 66 Κόστος Υποσταθμών της κάθε τεχνολογίας

Το κόστος των υποσταθμών παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών HVAC, HVDC LCC και HVDC VSC. Οι υποσταθμοί HVAC είναι οι φθηνότεροι με 5,59 εκατομμύρια ευρώ, αντικατοπτρίζοντας τον απλούστερο σχεδιασμό τους. Οι υποσταθμοί HVDC LCC κοστίζουν 13,98 εκατομμύρια ευρώ, προσφέροντας ισορροπία μεταξύ κόστους και απόδοσης μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, οι υποσταθμοί HVDC VSC, με 17,83 εκατομμύρια ευρώ, είναι οι πιο ακριβοί λόγω της προηγμένης τεχνολογίας τους (Εικόνα 66).

Τα καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος συχνά χρησιμοποιούν αγωγούς με μεγαλύτερες επιφάνειες διατομής για να χειριστούν τις επιπτώσεις της αντίδρασης και να διαχειριστούν αποτελεσματικά τις απώλειες. Σε εφαρμογές υψηλής τάσης, αυτό μπορεί να σημαίνει υψηλότερο κόστος υλικού για τους αγωγούς σε σύγκριση με τα καλώδια DC, τα οποία μπορούν να βελτιστοποιηθούν για πιο απλή ροή ρεύματος.

Το κομμάτι διασύνδεσης είναι 515 χιλιόμετρα, οι γραμμές μεταφοράς για την AC διασύνδεση υπολογίζονται από τη σχέση:

 $C_{HVAC_Cab} = 1,54 \, M \text{€/km} \ [78]$

Συνεπώς το συνολικό κόστος για τις γραμμές μεταφοράς ανέρχεται στα 793,1 εκατομμύρια ευρώ. Στην περίπτωση της DC γραμμής μεταφοράς το κόστος είναι χαμηλότερο, πιο συγκεκριμένα:

 $C_{HVDC_Cab} = 1,04 \ M \in /km \ [78]$

Παρατηρείται πως το συνολικό κόστος των καλωδίων DC, και για τις 2 τεχνολογίες (HVDC LCC- HVDC VSC), για το κομμάτι της διασύνδεσης ανέρχεται στα 535,6 εκατομμύρια ευρώ.



Εικόνα 67 Κόστος της Διασύνδεσης της κάθε τεχνολογίας

Το κόστος των γραμμών μεταφοράς για συστήματα HVAC και HVDC ποικίλλει σημαντικά. Οι γραμμές μεταφοράς HVAC είναι οι πιο ακριβές, με κόστος 1,54 εκατ. ευρώ ανά χιλιόμετρο, με αποτέλεσμα το συνολικό κόστος να ανέρχεται στα 793 εκατ. ευρώ για μια διασύνδεση 515 χιλιομέτρων. Από την άλλη πλευρά, και οι δύο γραμμές HVDC LCC και HVDC VSC κοστίζουν σημαντικά λιγότερο με 1,04 εκατ. ευρώ ανά χιλιόμετρο, με συνολικά 535 εκατ. ευρώ για την ίδια απόσταση. Αυτό καθιστά τις τεχνολογίες HVDC πιο οικονομικές για μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις(Εικόνα 67).

Η τεχνολογία STATCOM είναι μια προηγμένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται τόσο σε συστήματα HVAC, όσο και σε συστήματα HVDC για τη διαχείριση της άεργου ισχύος, τη βελτίωση της σταθερότητας της τάσης και τη βελτίωση της συνολικής αξιοπιστίας του δικτύου.

Ενσωματώνοντας τις συσκευές STATCOM, οι χειριστές του δικτύου μπορούν να επιτύχουν ένα πιο ευέλικτο και ανθεκτικό δίκτυο μεταφοράς ισχύος, ικανό να χειρίζεται ποικίλες συνθήκες φορτίου και να διατηρεί σταθερότητα ακόμη και σε πολύπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα. Αυτή η ενοποίηση είναι ιδιαίτερα σημαντική στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η αυξανόμενη ζήτηση για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις απαιτούν βελτιωμένη σταθερότητα και απόδοση του δικτύου. Το επιπλέον κόστος της HVAC διασύνδεσης με την ενσωμάτωση των συσκευών ανέρχεται 56.000€/km [79]. Συνεπώς καθώς το μήκος της διασύνδεσης είναι 515km τότε το προσεγγιστικό κόστος των συσκευών ανέρχεται στα 28.84 εκατομμύρια ευρώ (Εικόνα 68).



Εικόνα 68 Κόστος Ενσωμάτωσης Συσκευών STATCOM

Μετά τη διεξαγωγή έρευνας, διαπιστώθηκε ότι το κόστος επένδυσης για διαφορετικές τεχνολογίες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει σημαντικά. Το υψηλότερο επενδυτικό κόστος σχετίζεται με συστήματα HVAC, κυρίως λόγω της ανάγκης για εκτεταμένη υποδομή, όπως πολλαπλές γραμμές μεταφοράς και ανάγκη για αντιστάθμιση άεργου ισχύος. Μετά το HVAC, το κόστος επένδυσης για συστήματα HVDC που χρησιμοποιούν τεχνολογία Voltage Source Converter (VSC) είναι χαμηλότερο, αλλά εξακολουθεί να είναι σημαντικό, λόγω του υψηλού κόστους των υποσταθμών. Το χαμηλότερο κόστος επένδυσης βρίσκεται στα συστήματα HVDC που χρησιμοποιούν τεχνολογία Line Commutated Converter (LCC), κυρίως λόγω της απλούστερης και πιο καθιερωμένης τεχνολογίας τους. Αυτή η κατάταξη κόστους υπογραμμίζει την ανάγκη να ληφθούν υπόψη προσεκτικά οι συγκεκριμένες απαιτήσεις και ο προϋπολογισμός ενός έργου κατά την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας μεταφοράς ισχύος (Εικόνα 69).



Εικόνα 69 Συνολικά Επενδυτικά Κόστη Πραγματοποίησης του έργου
5.2.2. Ετήσια κόστη

Τα υψηλά ποσοστά απωλειών σε υποσταθμούς HVDC μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερο ετήσιο λειτουργικό κόστος. Αυτές οι απώλειες συνήθως συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των διαδικασιών μετατροπής από AC σε DC και αντίστροφα, οι οποίες είναι απαραίτητες για συστήματα HVDC. Αν και το HVDC είναι γενικά πιο αποδοτικό για τη μεταφοράς ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις σε σύγκριση με το HVAC, οι απώλειες στους σταθμούς μετατροπής μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το συνολικό λειτουργικό κόστος. Με την πάροδο του χρόνου, αυτές οι απώλειες συμβάλλουν σε υψηλότερα έξοδα, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την οικονομική βιωσιμότητα της χρήσης τεχνολογίας HVDC σε ορισμένες εφαρμογές.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, λαμβάνεται υπόψη πως η τιμή της MWh είναι 80€ [80] και ότι το έτος αποτελείται από 8760 ώρες το συνολικό κόστος των απωλειών του υποσταθμού υπολογίζεται από τη σχέση:

 $Cost_{sub} = 8760 * 80 * P_{loss}$

Το ποσοστό απωλειών των υποσταθμών LCC είναι 0,85% της ενεργού ισχύος που μεταφέρουν ενώ το ποσοστό απωλειών των υποσταθμών VSC είναι 2% της ενεργού ισχύος που μεταφέρουν. Δεδομένου πως και οι δύο διασυνδέσεις μεταφέρουν ίδια ισχύ 174,8MW, τότε το ετήσιο κόστος των απώλειών ενεργού ισχύος για την LCC διασύνδεση ανέρχεται στα 1,041 εκατομμύρια ευρώ, ενώ της VSC διασύνδεσης ανέρχεται στα 2,449 εκατομμύρια ευρώ(Εικόνα 70).



Εικόνα 70 Κόστος των Απωλειών Υποσταθμών σε ετήσια βάση

Τέλος, οι απώλειες ισχύος των HVAC καλωδίων της διασύνδεσης ανέρχονται στα 2.150 MW, ενώ οι απώλειες των HVDC καλωδίων των διασυνδέσεων 1,186 MW. Λαμβάνοντας υπόψη πως η τιμή της MWh είναι 80€ [80] και ότι το έτος αποτελείται από 8760 ώρες το κόστος των απωλειών αυτών μπορεί να δοθεί από την εξίσωση: $Cost_{Cab} = P_{Loss} * 8760 * 80$

Τότε το οικονομικό κόστος των απωλειών αυτών ανέρχεται στα 1,506 εκατομμύρια ευρώ ετησίως. Η HVDC τεχνολογία λόγω των λιγότερων απωλειών το οικονομικό κόστος ανέρχεται περίπου στα 831 χιλιάδες ευρώ.

Το ετήσιο κόστος των απωλειών μεταφοράς ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των συστημάτων HVAC, HVDC LCC και HVDC VSC. Το σύστημα HVAC έχει τις

μεγαλύτερες απώλειες, ύψους 1,506 δισ. ευρώ ετησίως. Οι τεχνολογίες HVDC είναι πιο αποτελεσματικές, όπου το ετήσιο κόστος να είναι 831 εκατομμύρια ευρώ λόγω μικρότερων απωλειών (Εικόνα 71).



Εικόνα 71 Κόστος των Απωλειών των Διασυνδέσεων σε ετήσια βάση

Οι υποσταθμοί υψηλής τάσης παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαχείριση της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας ή και αυξάνοντας την τάση μεταφοράς σε επίπεδα κατάλληλα για τη διανομή. Η λειτουργία τους περιλαμβάνει ακριβή ρύθμιση τάσης, αποτελεσματική εναλλαγή για τον έλεγχο της ροής ισχύος και συνεχή παρακολούθηση μέσω προηγμένων συστημάτων. Γι' αυτό η συντήρηση εκτός ότι είναι ζωτικής σημασίας είναι αρκετά δαπανηρή. Για την HVAC διασύνδεση είναι περίπου το 2% του συνολικού επενδυτικού κόστους, ενώ για τις HVDC τεχνολογίες είναι περίπου το 2,4% του επενδυτικού κόστους (Εικόνα 72) [79].



Εικόνα 72 Κόστη Συντήρησης και Λειτουργίας σε ετήσια βάση

Κατά την ανάλυση των ετήσιων δαπανών που σχετίζονται με διαφορετικές τεχνολογίες μεταφοράς ισχύος, προκύπτει μια σαφής διάκριση μεταξύ συστημάτων HVAC και HVDC. Τα συστήματα HVAC επιβαρύνονται με το υψηλότερο ετήσιο κόστος, κυρίως λόγω των σημαντικών απωλειών ενέργειας κατά τη μεταφορά και της συνεχιζόμενης ανάγκης για αντιστάθμιση άεργου ισχύος και τακτική συντήρηση. Αυτοί οι παράγοντες καθιστούν τα συστήματα HVAC πιο ακριβά στη λειτουργία τους με την πάροδο του χρόνου. Αντίθετα, τα συστήματα HVDC που χρησιμοποιούν

τεχνολογία VSC, ενώ εξακολουθούν να έχουν σημαντικό ετήσιο κόστος, είναι λιγότερο επιβαρυντικά. Τα έξοδα εδώ συνδέονται κυρίως με τη συντήρηση υποσταθμών. Τα πιο οικονομικά αποδοτικά από την άποψη των ετήσιων δαπανών είναι τα συστήματα LCC. Αυτά τα συστήματα επωφελούνται από υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και, καθιστώντας τα πιο οικονομικά μακροπρόθεσμα(Εικόνα 73).



Εικόνα 73 Συνολικά Κόστη ανά έτος

5.2.3. Καθαρή παρούσα αξία

Η τεχνοοικονομική ανάλυση θα διεξαχθεί με τη χρήση της τεχνικής Discounted Cash Flow (DCF), μια ευρέως αναγνωρισμένη μέθοδο για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των έργων. Σε αυτήν την ανάλυση, η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) θα υπολογιστεί ως το τελικό αποτέλεσμα και για τα δύο υπό εξέταση συστήματα. Το NPV θα καθοριστεί συνδυάζοντας τη συνολική καθαρή επένδυση και το ετήσιο προεξοφλητικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει μια ολοκληρωμένη σύγκριση των δύο συστημάτων λαμβάνοντας υπόψη τη γρονική αξία του γρήματος, διασφαλίζοντας ότι όλα τα μελλοντικά κόστη και έσοδα προεξοφλούνται κατάλληλα στις τρέχουσες αξίες τους, παρέχοντας μια σαφή αξιολόγηση της οικονομικής απόδοσης κάθε συστήματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξισώσεις που περιγράφουν την οικονομική ανάλυση. Επενδυτικό Κόστος (HVDC) = Κόστος Υποσταθμού + Κόστος Καλωδίων Επενδυτικό Κόστος (ΗVAC) = Κόστος Υποσταθμού + Κόστος Καλωδίων + Κόστος Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος (STATCOM) Ετήσιο Κόστος = Ετήσιο Κόστος Απωλειών + Ετήσιο Κόστος Συντήρησης Προεξοφλημένο Ετήσιο Κόστος= Παράγοντας Παρούσας Αξίας Προσόδου* [Ετήσιο Κόστος*(1- Φορολογικό Συντελεστή)-Απόσβεση*Φορολογικό Συντελεστή] Παράγοντας Παρούσας Αξίας Προσόδου = $\frac{1 - (1 + \Pi \alpha \rho \dot{\alpha} \gamma o v \tau \alpha \varsigma \Pi \rho o \epsilon \xi \dot{o} \phi \lambda \eta \sigma \eta \varsigma)^{-\Delta \iota \dot{\alpha} \rho \kappa \epsilon \iota \alpha}}{2}$ Παράγοντας Προεξόφλησης Απόσβεση= Κόστος Επένδυσης Διάρκεια

Καθαρή Παρούσα Αξία= Επενδυτικό Κόστος+ Προεξοφλημένο Ετήσιο Κόστος

Στη συγκεκριμένη μελέτη, η διάρκεια τέθηκε 30 έτη, ο Παράγοντας Προεξόφλησης ισούται με 5,5% και τέλος ο Φορολογικός Συντελεστής ισούται με 17%.



Εικόνα 74 Καθαρή Παρούσα Αξία του κάθε συστήματος

Η τεχνοοικονομική ανάλυση υπογραμμίζει τους συμβιβασμούς που σχετίζονται με διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης υψηλής τάσης. Ενώ τα συστήματα HVAC αντιπροσωπεύουν τη σημαντικότερη επένδυση, είναι λιγότερο κατάλληλα για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις σε σύγκριση με τις επιλογές HVDC(Εικόνα 74). Τα συστήματα HVDC VSC, αν και πιο δαπανηρά από το HVDC LCC, προσφέρουν ανώτερη ευελιξία και δυνατότητες ολοκλήρωσης. Το HVDC LCC ξεχωρίζει ως η πιο οικονομική λύση για την παραδοσιακή μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά ενδέχεται να μην ανταποκρίνεται τόσο αποτελεσματικά στις απαιτήσεις των σύγχρονων, πολύπλοκων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 75).





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα και προοπτικές

6.1. Συμπεράσματα

Η συγκριτική μελέτη των τεχνολογιών HVAC, HVDC LCC και HVDC VSC για διασύνδεση δικτύου υψηλής τάσης παρέχει κρίσιμες πληροφορίες για την απόδοση, την αξιοπιστία και την οικονομική βιωσιμότητα αυτών των συστημάτων. Μέσω της ανάλυσης ροής φορτίου, της ανάλυσης βραχυκυκλώματος, της ανάλυσης έκτακτης ανάγκης και των τεχνοοικονομικών αξιολογήσεων, μπορούν να εξαχθούν αρκετά βασικά συμπεράσματα.

Πρώτον, η ανάλυση ροής φορτίου έδειξε ότι οι τεχνολογίες HVDC, ιδιαίτερα το HVDC VSC, προσφέρουν ανώτερο έλεγχο στη ροή ισχύος και τη σταθερότητα της τάσης, ειδικά σε σενάρια που περιλαμβάνουν μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις και ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ικανότητα των συστημάτων HVDC VSC να διαχειρίζονται ανεξάρτητα την ενεργό και άεργο ισχύ επιτρέπει πιο αποτελεσματική λειτουργία υπό διαφορετικές συνθήκες φορτίου, κάτι που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα HVAC.

Δεύτερον, η ανάλυση βραχυκυκλώματος αποκάλυψε ότι τα συστήματα HVDC, ιδιαίτερα αυτά που χρησιμοποιούν τεχνολογία VSC, επιδεικνύουν καλύτερες δυνατότητες απομόνωσης σφαλμάτων σε σύγκριση με τα συστήματα HVAC. Τα χαμηλότερα επίπεδα ρεύματος βραχυκύκλωσης στα συστήματα HVDC μειώνουν την καταπόνηση στον προστατευτικό εξοπλισμό και ενισχύουν τη συνολική ανθεκτικότητα του συστήματος. Αυτό καθιστά το HVDC VSC μια πιο επιθυμητή επιλογή για σύγχρονα δίκτυα όπου η ανοχή σφαλμάτων είναι κρίσιμη.

Όσον αφορά την ανάλυση έκτακτης ανάγκης, τα συστήματα HVDC ξεπέρασαν και πάλι την HVAC επιδεικνύοντας μεγαλύτερη ευελιξία και αξιοπιστία στη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου σε συνθήκες σφάλματος. Η φύση των συστημάτων HVDC VSC επιτρέπει την επιλεκτική απομόνωση ελαττωματικών τμημάτων χωρίς να διακυβεύεται το συνολικό δίκτυο, κάτι που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για τη διατήρηση της αδιάλειπτης παροχής ρεύματος.

Η τεχνοοικονομική ανάλυση τόνισε ότι παρόλο που τα συστήματα HVDC έχουν υψηλότερο αρχικό κόστος κεφαλαίου σε σύγκριση με το HVAC, η μακροπρόθεσμη λειτουργική εξοικονόμηση και οι μειωμένες απώλειες ισχύος καθιστούν το HVDC, ειδικά το HVDC VSC, μια οικονομικά αποδοτική λύση για συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι μικρότερες απώλειες μεταφοράς και η μειωμένη ανάγκη για εκτεταμένη υποδομή καθιστούν το HVDC πιο βιώσιμη και οικονομικά βιώσιμη επιλογή, ιδιαίτερα για τη διασύνδεση απομακρυσμένων και υπεράκτιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Συμπερασματικά, ενώ τα συστήματα HVAC παραμένουν σχετικά με μικρότερες, καθιερωμένες διαδρομές μεταφοράς, τα πλεονεκτήματα του HVDC, ιδιαίτερα της τεχνολογίας VSC, το τοποθετούν ως την προτιμώμενη επιλογή για μελλοντικές επεκτάσεις του δικτύου και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το LCC προτιμάται έναντι του VSC σε ορισμένες εφαρμογές επειδή είναι πιο

οικονομικό για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις και υψηλής ισχύος και έχει αποδεδειγμένο ιστορικό αξιοπιστίας και απόδοσης σε καθιερωμένα έργα.

Τα ευρήματα αυτής της διπλωματικής εργασίας παρέχουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση των ανταλλαγών μεταξύ αυτών των τεχνολογιών, καθοδηγώντας τους ενδιαφερόμενους στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για την ανάπτυξη ανθεκτικών και αποδοτικών δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

6.2. Μελλοντικές έρευνες

Τα ευρήματα αυτής της διπλωματικής εργασίας υπογραμμίζουν την αυξανόμενη σημασία του HVDC, ιδιαίτερα της τεχνολογίας VSC, στον εκσυγχρονισμό και τη βελτιστοποίηση των διασυνδέσεων δικτύου υψηλής τάσης. Ωστόσο, καθώς το ενεργειακό τοπίο συνεχίζει να εξελίσσεται, αρκετοί τομείς απαιτούν περαιτέρω έρευνα για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων αυτών των τεχνολογιών.

Προηγμένες στρατηγικές ελέγχου για συστήματα HVDC: Ενώ αυτή η μελέτη έχει τονίσει τα οφέλη του HVDC VSC όσον αφορά τη ροή ισχύος και τη διαχείριση σφαλμάτων, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη πιο εξελιγμένων αλγορίθμων ελέγχου. Αυτοί οι αλγόριθμοι θα μπορούσαν να βελτιώσουν περαιτέρω τη μελέτη δυναμικών/ μεταβατικών φαινομένων των συστημάτων HVDC, ιδιαίτερα σε διαμορφώσεις πολλαπλών τερματικών και υβριδικά δίκτυα AC/DC. Η διερεύνηση προσεγγίσεων μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης για έλεγχο σε πραγματικό χρόνο και πρόβλεψη σφαλμάτων σε συστήματα HVDC θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα επωφελής.

Ενσωμάτωση με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Καθώς αυξάνεται η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ συστημάτων HVDC και διαφόρων τύπων παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπως ηλιακή, αιολική και υδροηλεκτρική) θα είναι ζωτικής σημασίας. Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να διερευνήσουν τη βελτιστοποίηση των δικτύων HVDC ειδικά για ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μεγάλης κλίμακας.

Τεχνοοικονομική Ανάλυση Αναδυόμενων Τεχνολογιών HVDC: Αν και αυτή η εργασία παρείχε μια σύγκριση μεταξύ HVAC, HVDC LCC και HVDC VSC, οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις στο HVDC, όπως οι αρθρωτοί μετατροπείς πολλαπλών επιπέδων (MMC) και τα υβριδικά συστήματα HVDC, δικαιολογούν συνεχή οικονομική και τεχνική εκτίμηση. Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να επεκταθούν στα οικονομικά μοντέλα που παρουσιάζονται εδώ για να συμπεριλάβουν αναδυόμενες τεχνολογίες, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το μειωμένο κόστος μετατροπέα, τις βελτιώσεις στις συσκευές ημιαγωγών και τις καινοτομίες στην τεχνολογία καλωδίων.

Βιβλιογραφία

- Zeng, Xiangjun, et al. "Research on Novel Hybrid Multilevel Inverter with Cascaded H-bridges at Alternating Current Side for High-voltage Direct Current Transmission." *IET Power Electronics*, vol. 11, no. 12, Institution of Engineering and Technology (IET), Oct. 2018, pp. 1914–25. *Crossref*, doi:10.1049/iet-pel.2017.0925.
- Chen, Qiang, et al. "Recent Advances Towards Aqueous Hydrogen Peroxide Formation in a Direct Current Plasma–liquid System." *High Voltage*, vol. 7, no.
 Institution of Engineering and Technology (IET), Jan. 2022, pp. 405–19. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12189.
- Pattanadech, Norasage, and Masaaki Kando. "An Improved Current Voltage Transferring Device for High Current High Frequency Measurement." *Electric Power Systems Research*, vol. 163, Elsevier BV, Oct. 2018, pp. 767–73. *Crossref*, doi:10.1016/j.epsr.2017.06.015.
- 4. Han, Sangwook. "Calculating the Interface Flow Limits for the Expanded Use of High-Voltage Direct Current in Power Systems." *Energies*, vol. 13, no. 11, MDPI AG, June 2020, p. 2863. *Crossref*, doi:10.3390/en13112863.
- Davies, A. E. "High Voltage Direct Current Transmission." *Power Engineering Journal*, vol. 3, no. 2, Institution of Engineering and Technology (IET), 1989, p. 103. *Crossref*, doi:10.1049/pe:19890020.
- 6. "Research on Influencing Factors of Emergency Power Support for Voltage Source Converter-based Multi-terminal High-voltage Direct Current Transmission System." *Archives of Electrical Engineering*, Polish Academy of Sciences Chancellery, Nov. 2023. *Crossref*, doi:10.24425/aee.2022.142114.
- Alsaduni, Ibrahim. "A Novel Security Framework for the Enhancement of the Voltage Stability in a High-Voltage Direct Current System." *Processes*, vol. 11, no. 4, MDPI AG, Mar. 2023, p. 1028. *Crossref*, doi:10.3390/pr11041028.
- Kadandani, Nasiru B., et al. "ON THE SUITABILITY OF MODULAR MULTILEVEL CONVERTER (MMC) IN HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) TRANSMISSION SYSTEM." *FUDMA JOURNAL OF SCIENCES*, vol. 7, no. 3, Federal University Dutsin-Ma, Sept. 2023, pp. 318– 23. *Crossref*, doi:10.33003/fjs-2023-0703-1963.
- Lai, Yiyang, and Zengping Wang. "Stability Control of Flexible High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Based on DC Circuit Breaker Protection." *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, vol. 17, no. 2, American Scientific Publishers, Feb. 2022, pp. 351–60. *Crossref*, doi:10.1166/jno.2022.3205.
- 10. Cavallini, Andrea, et al. "Call for Papers: High Voltage Direct Current (HVDC) Insulation and Diagnostics." *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical*

Insulation, vol. 23, no. 6, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Dec. 2016, pp. 3779–3779. *Crossref*, doi:10.1109/tdei.2016.006356.

- Shi, Fan, et al. "Multi-objective Optimal Design for AC Filters in High Voltage Direct Current System Based on Improved Multi-objective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition." *High Voltage*, vol. 8, no. 3, Institution of Engineering and Technology (IET), Dec. 2022, pp. 492–503. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12291.
- 12. Kurnia, Rizda Fitri, et al. "Enhancement of Partial Discharge Resistance and Breakdown Strength Characteristics of Low-Density Polyethylene Nanocomposites Using Plasma Treatment Method." *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 14, no. 3, School of Electrical Engineering and Informatics (STEI) ITB, Sept. 2022, pp. 662–81. *Crossref*, doi:10.15676/ijeei.2022.14.3.11.
- 13. Benato, Roberto, et al. "Ground Return Current Behaviour in High Voltage Alternating Current Insulated Cables." *Energies*, vol. 7, no. 12, MDPI AG, Dec. 2014, pp. 8116–31. *Crossref*, doi:10.3390/en7128116.
- 14. Yang, Zhichao, et al. "Optimal Current Allocation Strategy for Hybrid Hierarchical HVDC System With Parallel Operation of High-Voltage and Low-Voltage DC Lines." *Processes*, vol. 10, no. 3, MDPI AG, Mar. 2022, p. 579. *Crossref*, doi:10.3390/pr10030579.
- Bai, Linux, and Lifei Shen. "Cascaded Multilevel Rectifier With Common High Voltage Direct Current (HVDC) Bus and Its Control Method." *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, vol. 16, no. 10, American Scientific Publishers, Oct. 2021, pp. 1560–67. *Crossref*, doi:10.1166/jno.2021.3107.
- 16. Yang, Zhichao, et al. "Optimal Current Allocation Strategy for Hybrid Hierarchical HVDC System With Parallel Operation of High-Voltage and Low-Voltage DC Lines." *Processes*, vol. 10, no. 3, MDPI AG, Mar. 2022, p. 579. *Crossref*, doi:10.3390/pr10030579.
- Hafeez, Kamran, and Shahid A. Khan. "High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission: Future Expectations for Pakistan." *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, Power System Technology Press, 2019. Crossref, doi:10.17775/cseejpes.2017.00530.
- Kurnia, Rizda Fitri, et al. "Electrical Trees and Partial Discharges in Silicone Rubber Nanocomposites Containing Silica Nanoparticles." *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 14, no. 4, School of Electrical Engineering and Informatics (STEI) ITB, Dec. 2022, pp. 827–40. *Crossref*, doi:10.15676/ijeei.2022.14.4.7.
- Andreasson, Martin, et al. "Distributed Voltage and Current Control of Multi-Terminal High-Voltage Direct Current Transmission Systems." *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, no. 3, Elsevier BV, 2014, pp. 11910–16. *Crossref*, doi:10.3182/20140824-6-za-1003.02316.
- 20. Liu, Haifeng, et al. "Accurate Optical Fiber Current Transducer for Highvoltage Direct Current (HVDC) Transmission." *Instrumentation Science* &

Technology, vol. 50, no. 6, Informa UK Limited, Apr. 2022, pp. 604–15. *Crossref*, doi:10.1080/10739149.2022.2053152.

- Li, Rui, and John Fletcher. "AC Voltage Control of DC/DC Converters Based on Modular Multilevel Converters in Multi-Terminal High-Voltage Direct Current Transmission Systems." *Energies*, vol. 9, no. 12, MDPI AG, Dec. 2016, p. 1064. *Crossref*, doi:10.3390/en9121064.
- 22. Hu, Chengjiang, et al. "Dynamic Surface Backstepping Control for Voltage Source Converter-High Voltage Direct Current Transmission Grid Side Converter Systems." *Electronics*, vol. 9, no. 2, MDPI AG, Feb. 2020, p. 333. *Crossref*, doi:10.3390/electronics9020333.
- 23. Ma, Xiaoqian, et al. "Research on 3-D Total Electric Field of Crossing High Voltage Direct Current Transmission Lines Based on Upstream Finite Element Method." *High Voltage*, vol. 6, no. 1, Institution of Engineering and Technology (IET), Oct. 2020, pp. 160–70. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12025.
- 24. Song, Sen, et al. "Modular Multi-Port Ultra-High Power Level Power Converter Integrated With Energy Storage for High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission." *Energies*, vol. 11, no. 10, MDPI AG, Oct. 2018, p. 2711. *Crossref*, doi:10.3390/en11102711.
- 25. Abbas, Zainab Nadhim, and Firas Mohammed Tuaimah. "Stability Improvement of the Iraqi Super Grid (400kV) Using High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission." *Journal of Engineering*, vol. 27, no. 11, Journal of Engineering, Nov. 2021, pp. 64–74. *Crossref*, doi:10.31026/j.eng.2021.11.05.
- Ahmad, Mohd Hafizi, et al. "A New Statistical Approach for Analysis of Tree Inception Voltage of Silicone Rubber and Epoxy Resin Under AC Ramp Voltage." *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 4, no. 1, School of Electrical Engineering and Informatics (STEI) ITB, Mar. 2012, pp. 27–39. *Crossref*, doi:10.15676/ijeei.2012.4.1.3.
- 27. Yang, Qingqing, et al. "Intelligent Fault Detection and Location Scheme for Modular Multi-level Converter Multi-terminal High-voltage Direct Current." *High Voltage*, vol. 6, no. 1, Institution of Engineering and Technology (IET), Nov. 2020, pp. 125–37. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12033.
- Yang, Qingqing, et al. "Intelligent Fault Detection and Location Scheme for Modular Multi-level Converter Multi-terminal High-voltage Direct Current." *High Voltage*, vol. 6, no. 1, Institution of Engineering and Technology (IET), Nov. 2020, pp. 125–37. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12033.
- 29. Tian, Liang, et al. "Prospects for Novel Deformation Processed Al/Ca Composite Conductors for Overhead High Voltage Direct Current (HVDC) Power Transmission." *Electric Power Systems Research*, vol. 105, Elsevier BV, Dec. 2013, pp. 105–14. *Crossref*, doi:10.1016/j.epsr.2013.07.017.
- 30. Schultz, Tim, et al. "Interruption Limits of Mechanical Circuit Breakers and Circuit Upgrades for Current Injection in HVDC Circuit Breakers." *High Voltage*, vol. 5, no. 3, Institution of Engineering and Technology (IET), June 2020, pp. 334–42. *Crossref*, doi:10.1049/hve.2019.0119.

- Elserougi, Ahmed, et al. "Three-wire Bipolar High-voltage Direct Current Line Using an Existing Single-circuit High-voltage Alternating Current Line for Integrating Renewable Energy Sources in Multiterminal DC Networks." *IET Renewable Power Generation*, vol. 10, no. 3, Institution of Engineering and Technology (IET), Mar. 2016, pp. 370–79. *Crossref*, doi:10.1049/ietrpg.2015.0124.
- Zhang, Yuhan, et al. "A Traveling-wave-based Protection Scheme for the Bipolar Voltage Source Converter Based High Voltage Direct Current (VSC-HVDC) Transmission Lines in Renewable Energy Integration." *Energy*, vol. 216, Elsevier BV, Feb. 2021, p. 119312. *Crossref*, doi:10.1016/j.energy.2020.119312.
- 33. Nguyen, Phuc Huy. "Inter-Harmonics in Voltage-Sourced Converters Based High Voltage Direct Current Systems." *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, vol. 13, no. 1, Institute of Advanced Engineering and Science, Jan. 2015. *Crossref*, doi:10.11591/telkomnika.v13i1.6809.
- 34. Cheng, Qiwen, and Jun Zou. "A High Performance Approach for Solving the High Voltage Direct Current Ion Flow Field Problem by Tensor-structured Finite Element Method." *High Voltage*, vol. 8, no. 1, Institution of Engineering and Technology (IET), Sept. 2022, pp. 128–37. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12252.
- 35. Herrmann, Michael, et al. "Analysis of Onshore Synthetic Inertia and Primary Control Reserve Contributions of Alternating Current-Side Meshed Offshore Grids With Voltage-Source Converter and Diode Rectifier Unit High-Voltage Direct Current Connections." *Energies*, vol. 16, no. 18, MDPI AG, Sept. 2023, p. 6700. *Crossref*, doi:10.3390/en16186700.
- 36. Jiang, Lingtong, et al. "Pilot Protection Based on Amplitude of Directional Travelling Wave for Voltage Source Converter-High Voltage Direct Current (VSC-HVDC) Transmission Lines." *Energies*, vol. 11, no. 8, MDPI AG, Aug. 2018, p. 2021. *Crossref*, doi:10.3390/en11082021.
- 37. Rouzbehi, Kumars, et al. "An Imperialist Competitive Algorithm-Based Multi-Objective Optimization for Voltage Source Converter High-Voltage Direct Current Stations Control in Multi-Terminal HVDC Grids." *Electric Power Components and Systems*, vol. 47, no. 4–5, Informa UK Limited, Mar. 2019, pp. 316–28. *Crossref*, doi:10.1080/15325008.2019.1608479.
- "Call for Papers High Voltage Direct Current (HVDC) Insulation and Diagnostics." *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 20, no. 6, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Dec. 2013, pp. 2355–2355. *Crossref*, doi:10.1109/tdei.2013.6678890.
- 39. Aragüés-Peñalba, Mònica, et al. "Optimal Operation of Hybrid High Voltage Direct Current and Alternating Current Networks Based on OPF Combined With Droop Voltage Control." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 101, Elsevier BV, Oct. 2018, pp. 176–88. *Crossref*, doi:10.1016/j.ijepes.2018.03.010.

- 40. Herrmann, Michael, et al. "Analysis of Onshore Synthetic Inertia and Primary Control Reserve Contributions of Alternating Current-Side Meshed Offshore Grids With Voltage-Source Converter and Diode Rectifier Unit High-Voltage Direct Current Connections." *Energies*, vol. 16, no. 18, MDPI AG, Sept. 2023, p. 6700. *Crossref*, doi:10.3390/en16186700.
- 41. Cho, Su-Eog, and Sung-Geun Song. "A Study on the Power Loss of the High Voltage IGBT for Voltage Type HVDC MMC System." *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 35, no. 2, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Feb. 2021, pp. 31–35. *Crossref*, doi:10.5207/jieie.2021.35.2.031.
- 42. Shafiul Alam, Md, and Mohammad Abido. "Fault Ride-through Capability Enhancement of Voltage Source Converter-High Voltage Direct Current Systems With Bridge Type Fault Current Limiters." *Energies*, vol. 10, no. 11, MDPI AG, Nov. 2017, p. 1898. *Crossref*, doi:10.3390/en10111898.
- 43. Mazzanti, Giovanni. "High Voltage Direct Current Transmission Cables to Help Decarbonisation in Europe: Recent Achievements and Issues." *High Voltage*, vol. 7, no. 4, Institution of Engineering and Technology (IET), June 2022, pp. 633–44. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12222.
- 44. Aragüés-Peñalba, Mònica, et al. "Optimal Power Flow Tool for Mixed High-voltage Alternating Current and High-voltage Direct Current Systems for Grid Integration of Large Wind Power Plants." *IET Renewable Power Generation*, vol. 9, no. 8, Institution of Engineering and Technology (IET), Nov. 2015, pp. 876–81. *Crossref*, doi:10.1049/iet-rpg.2015.0028.
- 45. Pană, Adrian, et al. "Mathematical Explanations of a Paradox Observed in a HVAC (High Voltage Alternating Current) Untransposed Overhead Line." *Energies*, vol. 12, no. 4, MDPI AG, Feb. 2019, p. 734. *Crossref*, doi:10.3390/en12040734.
- 46. "High Voltage Direct Current (HVDC) Insulation and Diagnostics [Call for Papers]." *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 32, no. 6, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Nov. 2016, pp. 51–51. *Crossref*, doi:10.1109/mei.2016.7656815.
- AL-RIFAIE, Alya. "Analysis of Faults on High Voltage Direct Current HVDC Transmissions System." *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, vol. 1, no. 2, Wydawnictwo SIGMA-NOT, sp. z.o.o., Feb. 2022, pp. 51–55. *Crossref*, doi:10.15199/48.2022.02.10.
- 48. Zhao, Pu, et al. "A Current Frequency Component-Based Fault-Location Method for Voltage-Source Converter-Based High-Voltage Direct Current (VSC-HVDC) Cables Using the S Transform." *Energies*, vol. 10, no. 8, MDPI AG, July 2017, p. 1115. *Crossref*, doi:10.3390/en10081115.
- 49. Wang, Jianxiao, et al. "Optimal Transmission Conversion From Alternating Current to High Voltage Direct Current Transmission Systems for Limiting Short Circuit Currents." *Energy*, vol. 118, Elsevier BV, Jan. 2017, pp. 545–55. *Crossref*, doi:10.1016/j.energy.2016.10.071.

- Davis, W. J. "High-voltage Direct-current and Alternating-current Systems for Interurban Railways." *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. 26, no. 8, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Aug. 1907, pp. 1353–66. *Crossref*, doi:10.1109/paiee.1907.6741807.
- 51. TAKAHASHI, Masao, and Tsuguhiro TAKAHASHI. "Direct Current and Voltage Measurement Technology for HVDC (High-Voltage-Direct-Current Power Transmission)." *The Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan*, vol. 134, no. 11, Institute of Electrical Engineers of Japan (IEE Japan), 2014, pp. 764–67. *Crossref*, doi:10.1541/ieejjournal.134.764.
- 52. Mohd Jamail, Nor Akmal. "Breakdown Characteristic of LLDPE-NR Nano-Composite Using High Voltage Direct Current (HVDC) Test." *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*, UK Simulation Society, Jan. 2016. *Crossref*, doi:10.5013/ijssst.a.17.41.38.
- 53. Qi, Lei, et al. "Analysis for Magnetic Field Disturbance of Modular Multilevel Converter Based High Voltage Direct Current (MMC-HVDC) Converter Valve." *High Voltage*, vol. 8, no. 1, Institution of Engineering and Technology (IET), July 2022, pp. 91–101. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12227.
- 54. Smeets, Rene P. P., and Nadew A. Belda. "High-voltage Direct Current Fault Current Interruption: A Technology Review." *High Voltage*, vol. 6, no. 2, Institution of Engineering and Technology (IET), Dec. 2020, pp. 171–92. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12063.
- 55. Mohd Jamail, Nor Akmal. "Breakdown Characteristic of LLDPE-NR Nano-Composite Using High Voltage Direct Current (HVDC) Test." *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*, UK Simulation Society, Jan. 2016. *Crossref*, doi:10.5013/ijssst.a.17.41.38.
- 56. Qi, Lei, et al. "Analysis for Magnetic Field Disturbance of Modular Multilevel Converter Based High Voltage Direct Current (MMC-HVDC) Converter Valve." *High Voltage*, vol. 8, no. 1, Institution of Engineering and Technology (IET), July 2022, pp. 91–101. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12227.
- 57. Smeets, Rene P. P., and Nadew A. Belda. "High-voltage Direct Current Fault Current Interruption: A Technology Review." *High Voltage*, vol. 6, no. 2, Institution of Engineering and Technology (IET), Dec. 2020, pp. 171–92. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12063.
- 58. Eladawy, Mohamed, et al. "DC-presaturated Fault Current Limiter for High Voltage Direct Current Transmission Systems." *High Voltage*, vol. 6, no. 4, Institution of Engineering and Technology (IET), Apr. 2021, pp. 718–31. *Crossref*, doi:10.1049/hve2.12093.
- 59. Ahmad, Muhammad, et al. "Significance of Fault-current-limiters and Parameters Optimization in HVDC Circuit Breakers for Increased Capacity of VSC-HVDC Transmission Networks Application." *Energy Reports*, vol. 8, Elsevier BV, Nov. 2022, pp. 878–92. *Crossref*, doi:10.1016/j.egyr.2021.12.024.
- 60. Weixing Lu, and Boon-Teck Ooi. "DC Overvoltage Control During Loss of Converter in Multiterminal Voltage-source Converter-based HVDC (M-VSC-HVDC)." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 3, Institute of

Electrical and Electronics Engineers (IEEE), July 2003, pp. 915–20. *Crossref*, doi:10.1109/tpwrd.2003.813888.

- Durrant, Martyn, et al. "COMPARISON OF LMI BASED H2 CONTROL DESIGNS FOR VSC-HVDC TRANSMISSION." *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 38, no. 1, Elsevier BV, 2005, pp. 233–38. *Crossref*, doi:10.3182/20050703-6-cz-1902.01767.
- 62. Anbuselvi, Shanmugam Velu, et al. "Impact of Current Controller Dynamics in Small Signal Stability Analysis of Two Terminal VSC-HVDC System Employing Grid Voltage Vector Orientation Control." *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 26, no. 4, Hindawi Limited, June 2015, pp. 730–49. *Crossref*, doi:10.1002/etep.2104.
- 63. "Experimental Study on Fault Ride-through Capability of VSC-based HVDC Transmission System." *Archives of Electrical Engineering*, Polish Academy of Sciences Chancellery, Nov. 2023. *Crossref*, doi:10.24425/aee.2021.136051.
- 64. Dambone Sessa, et al. "Availability Analysis of HVDC-VSC Systems: A Review." *Energies*, vol. 12, no. 14, MDPI AG, July 2019, p. 2703. *Crossref*, doi:10.3390/en12142703.
- 65. Buigues, G., et al. "DC Protection in Modern HVDC Networks: VSC-HVDC and MTDC Systems." *Renewable Energy and Power Quality Journal*, AEDERMACP (European Association for the Development of Renewable Energies and Power Quality), May 2016, pp. 300–05. *Crossref*, doi:10.24084/repqj14.299.
- Nguyen, Van-Vinh, et al. "A Novel Topology of Hybrid HVDC Circuit Breaker for VSC-HVDC Application." *Energies*, vol. 10, no. 10, MDPI AG, Oct. 2017, p. 1675. *Crossref*, doi:10.3390/en10101675.
- 67. Díaz-Aldana, Nelson, et al. "Linealización De Sistemas VSC-HVDC Para El Diseño De Un Controlador PI vectorial-Linearization of VSC Based HVDC Systems for the Design of Vector PI Controller." *Revista Científica*, vol. 1, no. 18, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Mar. 2014, p. 184. *Crossref*, doi:10.14483/23448350.5596.
- Khiat, M., and L. Ghomri. "Real Time Simulation of HVDC and VSC-HVDC Models: Application to Algerian – Spanish Power System Interconnection." *Renewable Energy and Power Quality Journal*, AEDERMACP (European Association for the Development of Renewable Energies and Power Quality), May 2016, pp. 1042–47. *Crossref*, doi:10.24084/repqj14.565.
- 69. Fan, Xinming, et al. "IDA-PB Control Design for VSC-HVDC Transmission Based on PCHD Model." *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 25, no. 10, Hindawi Limited, June 2014, pp. 2133–43. Crossref, doi:10.1002/etep.1953.
- 70. Oni, Oluwafemi Emmanuel, et al. "A Review of LCC-HVDC and VSC-HVDC Technologies and Applications." *Transactions on Environment and Electrical Engineering*, vol. 1, no. 3, EEEIC International Publishing, Sept. 2016, p. 68. *Crossref*, doi:10.22149/teee.v1i3.29.

- 71. "VSC-HVDC Transmission Line Fault Location Based on Transient Characteristics." *Archives of Electrical Engineering*, Polish Academy of Sciences Chancellery, Nov. 2023. *Crossref*, doi:10.24425/aee.2021.136991.
- 72. Guo, Chunyi, et al. "Correction to 'Analysis of Dual-Infeed HVDC With LCC-HVDC and VSC-HVDC' [Jul 12 1529-1537]." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, no. 1, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Jan. 2013, pp. 534–534. *Crossref*, doi:10.1109/tpwrd.2012.2221833.
- 73. Davidson, Innocent Ewean, et al. "Enhancing the Performance of Eskom's Cahora Bassa HVDC Scheme and Harmonic Distortion Minimization of LCC-HVDC Scheme Using the VSC-HVDC Link." *Energies*, vol. 15, no. 11, MDPI AG, May 2022, p. 4008. *Crossref*, doi:10.3390/en15114008.
- 74. Guo, Chunyi, et al. "Analysis of Dual-Infeed HVDC With LCC–HVDC and VSC–HVDC." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 3, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), July 2012, pp. 1529–37. *Crossref*, doi:10.1109/tpwrd.2012.2189139.
- 75. Wu, Xinglong, et al. "Power Stability Analysis and Evaluation Criteria of Dual-Infeed HVDC With LCC-HVDC and VSC-HVDC." *Applied Sciences*, vol. 11, no. 13, MDPI AG, June 2021, p. 5847. *Crossref*, doi:10.3390/app11135847.[75]
- 76. Haibo, Jiang. "The Area Comparison of LCC-HVDC and VSC-HVDC." Science Discovery, vol. 5, no. 7, Science Publishing Group, 2017, p. 502. Crossref, doi:10.11648/j.sd.20170507.15.
- 77. Langlang, Mokhammad, Denis et al. "Comparison of Renewable Energy Output Power Transmission to Loads Via HVAC and HVDC" 2021 4th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI).
- 78. Siyal, Maheshwari, Memon et al. "Techno-Economic Analysis OF HVDC Transmission Line Project of China-Pakistan Economic Corridor (CPEC).
- 79. Westermann, Herten, Real, Rauhala et al. "Voltage Source Converter (VSC) HVDC for Power Transmission – Economic Aspects and Comparison with other AC and DC Technologies" 2012, Cigre, Working Group B4.46.
- 80. European Commission "Quarterly report On European electricity markets", 2023 vol 16, p.14.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Στοιχεία συστήματος HVDC[34]	17
Εικόνα 2 Διαμόρφωση HVDC και τρόποι λειτουργίας	18
Εικόνα 3 HVDC LCC τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση της Δι	ανίας
και της Γερμανίας	21
Εικόνα 4 Βασικό σύστημα μεταφοράς HVDC-VSC	23
Εικόνα 5 Μετατροπέας δύο επιπέδων[68]	24
Εικόνα 6 Σχηματικό διάγραμμα μετατροπέα πολλαπλών επιπέδων	25
Εικόνα 7 HVDC VSC τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε στη νοτιοδυτική Ινδία γι	α την
πραγματοποίηση της ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ του Pugalur στη γ	νότια
πολιτεία του Tamil Nadu και του Trichur στην πολιτεία της Κεράλα	27
Εικόνα 8 Υποβρύχιο καλώδιο HVDC [74]	28
Εικόνα 9 Διαφορετικοί τύποι υπεράκτιων ανεμογεννητριών	35
Εικόνα 10 Αποτελέσματα ανάλυσης έκτατης ανάγκης	37
Εικόνα 11 Περιβάλλον Χρήστη	39
Εικόνα 12 Γραμμή Μενού PowerFactory	39
Εικόνα 13 Γραμμή Εργαλείων Power Factory	39
Εικόνα 14 Παράθυρο ρυθμίσεων υπολογισμού Ροής Φορτίου	40
Εικόνα 15 Εικόνα αποτελεσμάτων υπολογισμού Ροής Φορτίου	41
Εικόνα 16 Παράθυρο ρυθμίσεων υπολογισμού βραχυκυκλωμάτων	42
Εικόνα 17 Εικόνα αποτελεσμάτων υπολογισμού βραχυκυκλωμάτων	42
Εικόνα 18 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 1 400kV 53km	47
Εικόνα 19 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 2 400kV 55km	48
Εικόνα 20 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 3 400kV 50km	49
Εικόνα 21 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 5 400kV 100km	50
Εικόνα 22 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 7 400kV 80km	51
Εικόνα 23 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 9 400kV 80km	52
Εικόνα 24 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 11 400kV 50km	53
Εικόνα 25 Χαρακτηριστικά Γραμμής Μεταφοράς AC Line 12 400kV 100km	54
Εικόνα 26 Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστή Transformer G1	56
Εικόνα 27 Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστή Transformer G3	57
Εικόνα 28 Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Generator 1	59
Εικόνα 29 Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Generator 3	61
Εικόνα 30 Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Generator 7	62
Εικόνα 31 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Πάρκου Solar Farm	63
Εικόνα 32 Χαρακτηριστικά Αιολικής Παραγωγής Wind Turbine	64
Εικόνα 33 Χαρακτηριστικά Ανορθωτή	65
Εικόνα 34 Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα	66
Εικόνα 35 Χαρακτηριστικά Μετατροπέων	67
Εικόνα 36 Χαρακτηριστικά DC καλωδίων διασύνδεσης	68
Εικόνα 37 Χαρακτηριστικά ΑC καλωδίων διασύνδεσης	69

Εικόνα 38 Τιμές των Γραμμών Μεταφοράς	70
Εικόνα 39 Τιμές των Μετασχηματιστών	70
Εικόνα 40 Τιμές Γεννητριών	70
Εικόνα 41 Απεικόνιση του δικτύου Υψηλής Τάσης LCC	71
Εικόνα 42 Απεικόνιση των Απωλειών Ενεργού Ισχύος των γραμμών μεταφοράς	73
Εικόνα 43 Απεικόνιση των Απωλειών Ενεργού Ισχύος των διαφορετικών τεχνολο	γιών
των διασυνδέσεων	74
Εικόνα 44 Ανάλυση Ροής Φορτίου στο δίκτυο ΗVAC	75
Εικόνα 45 Ανάλυση Ροής Φορτίου στο δίκτυο HVDC LCC	76
Εικόνα 46 Ανάλυση Ροής Φορτίου στο δίκτυο HVDC VSC	77
Εικόνα 47 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 1 στη Η	/AC
διασύνδεση	78
Εικόνα 48 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 2 στη Η	/AC
διασύνδεση	78
Εικόνα 49 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 1 στη HVDC Ι	LCC
διασύνδεση	79
Εικόνα 50 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 2 στη HVDC Ι	LCC
διασύνδεση	79
Εικόνα 51 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 1 στη HVDC V	VSC
διασύνδεση	80
Εικόνα 52 Αποτελέσματα βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 2 στη HVDC V	VSC
διασύνδεση	80
Εικόνα 53 Αποτελέσματα υπερφόρτωσης στο δίκτυο ΗVAC	82
Εικόνα 54 Αποτελέσματα υπερφόρτωσης στο δίκτυο HVDC LCC	82
Εικόνα 55 Αποτελέσματα υπερφόρτωσης στο δίκτυο HVDC VSC	82
Εικόνα 56 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVAC διασύνδεση όπου η Γρα	μμή
Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτός λειτουργίας	83
Εικόνα 57 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVAC διασύνδεση όπου η Γρα	ιμμή
Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας	84
Εικόνα 58 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVDC LCC διασύνδεση όπου η Γρα	μμή
Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτός λειτουργίας	86
Εικόνα 59 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVDC LCC διασύνδεση όπου η Γρα	ιμμή
Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας	87
Εικόνα 60 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVDC VSC διασύνδεση όπου η Γρα	μμή
Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας	89
Εικόνα 61 Δίκτυο Μεταφοράς Ισχύος με ΗVDC VSC διασύνδεση όπου η Γρα	μμή
Μεταφοράς Line 9 και 10 να είναι εκτός λειτουργίας	90
Εικόνα 62 Προσθήκη Γραμμών Μεταφοράς 13 και 14	93
Εικόνα 63 Ποσοστό Απωλειών Ενεργού Ισχύος της Διασύνδεσης προς τις Συνολ	ικές
Απώλειες Ενεργού Ισχύος όλων των Γραμμών Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	100
Εικόνα 64 Διαδικασία λήψης αποφάσεων και τεχνικής ανάλυσης [78]	103
Εικόνα 65 Επιδερμικό φαινόμενο στους ΑC και DC αγωγούς	104
Εικόνα 66 Κόστος Υποσταθμών της κάθε τεχνολογίας	106
Εικόνα 67 Κόστος της Διασύνδεσης της κάθε τεχνολογίας	.107

Εικόνα 68 Κόστος Ενσωμάτωσης Συσκευών STATCOM	
Εικόνα 69 Συνολικά Επενδυτικά Κόστη Πραγματοποίησης του έργου	108
Εικόνα 70 Κόστος των Απωλειών Υποσταθμών σε ετήσια βάση	109
Εικόνα 71 Κόστος των Απωλειών των Διασυνδέσεων σε ετήσια βάση	110
Εικόνα 72 Κόστη Συντήρησης και Λειτουργίας σε ετήσια βάση	110
Εικόνα 73 Συνολικά Κόστη ανά έτος	111
Εικόνα 74 Καθαρή Παρούσα Αξία του κάθε συστήματος	112
Εικόνα 75 Επενδυτικά Κόστη, Ετήσια Κόστη και Καθαρή Παρούσα	Αξία των
τεχνολογιών	112

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 . Σύγκριση HVDC-LCCκαι HVDC-VSC2	9
Πίνακας 2 Περιγραφή Γραμμών Μεταφοράς και διασύνδεσης HVAC	2
Πίνακας 3 Περιγραφή Γραμμών Μεταφοράς και διασύνδεσης HVDC LCC7	2
Πίνακας 4 Περιγραφή Γραμμών Μεταφοράς και διασύνδεσης HVDC VSC7	2
Πίνακας 5 Σύγκριση Απωλειών Ενεργού Ισχύος σε όλες τις Γραμμές Μεταφορά	iς
σύμφωνα με το είδος της διασύνδεσης7	3
Πίνακας 6 Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main Bus 18	1
Πίνακας 7 Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος στον ζυγό Main bus 28	1
Πίνακας 8 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεση	lς
μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτό	ός
λειτουργίας, έχοντας HVAC διασύνδεση8	5
Πίνακας 9 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεση	IS
μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτό	ός
λειτουργίας, έχοντας HVAC διασύνδεση	5
Πίνακας 10 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεση	١S
μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτό	ός
λειτουργίας, έχοντας HVDC LCC διασύνδεση8	8
Πίνακας 11 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεση	IS
μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτό	ός
λειτουργίας, έχοντας HVDC LCC διασύνδεση8	8
Πίνακας 12 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεση	Iς
μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 να είναι εκτό	ς
λειτουργίας, έχοντας HVDC VSC διασύνδεση9	1
Πίνακας 13 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεση	١S
μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτό	ς
λειτουργίας, έχοντας HVDC VSC διασύνδεση9	1
Πίνακας 14 Σύγκριση Ποσοστού Χρήσης των Γραμμών Μεταφοράς και Διασύνδεση	١S
μεταξύ κανονικής λειτουργίας και Γραμμής Μεταφοράς Line 9 & 10 να είναι εκτό	òς
λειτουργίας, με την προσθήκη των Γραμμών Μεταφοράς Line 13 και Line 14 στη	v
ΗVAC διασύνδεση9	4
Πίνακας 15 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεση	١S
για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 50km9	5
Πίνακας 16 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεση	١S
για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 80km9	6
Πίνακας 17 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεση	IS
για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 110km9	6
Πίνακας 18 Απώλειες Ενεργού Ισχύος των Γραμμών Μεταφοράς και της Διασύνδεση	IS
για τις διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης όπου το μήκος είναι 140km9	7