



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Παρουσίαση Τυπικών Σχημάτων Προστασίας Υποσταθμών
ΥΤ/ΥΥΤ & Προσομοίωση Σχήματος Προστασίας Δικτύου
ΥΥΤ/ΜΤ Συνδεδεμένου με ΑΠΕ με το Πρόγραμμα DIgSILENT**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποστόλου Αίας-Βασίλειος

Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος, 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Παρουσίαση Τυπικών Σχημάτων Προστασίας Υποσταθμών
ΥΤ/ΥΥΤ & Προσομοίωση Σχήματος Προστασίας Δικτύου
ΥΥΤ/ΜΤ Συνδεδεμένου με ΑΠΕ με το Πρόγραμμα DIgSILENT**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποστόλου Αίας-Βασίλειος

Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 3^η Οκτωβρίου του 2024.

Γεώργιος Κορρές
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σταύρος Παπαθανασίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ιωάννης Γκόνος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος, 2024

.....
Αποστόλου Αίας-Βασίλειος

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

Copyright © Αίας-Βασίλειος Αποστόλου, 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

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση σχημάτων προστασίας με απλούς ηλεκτρονόμους υπερέντασης και κατευθυντικούς και ο υπολογισμός ρυθμίσεων γι' αυτούς με σκοπό την ασφαλή λειτουργία ενός πραγματικού δικτύου υπερυψηλής τάσης / μέσης τάσης (YYT/MT) συνδεδεμένου με ΑΠΕ και βιομηχανικά φορτία.

Στο 1^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια γενική, σύντομη εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας για τη δομή τους, αλλά και για τα προβλήματα τα οποία μπορεί να παρουσιάζουν, όπως π.χ. τα βραχυκυκλώματα.

Στο 2^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια εκτενής αναφορά στην κρισιμότητα των προστασιών στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης απαριθμούνται οι σημαντικότερες προστασίες και ο απαραίτητος εξοπλισμός που εμφανίζονται σε αυτά.

Στο 3^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια ιδιαίτερη αναφορά στους υποσταθμούς YT/YYT υπαίθριου τύπου και με μόνωση αερίου, καθώς επίσης και στα διακοπτικά στοιχεία τα οποία συναντώνται σε καθέναν απ' αυτούς. Τέλος, γίνεται αναφορά στον τρόπο λειτουργίας και στον λόγο χρήσης κάθε μιας διαφορετικής κυκλωματικής διάταξης ζυγών που παρουσιάζονται στους υπαίθριους υποσταθμούς.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται εκτενώς τα σχήματα προστασίας υποσταθμών YT/YYT (150/400 kV) αντίστοιχα, τα οποία συναντάμε στην Ελλάδα και τα οποία ορίζονται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).

Στο 5^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του εξεταζόμενου δικτύου αναλύοντας όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε και η οποία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Power Factory DIgSILENT. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα σφάλματα, μέγιστα και ελάχιστα, που υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού και τα οποία ήταν απαραίτητα για την εξαγωγή των ρυθμίσεων των ηλεκτρονόμων όλου του πάρκου, οι οποίες ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο ίδιο κεφάλαιο. Τέλος, έχοντας τις ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων, παρουσιάζεται η μεταξύ τους επιλογικότητα για κάθε πάρκο ξεχωριστά.

Λέξεις Κλειδιά: ηλεκτρονόμος, ρυθμίσεις ηλεκτρονόμου, χαρακτηριστικές καμπύλες ηλεκτρονόμου, ορισμένου χρόνου, αντιστρόφου χρόνου, βραχυκύκλωμα, σφάλμα, επιλογικότητα

Abstract

The purpose of this thesis is the design of protection schemes using simple overcurrent and directional relays, as well as the derivation of settings for them, with the aim of ensuring the safe operation of a real extra high voltage / medium voltage (EHV/MV) network connected to renewable energy sources (RES) and industrial loads.

In the first chapter of this thesis, a general brief introduction to electrical power systems is provided, focusing on their structure and the issues they may present, such as short circuits.

The second chapter offers an extensive discussion on the criticality of protection in modern power systems, enumerating the most important protection types and the necessary equipment that appears in these systems.

The third chapter presents a theoretical and detailed discussion on outdoor high and extra-high voltage substations, as well as gas-insulated substations, along with the switching elements found in each of them. Finally, it covers the operation and the reasons for using different busbar configurations presented in outdoor substations.

In the fourth chapter, the protection schemes of high and extra-high voltage substations (150–400 kV) found in Greece and defined by the Independent Power Transmission Operator (IPTO) are extensively presented and analyzed.

In the fifth chapter, the modeling of the examined network is presented, analyzing all the data used, which was carried out with the help of Power Factory DIgSILENT software. Then, the maximum and minimum faults, which were calculated with the help of the software and were necessary for the derivation of the relay settings for the entire park, are presented. The relay settings are presented in the same chapter. Finally, with the relay settings established, the selectivity between them for each park is demonstrated.

Key words: relay, relay settings, relay characteristic curves, definite time, inverse time, short-circuit, fault, selectivity.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

- Τον κ. Γεώργιο Κορρέ, καθηγητή του Ε.Μ.Π. και καθηγητή μου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα για τη διπλωματική μου εργασία. Προσηνής, καταδεκτικός, πρόθυμος, υπομονετικός, ευπροσήγορος ... Ευχαριστώ, Δάσκαλε, γιατί με έκανες να δω, έστω κι αχνά, το «ευ ζην»
- Τους συναδέλφους και ηλεκτρολόγους μηχανικούς των εταιριών MGK Technical Services και Inovtech Engineering και ειδικότερα τον κ. Θεολόγο Μπαμπαρούτση για την αμέριστη στήριξή του και την ευκαιρία που μου έδωσε να χρησιμοποιήσω δεδομένα ενός πραγματικού έργου για την διπλωματική μου και τον κ. Γεώργιο Μιχαλούδη για την πολύ σημαντική συμβολή και βοήθεια του σε γνωστικό επίπεδο.
- Τους γονείς μου και τα αδέρφια μου που αφειδώλευτα κι ακάματα στέκονται πάντα δίπλα μου σαν οδοδείκτες στην πορεία μου προς το «καθ' ομοίωσιν».

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	11
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	15
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΗΕ	24
1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΕ.....	24
1.2 ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΣΤΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΕΣ	27
2.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ & ΣΤΟΧΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	27
2.1.1 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ	27
2.1.2 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ.....	28
2.1.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ.....	29
2.1.4 ΤΑΧΥΤΗΤΑ	29
2.1.5 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ	29
2.1.6 ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ	29
2.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ.....	29
2.2.1 ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ	30
2.2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ	32
2.2.3 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΤΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ.....	37
2.2.4 ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ	38
2.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ.....	38
2.3.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ	39
2.3.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΤΑΣΕΩΣ	41
2.4 ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	42
2.4.1 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	42
2.4.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ	45
2.4.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ	46
2.4.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.....	46
2.4.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ3: ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΥΨΗΛΗΣ - ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	50
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	50
3.2 ΥΠΑΙΘΡΙΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ.....	52
3.3 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ ΑΕΡΙΟΥ	52
3.4 ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ	52

3.5 ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΖΥΓΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΥΠΟΥ (AIS)	54
3.5.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΟΣ ΖΥΓΟΥ - ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ.....	55
3.5.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΛΟΥ ΖΥΓΟΥ - ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ.....	56
3.5.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΛΟΥ ΖΥΓΟΥ - ΔΥΟ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	58
3.5.4 ΚΥΡΙΟΣ ΖΥΓΟΣ - ΖΥΓΟΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ	59
3.5.5 ΔΙΑΤΑΞΗ ONE AND A HALF BREAKER	59
3.5.6 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΟΥΣ ΖΥΓΟΥ	60
3.5.7 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΡΙΠΛΟΥ ΖΥΓΟΥ	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ4: ΤΥΠΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΥΤ & ΥΥΤ	62
4.1 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	62
4.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ Μ/Σ 150 KV/ΜΤ.....	64
4.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΖΥΓΩΝ.....	66
4.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΗΝΙΟΥ	68
4.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΚΑΛΩΔΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	70
4.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΠΥΚΝΩΤΩΝ.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ5: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ Υ/Σ 400/33/33 KV ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΠΕ & ΦΟΡΤΙΩΝ.....	74
5.1 ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ	74
5.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	75
5.1.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	75
5.1.3 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	77
5.1.4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ.....	89
5.1.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΡΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ	96
5.2 ΕΛΑΧΙΣΤΑ/ΜΕΓΙΣΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	97
5.3 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ.....	98
5.3.1 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 1.....	98
5.3.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 2.....	103
5.3.3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 1.....	115
5.3.4 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 3.....	118
5.3.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 1-2	127
5.3.6 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	132
5.3.7 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 4.....	134
5.3.8 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 3	142
5.3.9 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 5.....	151
5.3.10 Η/Ν ΤΜ 1	158

5.3.11 Η/Ν ΤΜ 2	160
5.3.12 Η/Ν ΠΛΕΥΡΑ ΥΤ.....	161
5.4 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	163
5.4.1 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 1	163
5.4.2 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 2	165
5.4.3 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 1.....	177
5.4.4 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 3	179
5.4.5 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ 1-2	185
5.4.6 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	187
5.4.7 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 4	189
5.4.8 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 3.....	193
5.4.9 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 5	199
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	205
Α. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	205
Β. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	213
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	221

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Τριφασικό βραχυκύκλωμα.....	26
Εικόνα 1-2: Διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη.....	26
Εικόνα 1-3: Μονοφασικό βραχυκύκλωμα.....	26
Εικόνα 1-4: Διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.....	26
Εικόνα 2-1: Χαρακτηριστικές καμπύλες ασφαλειών (Fuses characteristics) [4].....	31
Εικόνα 2-2: Συστοιχία πυκνωτών με εξωτερική ασφάλεια [4].....	32
Εικόνα 2-3: Σχέδιο H/N έλξης τύπου εμβόλου [5].....	34
Εικόνα 2-4: Σχέδιο H/N έλξης τύπου οπλισμού [5].....	34
Εικόνα 2-5: Σχέδιο H/N επαγωγής στρεφόμενου δίσκου με βραχυκυκλωμένη σπείρα [4].....	35
Εικόνα 2-6: Πραγματικός επαγωγικός H/N βαττομετρικού τύπου [6].....	36
Εικόνα 2-7: Σχέδιο του πραγματικού επαγωγικού H/N βαττομετρικού τύπου [6].....	36
Εικόνα 2-8: Σχέδια επαγωγικού H/N τύπου δρομέα [5].....	37
Εικόνα 2-9: Πιθανό κύκλωμα στατικού στιγμιαίου H/N υπερέντασης [7].....	38
Εικόνα 2-10: Κορεσμός M/Σ έντασης εξαιτίας συνεχούς συνιστώσας [8].....	40
Εικόνα 2-11: Μετασχηματιστής έντασης YT [8].....	40
Εικόνα 2-12: Μετασχηματιστής τάσεως (VT).....	41
Εικόνα 2-13: Πυκνωτικός μετασχηματιστής τάσεως (CCVT) [8].....	42
Εικόνα 2-14: Σχήμα διαφορικής υπό κανονική λειτουργία [4].....	43
Εικόνα 2-15: Σχήμα διαφορικής προστασίας για λειτουργία υπό εσωτερικό σφάλμα [4].....	43
Εικόνα 2-16: Λειτουργία ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας για εξωτερικό σφάλμα [4].....	44
Εικόνα 2-17: Λειτουργία ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας για εσωτερικό σφάλμα [4].....	45
Εικόνα 2-18: Ζώνες προστασίας γραμμής μεταφοράς με ηλεκτρονόμους απόστασης [10].....	48
Εικόνα 2-19: Ηλεκτρονόμοι ενός ΣΗΕ για την επεξήγηση της προστασίας υποστήριξης [10].....	49
Εικόνα 3-1: Ροή ενέργειας από την παραγωγή έως την κατανάλωση.....	51
Εικόνα 3-2: Τυπικό δίκτυο ενός ΣΗΕ [11].....	51
Εικόνα 3-3: Διακόπτης ισχύος τύπου live-tank 145kV [11].....	53
Εικόνα 3-4: Εξαρτήματα διακόπτη ισχύος τύπου dead-tank [11].....	54
Εικόνα 3-5: Διάταξη ενός ζυγού με έναν διακόπτη (single bus, single breaker arrangement) [14].....	55
Εικόνα 3-6: Διάταξη τμηματοποιημένου ζυγού (Sectionalized Bus) [14].....	56

Εικόνα 3-7: Διάταξη διπλού ζυγού με έναν διακόπτη (double bus, single breaker arrangement) [14].	57
Εικόνα 3-8: Διάταξη διπλού ζυγού με διπλό διακόπτη (double bus, double breaker arrangement) [14].	58
Εικόνα 3-9: Διάταξη κύριου ζυγού-ζυγού μεταγωγής (Main and transfer bus arrangement) [14].	59
Εικόνα 3-10: Διάταξη one and a half breaker arrangement [14].	60
Εικόνα 3-11: Διάταξη δακτυλιοειδούς ζυγού [14].	61
Εικόνα 3-12: Διάταξη τριπλού ζυγού (triple bus arrangement) [11].	61
Εικόνα 4-1: Σχήμα προστασίας πύλης εναέριων γραμμών μεταφοράς 150kV AIS Y/Σ [17].	63
Εικόνα 4-2: Σχήμα προστασίας πύλης εναέριων γραμμών μεταφοράς 150kV GIS Y/Σ [18].	63
Εικόνα 4-3: Σχήμα προστασίας πύλης M/Σ 150kV AIS Y/Σ [22].	65
Εικόνα 4-4: Σχήμα προστασίας πύλης M/Σ 150kV AIS Y/Σ [23].	66
Εικόνα 4-5: Σχήμα προστασίας πύλης διασύνδεσης ζυγών 150kV AIS Y/Σ [25].	67
Εικόνα 4-6: Σχήμα προστασίας πύλης διασύνδεσης ζυγών 150kV GIS Y/Σ [26].	68
Εικόνα 4-7: Σχήμα προστασίας πύλης σύνδεσης πηνίου στον ζυγό 150kV AIS Y/Σ [28].	69
Εικόνα 4-8: Σχήμα προστασίας πύλης σύνδεσης πηνίου 150kV GIS Y/Σ [29].	70
Εικόνα 4-9: Σχήμα προστασίας πύλης καλωδιακών ΓΜ 150 kV AIS Y/Σ [30].	71
Εικόνα 4-10: Σχήμα προστασίας πύλης καλωδιακών ΓΜ 150 kV GIS Y/Σ [31].	71
Εικόνα 4-11: Σχήμα προστασίας πύλης σύνδεσης συγκροτήματος πυκνωτών AIS Y/Σ [33].	72
Εικόνα 4-12: Σχήμα προστασίας πύλης σύνδεσης συγκροτήματος πυκνωτών GIS Y/Σ [34].	73
Εικόνα 5-1: Μονογραμμικό διάγραμμα εξεταζόμενου δικτύου στο λογισμικό DIgSILENT.	74
Εικόνα 5-2: Δεδομένα εξωτερικού δικτύου.	75
Εικόνα 5-3: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή τριπλού τυλίγματος [35].	77
Εικόνα 5-4: Απεικόνιση ανεμογεννήτριας 1 (3 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	78
Εικόνα 5-5: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 1 (16 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	79
Εικόνα 5-6: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 2 (28,8 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	80
Εικόνα 5-7: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 3 (28,8 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	82
Εικόνα 5-8: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 4 (30 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	83
Εικόνα 5-9: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 5 (26 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	84
Εικόνα 5-10: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου 1 (11,875 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	85
Εικόνα 5-11: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου 2 (11,875 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	86
Εικόνα 5-12: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου 3 (42 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.	87
Εικόνα 5-13: Ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης.	89

Εικόνα 5-14: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/Γ 1.1.....	99
Εικόνα 5-15: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/Γ 1.1.....	100
Εικόνα 5-16: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM A/Π 1.....	102
Εικόνα 5-17: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM A/Π 1.....	103
Εικόνα 5-18: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/Γ 2.8.....	104
Εικόνα 5-19: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/Γ 2.8.....	105
Εικόνα 5-20: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Feeder 4 A/Γ A/Π 2.....	107
Εικόνα 5-21: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Feeder 4 A/Γ A/Π 2.....	108
Εικόνα 5-22: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Feeder 5 A/Γ A/Π 2.....	109
Εικόνα 5-23: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Feeder 5 A/Γ A/Π 2.....	110
Εικόνα 5-24: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης κατευθυντικού H/N incomer 1-2 A/Π 2....	112
Εικόνα 5-25: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM 1-2 A/Π 2.....	113
Εικόνα 5-26: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 A/Π 2.....	114
Εικόνα 5-27: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/Γ 1.....	115
Εικόνα 5-28: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/Γ 1.....	116
Εικόνα 5-29: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM A/Γ 1.....	117
Εικόνα 5-30: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM A/Γ 1.....	117
Εικόνα 5-31: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N A/Γ 3.1-3.9.....	118
Εικόνα 5-32: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων γης H/N A/Γ 3.1-3.9.....	119
Εικόνα 5-33: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder κλάδου 2 A/Γ A/Π 3.....	120
Εικόνα 5-34: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder κλάδου 2 A/Γ A/Π 3.....	121
Εικόνα 5-35: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder κλάδου 3 A/Γ A/Π 3.....	122
Εικόνα 5-36: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder κλάδου 3 A/Γ A/Π 3.....	122
Εικόνα 5-37: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder κλάδου 4 A/Γ A/Π 3.....	123
Εικόνα 5-38: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder κλάδου 4 A/Γ A/Π 3.....	124
Εικόνα 5-39: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N incomer 1-2 A/Π 3.....	125
Εικόνα 5-40: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM 1-2 A/Π 3.....	126
Εικόνα 5-41: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 A/Π 3.....	127
Εικόνα 5-42: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Φ/B 1.1-1.4/2.1-2.4.....	128
Εικόνα 5-43: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Φ/B 1.1-1.4/2.1-2.4.....	129
Εικόνα 5-44: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder Φ/B 1.....	130
Εικόνα 5-45: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder Φ/B 1.....	130

Εικόνα 5-46: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM Φ/B 1.	131
Εικόνα 5-47: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM Φ/B 1.	132
Εικόνα 5-48: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM Βιομηχανικού Φορτίου.	133
Εικόνα 5-49: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM Βιομηχανικού Φορτίου.	133
Εικόνα 5-50: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/Γ 4.1-4.7.	134
Εικόνα 5-51: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/Γ 4.1-4.7.	135
Εικόνα 5-52: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 3 A/Γ του A/Π 4.	136
Εικόνα 5-53: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 3 A/Γ του A/Π 4.	136
Εικόνα 5-54: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 4 A/Γ του A/Π 4.	137
Εικόνα 5-55: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 4 A/Γ του A/Π 4.	138
Εικόνα 5-56: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N incomer του A/Π 4.	139
Εικόνα 5-57: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N incomer του A/Π 4.	139
Εικόνα 5-58: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM του A/Π 4.	141
Εικόνα 5-59: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM του A/Π 4.	141
Εικόνα 5-60: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Φ/B 3.1-3.14.	143
Εικόνα 5-61: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Φ/B 3.1-3.14.	143
Εικόνα 5-62: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 1 Φ/B πάρκου 3.	144
Εικόνα 5-63: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 1 Φ/B πάρκου 3.	145
Εικόνα 5-64: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 2 Φ/B πάρκου 3.	146
Εικόνα 5-65: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 2 Φ/B πάρκου 3.	146
Εικόνα 5-66: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 3 Φ/B πάρκου 3.	147
Εικόνα 5-67: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 3 Φ/B πάρκου 3.	148
Εικόνα 5-68: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N incomer 1-2 Φ/B πάρκου 3.	149
Εικόνα 5-69: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM 1-2 Φ/B πάρκου 3.	150
Εικόνα 5-70: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 Φ/B πάρκου 3.	150
Εικόνα 5-71: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/Γ 5.1-5.5 A/Π 5.	151
Εικόνα 5-72: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/Γ 5.1-5.5 A/Π 5.	152
Εικόνα 5-73: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N feeder 1 A/Π 5.	153
Εικόνα 5-74: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 1 A/Π 5.	153
Εικόνα 5-75: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N feeder 2 A/Π 5.	154
Εικόνα 5-76: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 1 A/Π 5.	155
Εικόνα 5-77: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N incomer 1-2 A/Π 5.	156

Εικόνα 5-78: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N IPPM 1-2 A/Π 5.	157
Εικόνα 5-79: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 A/Π 5.....	157
Εικόνα 5-80: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N TM 1.....	159
Εικόνα 5-81: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N TM 1.	159
Εικόνα 5-82: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N TM 2.....	160
Εικόνα 5-83: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N TM 2.	161
Εικόνα 5-84: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N πλευρά YT.....	162
Εικόνα 5-85: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N πλευρά YT.	162
Εικόνα 5-86: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 1.	163
Εικόνα 5-87: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 1.	164
Εικόνα 5-88: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 2 feeder 2 για LL min.	165
Εικόνα 5-89: Τριφασικό μέγιστο στην αρχή της γραμμής του feeder 2.	166
Εικόνα 5-90: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1.	167
Εικόνα 5-91: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1 με ανοιχτό ΔΙ incomer 2.	169
Εικόνα 5-92: Τριφασικό μέγιστο στο 80% της γραμμής της IPPM 2.....	170
Εικόνα 5-93: Τριφασικό μέγιστο στο 80% της γραμμής της IPPM 2 με ανοιχτό τον ΔΙ της.....	170
Εικόνα 5-94: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα στην αρχή της IPPM 2.	171
Εικόνα 5-95: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα στην αρχή της IPPM 2 με ανοιχτό τον ΔΙ της.....	172
Εικόνα 5-96: Διφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1.....	172
Εικόνα 5-97: Διφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1 με ανοιχτό ΔΙ incomer 2.	174
Εικόνα 5-98: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 2 feeder 2 για LLG min YT A/Γ 2.1.....	175
Εικόνα 5-99: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 2 feeder 1 για LL min YT A/Γ 2.8.....	176
Εικόνα 5-100: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 2 feeder 1 για LLG min YT A/Γ 2.8.....	177
Εικόνα 5-101: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N πάρκου A/Γ 1 για LL min.....	178
Εικόνα 5-102: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N πάρκου A/Γ 1 για LLG min.....	179
Εικόνα 5-103: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 3 feeder 4 A/Γ για LL min YT A/Γ 3.1.....	180
Εικόνα 5-104: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 3 feeder 4 A/Γ για LLG min YT A/Γ 3.1.....	181
Εικόνα 5-105: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 3 feeder 2 A/Γ για LL min YT A/Γ 3.5.....	182
Εικόνα 5-106: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 3 feeder 2 A/Γ για LLG min YT A/Γ 3.5.....	183
Εικόνα 5-107: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 3 feeder 3 A/Γ για LL min YT A/Γ 3.7.....	184
Εικόνα 5-108: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 3 feeder 3 A/Γ για LLG min YT A/Γ 3.7.....	185
Εικόνα 5-109: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N Φ/Β πάρκου για LL min YT Φ/Β 1.3-1.4.	186

Εικόνα 5-110: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/B πάρκου 1 για LLG min YT Φ/B 1.3-1.4.	187
Εικόνα 5-111: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N βιομηχανικού φορτίου για LL min YT M/Σ.	188
Εικόνα 5-112: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N βιομηχανικού φορτίου για LLG min YT M/Σ.	189
Εικόνα 5-113: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 4 feeder 3 A/Γ για LL min YT A/Γ 4.1.....	190
Εικόνα 5-114: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 4 feeder 3 A/Γ για LLG min YT A/Γ 4.1.....	191
Εικόνα 5-115: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ για LL min YT A/Γ 4.4.....	192
Εικόνα 5-116: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ για LLG min YT A/Γ 4.4.....	193
Εικόνα 5-117: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N Φ/B 3 feeder 1 για LL min YT Φ/B 3.1-3.2.	194
Εικόνα 5-118: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/B 3 feeder 1 για LLG min YT Φ/B 3.1-3.2.	195
Εικόνα 5-119: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N Φ/B 3 feeder 2 για LL min YT Φ/B 3.5-3.6.	196
Εικόνα 5-120: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/B 3 feeder 2 για LL min YT Φ/B 3.5-3.6.	197
Εικόνα 5-121: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N Φ/B 3 feeder 3 για LL min YT Φ/B 3.13-3.14.	198
Εικόνα 5-122: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/B 3 feeder 3 για LL min YT Φ/B 3.13-3.14.	199
Εικόνα 5-123: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 5 feeder 2 A/Γ για LL min YT A/Γ 5.4.....	200
Εικόνα 5-124: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 5 feeder 2 A/Γ για LLG min YT A/Γ 5.4.....	201
Εικόνα 5-125: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 5 feeder 3 A/Γ για LL min YT A/Γ 5.1.....	202
Εικόνα 5-126: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 5 feeder 3 A/Γ για LLG min YT A/Γ 5.1.....	203

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5-1: Δεδομένα μετασχηματιστή τριπλού τυλίγματος 400/33/33 kV.	76
Πίνακας 5-2: Χαρακτηριστικά καλωδίων ΜΤ.....	88
Πίνακας 5-3: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ του Α/Π 1.....	90
Πίνακας 5-4: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης των Α/Γ του Α/Π 1.	91
Πίνακας 5-5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ των Α/Π 2-3.	91
Πίνακας 5-6: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης των Α/Γ των Α/Π 2-3.	92
Πίνακας 5-7: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ του Α/Π 4.....	92
Πίνακας 5-8: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Μ/Σ ανύψωσης του Α/Π 4.....	93
Πίνακας 5-9: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ του Α/Π 5.....	93
Πίνακας 5-10: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Μ/Σ ανύψωσης των Α/Γ του Α/Π 5.	94
Πίνακας 5-11: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Α/Γ 1.	94
Πίνακας 5-12: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης Α/Γ 1.....	95
Πίνακας 5-13: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών και inverter.	96
Πίνακας 5-14: Ρυθμίσεις Η/Ν Μ/Σ ανύψωσης Α/Γ 1.1-1.4	99
Πίνακας 5-15: Ρυθμίσεις Η/Ν πύλης παραγωγού (IPPM) Α/Π 1.	101
Πίνακας 5-16: Ρυθμίσεις Η/Ν Μ/Σ ανύψωσης Α/Γ 2.1-2.9.	104
Πίνακας 5-17: Ρυθμίσεις Η/Ν feeder των 4 Α/Γ του Α/Π 2.	106
Πίνακας 5-18: Ρυθμίσεις Η/Ν feeder των 5 Α/Γ του Α/Π 2.	109
Πίνακας 5-19: Ρυθμίσεις κατευθυντικών incomer 1-2 Α/Π 2.	111
Πίνακας 5-20: Ρυθμίσεις Η/Ν IPPM 1-2 του Α/Π 2.....	113
Πίνακας 5-21: Ρυθμίσεις Η/Ν Α/Γ 1.	115
Πίνακας 5-22: Ρυθμίσεις Η/Ν IPPM Α/Γ 1.	116
Πίνακας 5-23: Ρυθμίσεις Η/Ν Α/Γ 3.1-3.9.	118
Πίνακας 5-24: Ρυθμίσεις Η/Ν feeder κλάδου 2 Α/Γ Α/Π 3.....	119
Πίνακας 5-25: Ρυθμίσεις Η/Ν feeder κλάδου 3 Α/Γ Α/Π 3.....	121
Πίνακας 5-26: Ρυθμίσεις Η/Ν feeder κλάδου 4 Α/Γ Α/Π 3.....	123
Πίνακας 5-27: Ρυθμίσεις κατευθυντικών incomer 1-2 Α/Π 3.	124
Πίνακας 5-28: Ρυθμίσεις Η/Ν IPPM 1-2 Α/Π 3.	125
Πίνακας 5-29: Ρυθμίσεις Η/Ν Φ/Β 1.1-2.4.....	128
Πίνακας 5-30: Ρυθμίσεις Η/Ν feeder Φ/Β πάρκων 1-2.	129
Πίνακας 5-31: Ρυθμίσεις Η/Ν IPPM Φ/Β πάρκων 1-2.....	131

Πίνακας 5-32: Ρυθμίσεις H/N IPPM βιομηχανικού φορτίου.....	132
Πίνακας 5-33: Ρυθμίσεις H/N A/Γ 4.1-4.7.	134
Πίνακας 5-34: Ρυθμίσεις H/N feeder 3 A/Γ του A/Π 4.	135
Πίνακας 5-35: Ρυθμίσεις H/N feeder 4 A/Γ του A/Π 4.	137
Πίνακας 5-36: Ρυθμίσεις H/N incomer του A/Π 4.	138
Πίνακας 5-37: Ρυθμίσεις H/N IPPM A/Π 4.....	140
Πίνακας 5-38: Ρυθμίσεις H/N Φ/B 3.1-3.14.....	142
Πίνακας 5-39: Ρυθμίσεις H/N feeder 1 Φ/B πάρκου 3.	144
Πίνακας 5-40: Ρυθμίσεις H/N feeder 2 Φ/B πάρκου 3.	145
Πίνακας 5-41: Ρυθμίσεις H/N feeder 3 Φ/B πάρκου 3.	147
Πίνακας 5-42: Ρυθμίσεις κατευθυντικών incomer 1-2 Φ/B πάρκου 3.....	148
Πίνακας 5-43: Ρυθμίσεις H/N IPPM 1-2 Φ/B πάρκου 3.	149
Πίνακας 5-44: Ρυθμίσεις H/N A/Γ 5.1-5.5 A/Π 5.	151
Πίνακας 5-45: Ρυθμίσεις H/N feeder 1 A/Π 5.	152
Πίνακας 5-46: Ρυθμίσεις H/N feeder 2 A/Π 5.	154
Πίνακας 5-47: Ρυθμίσεις κατευθυντικών H/N incomer 1-2 A/Π 5.	155
Πίνακας 5-48: Ρυθμίσεις H/N IPPM 1-2 A/Π 5.	156
Πίνακας 5-49: Ρυθμίσεις H/N TM 1.....	158
Πίνακας 5-50: Ρυθμίσεις H/N TM 2.....	160
Πίνακας 5-51: Ρυθμίσεις H/N Πλευρά ΥΤ.	161
Πίνακας 6-1: Ελάχιστα τριφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.	205
Πίνακας 6-2: Ελάχιστα διφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.	207
Πίνακας 6-3: Ελάχιστα διφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.	209
Πίνακας 6-4: Ελάχιστα μονοφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.	211
Πίνακας 6-5: Μέγιστα τριφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.....	213
Πίνακας 6-6: Μέγιστα διφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.	215
Πίνακας 6-7: Μέγιστα διφασικά με γη βραχυκυκλώματα σε όλους του ζυγούς.	217
Πίνακας 6-8: Μέγιστα μονοφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.....	219

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΗΕ

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΕ

Ως σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζουμε το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζεται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να ικανοποιεί τα παρακάτω:

- Όποτε υπάρχει ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια να είναι ικανό να την παρέχει.
- Η παρεχόμενη αυτή ενέργεια προς τους καταναλωτές, θα πρέπει να είναι καλής ποιότητας, κάτι που προϋποθέτει τη διατήρηση από το ΣΗΕ σταθερής συχνότητας και τάσης καθώς κι υψηλής αξιοπιστίας τροφοδότηση.
- Η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να παράγεται και να παρέχεται με το όσο το δυνατόν μικρότερο οικονομικό κόστος σε συνάρτηση με τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις-επιπτώσεις.
- Θα πρέπει να είναι σε θέση να μπορεί να ικανοποιεί τις συνεχείς μεταβολές στη ζήτηση ενεργού και άεργου ισχύος.

Για να τροφοδοτηθούν, ωστόσο, οι καταναλωτές από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μια από τις βασικές προϋποθέσεις είναι το ίδιο το σύστημα να είναι ικανό να φέρει εις πέρας τις εξής λειτουργίες: της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, της μεταφοράς και της διανομής της. Μπορούμε, επομένως, να χωρίσουμε το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας σε τρία επιμέρους συστήματα:

- Σύστημα Παραγωγής
- Σύστημα Διασύνδεση και Μεταφοράς, και
- Σύστημα Διανομής

Με τον όρο *σύστημα παραγωγής*, αναφερόμαστε στο σύνολο των σταθμών στους οποίους παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, έχουμε δηλαδή τη μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Γνωστοί σήμερα είναι οι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στους οποίους για την παραγωγή της χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ουράνιο κλπ.), καθώς και οι σταθμοί παραγωγής οι οποίοι εκμεταλλεύονται τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (αιολική, ηλιακή, κινητική των υδάτων κλπ.). Η τελευταία κατηγορία είναι προφανές ότι διάκειται φιλικότερα στο περιβάλλον.

Το *σύστημα διασύνδεσης και μεταφοράς* με την σειρά του διασυνδέει τους σταθμούς παραγωγής μεταξύ τους και μεταφέρει υψηλές τιμές ισχύος που προωθεί προς τα κέντρα καταναλώσεως. Η μεταφορά γίνεται στην ΥΤ και αυτό διότι για μεγαλύτερη τάση μειώνεται το ρεύμα, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των ηλεκτρικών απωλειών ($P_{\text{loss}} = I \cdot R^2$) και την οικονομικότερη λειτουργία. Διεθνώς ως ΥΤ θεωρούνται οι τάσεις μεταξύ $66 \text{ kV} \leq V \leq 220 \text{ kV}$. Όσον αφορά τις ΥΥΤ θεωρούνται οι τάσεις μεταξύ των τιμών $275 \text{ kV} \leq V \leq 500 \text{ kV}$. Για τάσεις

μεγαλύτερες των 500 kV κάνουμε λόγο για εξαιρετικά υψηλές τάσεις. Στην παρούσα διπλωματική ως YT και YYT θεωρήθηκαν τα 150, 400 kV αντίστοιχα, τιμές οι οποίες είναι οι επικρατέστερες στο δίκτυο της Ελλάδας.

Με δεδομένο ότι οι απλοί καταναλωτές δεν μπορούν να τροφοδοτηθούν άμεσα από το σύστημα μεταφοράς, ακολουθεί το *δίκτυο διανομής*. Το δίκτυο διανομής χωρίζεται σε *δίκτυο διανομής MT*, όπου έχουμε την πρωτεύουσα διανομή (δηλαδή η τάση που δέχεται είναι υποβιβασμένη από υψηλή σε μέση) και σε *δίκτυο διανομής XT*, όπου είναι η δευτερεύουσα διανομή στην οποία θα συνδεθούν οι οικιακοί καταναλωτές. Το δίκτυο διανομής, δηλαδή, τροφοδοτείται από τον υποσταθμό υποβιβασμού YT/MT και τροφοδοτεί του υποσταθμούς διανομής MT/XT (αναλυτικότερη επεξήγηση για τους υποσταθμούς γίνεται συγκεκριμένα στο **Κεφάλαιο 3**:).

Ένα δίκτυο διανομής θα είναι είτε υπόγειο είτε εναέριο. Το υπόγειο δίκτυο διανομής συναντάται κυρίως σε αστικές, πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου δεν υπάρχει αρκετός χώρος διαθέσιμος και είναι ασφαλέστερο, διότι τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτίρια. Από την άλλη τα εναέρια δίκτυα είναι σαφώς οικονομικότερα σε σύγκριση με τα υπόγεια, όπως επίσης διατηρούν το συγκριτικό πλεονέκτημα του ευκολότερου εντοπισμού των σφαλμάτων σε αυτά.

Ένα δίκτυο διανομής δύναται να είναι ακτινικό ή βροχοειδές (κλειστό ή δακτυλιοειδές). Η βροχοειδής διαμόρφωση έχει δύο πλεονεκτήματα πρώτον είναι πιο οικονομική από άποψη γραμμών τις οποίες χρησιμοποιεί για να επιτύχει τη σωστή διανομή στους καταναλωτές, (επιτρέπει τροφοδότηση από δύο κατευθύνσεις), και δεύτερον μπορεί με το άνοιγμα διακοπών ισχύος να μετατρέπεται εύκολα σε ακτινική μορφή. Έτσι ενώ τα βροχοειδή δίκτυα σε σχέση με τα ακτινικά φαίνεται να παρέχουν αυξημένη αξιοπιστία στο σύστημα, από την άλλη η προστασία τους, σε σύγκριση με τα ακτινικά παρουσιάζει ιδιαίτερες απαιτήσεις. Τα δίκτυα διανομής είναι συνήθως βροχοειδή, αλλά λειτουργούν ως ακτινικά [1].

1.2 ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Σε ένα ΣΗΕ η κατάσταση λειτουργίας του είναι ευνόητο πως δεν θα είναι πάντα ομαλή. Μια τέτοια μη ομαλή κατάσταση είναι και η περίπτωση ενός σφάλματος, το οποίο μπορεί να προκύψει οποτεδήποτε στο σύστημα και οφείλεται είτε σε εξωτερικές συνθήκες (αέρας, κεραυνοί κλπ.), είτε σε βλάβη που μπορεί να κάνει την εμφάνισή της για ποικίλες αιτίες (αστοχία κάποιου υλικού, γήρανση εξοπλισμού κ.ά.) σε κάποιο σημείο του εξοπλισμού.

Ο όρος βραχυκύκλωμα, σύμφωνα και με το διεθνές πρότυπο IEC 60909, είναι η τυχαία ή ηθελημένη επαφή μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων διαφορετικού δυναμικού ενός κυκλώματος. Τα βραχυκυκλώματα είναι μεταβατικά φαινόμενα ηλεκτρικής φύσης και δυναμικής μορφής, σε αντίθεση με τις υπερτάσεις, οι οποίες είναι και αυτές μεταβατικά φαινόμενα, όμως διηλεκτρικής φύσης. Κατά την πρόκληση ενός βραχυκυκλώματος μπορεί να παρουσιαστεί στιγμιαίος μηδενισμός ή βύθιση διαφορετικού μεγέθους τάσης σε κάθε ζυγό του δικτύου. Το μέγεθος της βύθισης εξαρτάται από το σημείο στο οποίο προκλήθηκε το βραχυκύκλωμα. Αυτή η

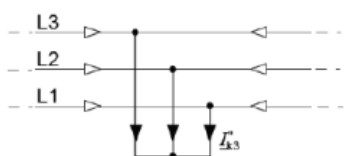
βύθιση τάσης προκαλεί, προφανώς, μια μεγάλη αύξηση της έντασης του ρεύματος, το οποίο με την σειρά του, περνώντας μέσα από τον εξοπλισμό του συστήματος, είναι ικανό να τον καταστρέψει, καθώς οι υπερεντάσεις προκαλούν μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις [2].

Τα βραχυκυκλώματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τα ασύμμετρα και τα συμμετρικά. Τα ασύμμετρα βραχυκυκλώματα, με συνηθέστερο το μονοφασικό, είναι τα πιο συχνά και σε σχέση με τα συμμετρικά επιφέρουν τις λιγότερες επιπτώσεις στο σύστημα. Τα κατατάσσουμε σε τρεις κατηγορίες: τα διφασικά, τα διφασικά με επαφή γης και τα μονοφασικά. Όσον αφορά τα συμμετρικά βραχυκυκλώματα, αυτά προκαλούνται όταν και οι 3 φάσεις έρθουν σε επαφή μεταξύ τους. Είναι το πιο σπάνιο βραχυκύκλωμα αλλά και το με τις σοβαρότερες αρνητικές συνέπειες για το ΣΗΕ.

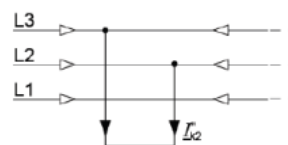
Τα βραχυκυκλώματα, σύμφωνα με τη διάρκειά τους, διακρίνονται σε:

- **Παροδικά:** Τα βραχυκυκλώματα αυτά εκκαθαρίζονται μετά την λειτουργία κάποιας προστασίας με αποτέλεσμα την διακοπή τροφοδοσίας τους. Ο χρόνος εκκαθάρισης είναι περίπου 10-20 ms μετά το άνοιγμα του διακόπτη ισχύος (ΔΙ).
- **Αυτοαποσβενύμενα:** Τα βραχυκυκλώματα αυτά δεν χρειάζονται κάποια διακοπή τροφοδοσίας, διότι εξαλείφονται από μόνα τους.
- **Ημιμόνιμα:** Τα βραχυκυκλώματα αυτά για να εξαλειφθούν χρειάζονται 5s μετά την λειτουργία της προστασίας.
- **Μόνιμα:** Τα βραχυκυκλώματα αυτά παραμένουν στο δίκτυο ακόμη και μετά την λειτουργία της προστασίας και για να εξαλειφθούν χρειάζονται ανθρώπινη παρέμβαση.

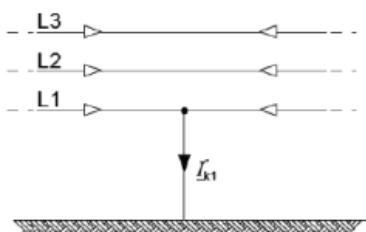
Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα βραχυκυκλώματα που αναφέραμε παραπάνω σύμφωνα με το IEC 60909:



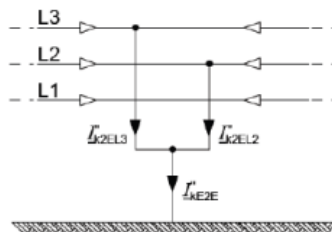
Εικόνα 1-1: Τριφασικό βραχυκύκλωμα.



Εικόνα 1-2: Διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη.



Εικόνα 1-3: Μονοφασικό βραχυκύκλωμα.



Εικόνα 1-4: Διφασικό βραχυκύκλωμα με γη.

Κεφάλαιο 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΣΤΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΕΣ

2.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ & ΣΤΟΧΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η χρησιμότητα και οι στόχοι των συστημάτων προστασίας, είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τους στόχους του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ο οποίος δεν είναι άλλος από το να παράγει ενέργεια και να την μεταφέρει στους καταναλωτές. Η μεταφορά της ενέργειας, ωστόσο, θα πρέπει να γίνεται εκτός από αξιόπιστα και οικονομικά. Η ραγδαία στις μέρες μας αύξηση του πληθυσμού από τη μια αλλά και οι απαιτήσεις των ιδίων των κοινωνιών από την άλλη φέρνουν στο προσκήνιο την ανάγκη για μεγαλύτερη αξιοπιστία κατά την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς στα συστήματα αυτά προκύπτουν μεγαλύτερες διακοπές τάσης.

Όσο καλά και να είναι σχεδιασμένο ένα σύστημα, ποτέ δεν θα μπορέσει να φτάσει στην τελειότητα και κατά συνέπεια πάντα θα προκύπτουν σφάλματα σε αυτό. Αυτά τα σφάλματα κουβαλάνε πολύ υψηλά καταστρεπτικά ρεύματα, τα οποία θέτουν σε κίνδυνο πρώτα και κύρια την ίδια την ανθρώπινη ζωή και κατά δεύτερον, όχι ήσσονος σημασίας, τον εξοπλισμό του συστήματος ο οποίος, ειρήσθω εν παρόδω, είναι κοστοβόρος, όπως για παράδειγμα οι μετασχηματιστές ισχύος ή οι γεννήτριες κ.ά. Κατά συνέπεια η προσπάθεια της αποφυγής των σφαλμάτων είναι μια από τις άμεσες προτεραιότητες της επιστήμης στον τομέα των συστημάτων προστασίας. Σχεδιασμοί, δοκιμές, νέες τεχνικές συστημάτων προστασίας βρίσκονται στη διεθνή σκηνή σε ημερήσια διάταξη.

Οι βασικοί στόχοι ενός συστήματος προστασίας διακρίνονται στις 6 παρακάτω ενότητες [3]:

- Αξιοπιστία.
- Επιλογικότητα.
- Ευστάθεια.
- Ταχύτητα.
- Ευαισθησία.
- Διακριτικότητα.

2.1.1 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Με τον όρο αξιοπιστία εκφράζουμε την ανάγκη ώστε το δίκτυο να διατηρεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του σε λειτουργία. Η άσκοπη λειτουργία του συστήματος προστασίας σε ένα μέρος του δικτύου δεν είναι επιθυμητή. Η αξιοπιστία, βέβαια, εξαρτάται από κάποιους βασικούς παράγοντες [3]:

- **Σχεδιασμός:** Ο σωστός σχεδιασμός του συστήματος προστασίας είναι σημαντικός, διότι είναι το χαρακτηριστικό αυτό που μας διαβεβαιώνει πως το δίκτυό μας θα λειτουργεί κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη και θα αποφεύγει να λειτουργεί όταν αυτό δεν είναι απαραίτητο. Το σύστημα προστασίας θα πρέπει να λειτουργεί μόνο για τη ζώνη προστασίας που έχει οριστεί να προστατεύει. Οποιαδήποτε άλλη λειτουργία δεν είναι επιθυμητή.

- **Ρυθμίσεις:** Είναι πολύ σημαντικό οι ρυθμίσεις που θα θέσουμε στου ηλεκτρονόμους προστασίας να λαμβάνουν υπόψιν τις παραμέτρους του δικτύου, όπως τα επίπεδα σφάλματος, τα ρεύματα σφάλματος, τα επίπεδα φορτίου κ.ά. Επειδή τα χαρακτηριστικά δικτύου δεν είναι σταθερά, καθώς τα φορτία αλλάζουν όπως και ο αριθμός των γεννητριών (π.χ. διασύνδεση ΑΠΕ), οι ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων θα είναι κι αυτές ασταθείς, κατά συνέπεια οφείλεται να γίνεται τακτικός έλεγχος αυτών.
- **Εγκατάσταση:** Η σωστή εγκατάσταση του συστήματος προστασίας είναι εξίσου πολύ σημαντική, ωστόσο, λόγω των πολλών διασυνδέσεων των συστημάτων μεταξύ τους καθίσταται δύσκολη. Κρίνονται απαραίτητες, επομένως, οι δοκιμές χώρου. Αυτές οι δοκιμές θα πρέπει να μας επαληθεύουν την ορθότητα των συνδέσεων, των ρυθμίσεων των ηλεκτρονόμων αλλά και την ασφάλεια του εξοπλισμού συνεπεία βλαβών.
- **Δοκιμές:** Οι δοκιμές, επίσης, κατέχουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία των ΣΗΕ. Για να καλυφθεί, αν είναι δυνατό, κάθε πτυχή του σχήματος προστασίας, θα πρέπει να προσομοιώσουμε όλες τις λειτουργίες και τις καταστάσεις περιβάλλοντος όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, οι δοκιμές να γίνονται για το συνολικό σύστημα προστασίας και όχι για κάθε εξοπλισμό ξεχωριστά και να προσομοιώνουν ρεαλιστικές καταστάσεις σφάλματος.

2.1.2 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ

Κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος θα πρέπει να λειτουργούν οι συσκευές προστασίας που είναι πιο κοντά στο σφάλμα, ώστε να το αφαιρέσουν από το δίκτυο. Τούτο επιτυγχάνεται με δύο τρόπους [3].

1. **Χρονική Διαβάθμιση:** Τα συστήματα προστασίας είναι σχεδιασμένα σε ζώνες προστασίας. Κάθε σύστημα έχει τη δική του ζώνη προστασίας, η οποία μπορεί να υπερκαλύπτει και μια άλλη ζώνη (overlapping). Τα συστήματα αυτά είναι διατεταγμένα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να λειτουργούν σε συγκεκριμένους χρόνους, οι οποίοι χρόνοι διαβαθμίζονται σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που έχουμε θέσει στους ηλεκτρονόμους. Με αυτόν τον τρόπο μόνο το σύστημα προστασίας που είναι σχετικό με την ζώνη προστασίας που δέχεται το σφάλμα θα λειτουργήσει. Η ταχύτητα λειτουργίας του συστήματος προστασίας εξαρτάται βεβαίως από την σοβαρότητα του σφάλματος.
2. **Συστήματα Μονάδας:** Το σύστημα προστασίας που ανταποκρίνεται μόνο σε σφάλματα που συμβαίνουν σε μία συγκεκριμένη περιοχή του συστήματος (π.χ. γεννήτριες, μετασχηματιστές, ζυγοί), ονομάζεται προστασία μονάδας. Τέτοια συστήματα προστασίας, για παράδειγμα, είναι η διαφορική προστασία. Η διαφορική προστασία δεν περιλαμβάνει χρονική διαβάθμιση και είναι σχετικά γρήγορη. Επομένως, καταλαβαίνουμε πως η ταχύτητα ανταπόκρισης του συστήματος προστασίας στο σφάλμα είναι ανεξάρτητη από την σοβαρότητα του σφάλματος.

2.1.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

Τον όρο *ευστάθεια* συνήθως τον συνδέουμε με τα συστήματα προστασίας μονάδας και αναφερόμαστε στην ικανότητα του συστήματος αυτού να παραμένει ανεπηρέαστο στις διάφορες εξωτερικές, από την ζώνη του, συνθήκες.

2.1.4 ΤΑΧΥΤΗΤΑ

Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες των συστημάτων προστασίας είναι να καθαρίζει το σφάλμα από το δίκτυο όσο το δυνατόν ταχύτερα. Είναι σημαντικό να διασφαλίσουμε τη συνέχεια παροχής του δικτύου με την αφαίρεση κάθε σφάλματος, προτού αυτό οδηγήσει σε ολική απώλεια του συγχρονισμού, με δυσμενές επακόλουθο την πλήρη κατάρρευση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

2.1.5 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ

Με τον όρο *ευαισθησία*, αναφερόμαστε στην ικανότητα του συστήματος να αναγνωρίζει μια κατάσταση σφάλματος, η οποία ξεπερνάει μία τιμή ορίου εντοπισμού σφάλματος και η οποία θέτει σε λειτουργία το σύστημα προστασίας, όταν οι ανιχνευόμενες ποσότητες ξεπερνούν αυτό το όριο. Επομένως, αναφέρεται στο ελάχιστο επίπεδο λειτουργίας (τάσεως, ρεύματος κλπ.) του συστήματος προστασίας.

2.1.6 ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ

Με τον όρο *διακριτικότητα* στα συστήματα προστασίας εννοούμε την ικανότητα των ηλεκτρονόμων να ξεχωρίζουν ένα σφάλμα από μια υπέρβαση τάσης, η οποία μπορεί να οφείλεται σε μεταβατική κατάσταση. Κάποια παραδείγματα είναι η διάκριση ενός ρεύματος σφάλματος από ένα ρεύμα ζεύξης ενός μετασχηματιστή, η ρεύμα σφάλματος από μια εκκίνηση ενός κινητήρα, ή λόγω ταλαντώσεως ισχύος σε σύστημα παραγωγής-μεταφοράς.

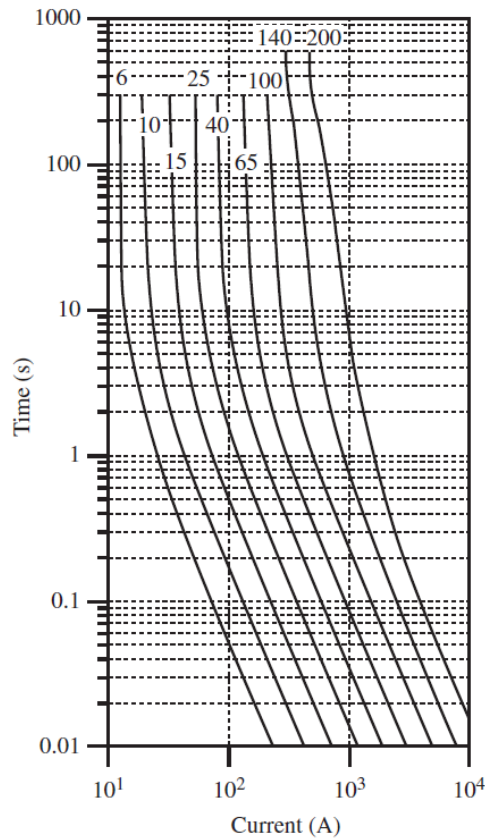
2.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

Για τον σχηματισμό του συστήματος προστασίας, που αναφέραμε στην προηγούμενη υποενότητα, απαιτείται η χρήση ηλεκτρονόμων. Οι ηλεκτρονόμοι είναι συσκευές οι οποίες έχουν εισόδους τέτοιες, ώστε να μετρούν και να συγκρίνουν ηλεκτρικά μεγέθη και να λειτουργούν όταν αυτό είναι απαραίτητο (σύμφωνα πάντα με τις ρυθμίσεις που τους έχουμε δώσει) στα σημεία του δικτύου που επιτηρούν. Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν, ωστόσο, απαιτείται να υποβιβάσουμε το ρεύμα ή την τάση (ανάλογα με το τι μετράει ο ηλεκτρονόμος μας). Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται οι μετασχηματιστές έντασης (Current Transformers, CTs) και μετασχηματιστές τάσεως (Voltage Transformers, VTs) αντίστοιχα. Οι ηλεκτρονόμοι διακρίνονται στους εξής τύπους:

- Ηλεκτρομηχανικοί Η/Ν (Electromechanical Relays).
- Στατικοί Η/Ν (Solid-State Relays).
- Ψηφιακοί Η/Ν (Digital Relays).

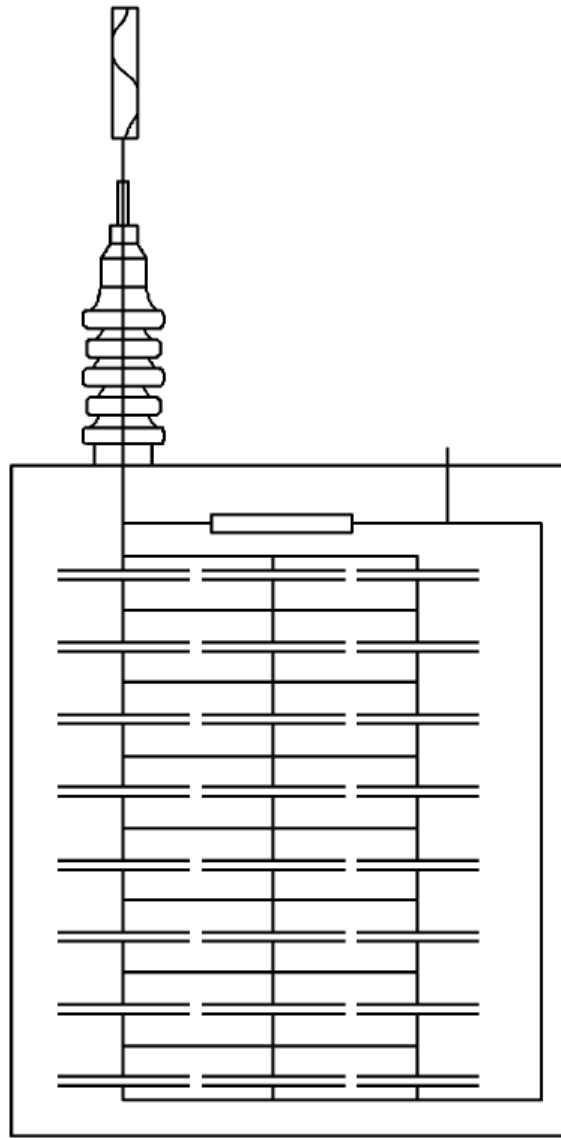
2.2.1 ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ

Η παλαιότερη, η πιο απλή αλλά και η πιο διαδεδομένη συσκευή για την προστασία ενός συστήματος/εξαρτήματος, ήταν η ασφάλεια (fuse). Ακόμα και στις μέρες μας οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται ευρύτατα, ιδιαίτερα στην βιομηχανία αλλά και στις κατοικίες, οπότε είμαστε αρκετά εξοικειωμένοι με αυτές. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως όταν μιλάμε για ασφάλειες, κάνουμε λόγο για προστασίες υπερέντασης. Αυτές οι προστασίες διαθέτουν ένα τύλιγμα το οποίο συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα το οποίο πρέπει να προστατέψει και το οποίο κύκλωμα όταν δεχτεί ρεύμα μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να αντέξει (εξαιτίας ενός σφάλματος), τήκεται, με αποτέλεσμα να ανοίγει το κύκλωμα και με αυτόν τον τρόπο να διακόπτεται η ροή του ρεύματος. Οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται κυρίως στα δίκτυα διανομής, δηλαδή στην ΜΤ μέχρι τα 35kV, αλλά και για την προστασία των μηχανών. Τα χαρακτηριστικά τους καθορίζονται από τον κατασκευαστή και είναι αντιστρόφου χρόνου, αυτό σημαίνει ότι το ονομαστικό ρεύμα μπορούν να το αντέξουν επ' αόριστον, ωστόσο, όσο αυξάνεται το ρεύμα, τόσο η αντοχή τους θα αρχίζει να μειώνεται μέχρι να τηχθεί («καεί») η ασφάλεια και να διακοπεί το κύκλωμα. Κάποιες χαρακτηριστικές ασφαλειών φαίνονται παρακάτω (**Εικόνα 2-1**) [4].



Εικόνα 2-1: Χαρακτηριστικές καμπύλες ασφαλειών (Fuses characteristics) [4].

Τέλος, να αναφέρουμε πως οι ασφάλειες αποτελούν τη βασική προστασία για συστοιχίες πυκνωτών. Η συστοιχία πυκνωτών είναι ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από πολλούς πυκνωτές συνδεδεμένους είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Η συστοιχία πυκνωτών βοηθά στην αντιστάθμιση άεργου ισχύος, καθώς και στη βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Μειώνουν δηλαδή τη διαφορά φάσης - τάσεως ρεύματος, και με αυτόν τον τρόπο η μεταφορά ενέργειας γίνεται πιο αξιόπιστη. Οι συστοιχίες πυκνωτών (**Εικόνα 2-2**), οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ΥΤ, έχουν για προστασία μια εξωτερική ασφάλεια.



Εικόνα 2-2: Συστοιχία πυκνωτών με εξωτερική ασφάλεια [4].

2.2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

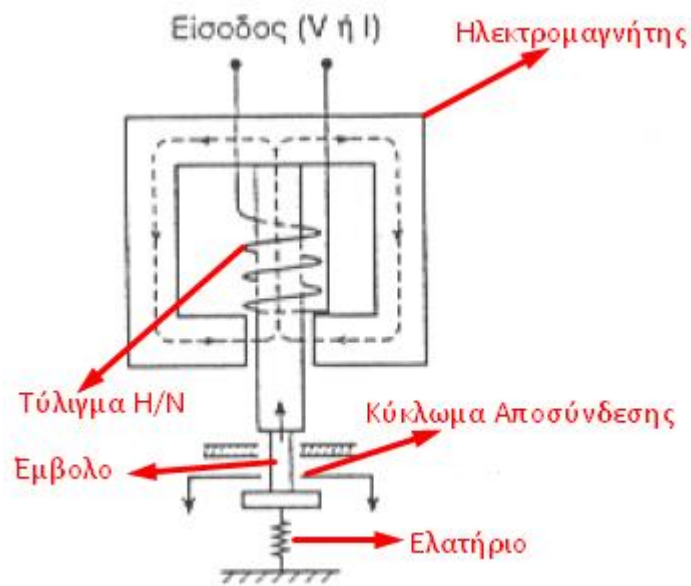
Οι ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι ήταν οι πρώτοι οι οποίοι εφαρμόστηκαν και κάποιοι συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να εφαρμόζονται στα Σ.Η.Ε. Είναι σχεδιασμένοι με τέτοιον τρόπο, ώστε να αξιοποιούν τις δυνάμεις εκείνες οι οποίες προκύπτουν από τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ρευμάτων και των μαγνητικών ροών. Πιο συγκεκριμένα, για να λειτουργήσουν αυτοί οι Η/Ν χρησιμοποιούν το μαγνητικό πεδίο το οποίο παράγεται από ένα τυλίγμα που δέχεται ένα σήμα εισόδου. Ονομάζονται επίσης ηλεκτρομηχανικοί, διότι διαθέτουν ένα κινητό μέρος σε ένα εξωτερικό δίκτυο, το οποίο λειτουργεί όταν δοθεί ηλεκτρικό σήμα στην είσοδο του τυλίγματος που αναφέραμε παραπάνω. Υπάρχουν 4 ειδών ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι και είναι οι εξής:

- H/N Έλξης (Attracted Armature):
 - Τύπου Εμβόλου (Plunger Relay Type).
 - Τύπου Οπλισμού (Hinged Relay Type).
- H/N Επαγωγής (Induction-Type):
 - Στρεφόμενου Δίσκου.
 - Δρομέα.
- H/N Κινητού Τυλίγματος (Moving Coil).
- H/N Θερμικοί (Thermal).

Ωστόσο, από αυτούς τους οποίους αναφέραμε, μόνο οι H/N έλξης είναι αυτοί που έχουν σημαντικές εφαρμογές έως και σήμερα. Όλοι οι υπόλοιποι έχουν αντικατασταθεί από H/N ψηφιακούς.

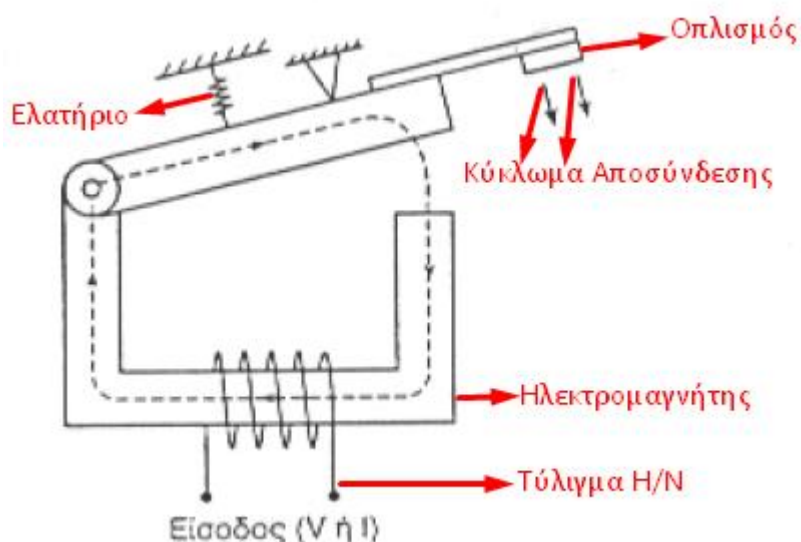
Παρακάτω θα αναλύσουμε τη λειτουργία κάποιων από τους σημαντικούς H/N που αναφέραμε παραπάνω και ειδικότερα τους ηλεκτρονόμους έλξης (τύπου εμβόλου και οπλισμού) και τους H/N επαγωγικού τύπου (στρεφόμενου δίσκου, δρομέα).

Ηλεκτρονόμοι έλξης τύπου εμβόλου: Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι έχουν ως αρχή λειτουργίας των το φαινόμενο της επαγωγής, επομένως όλες οι παραγόμενες δυνάμεις που θα αναφερθούν οφείλονται στο φαινόμενο αυτό. Οι ηλεκτρονόμοι τύπου εμβόλου αποτελούνται από έναν πυρήνα ηλεκτρομαγνήτη κι από ένα τύλιγμα στο κέντρο του, το οποίο δέχεται σήμα εισόδου (τάση ή ρεύμα). Όταν προκύψει ένα σφάλμα, τότε το ρεύμα που διαρρέει το τύλιγμα επάγει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο με την σειρά του ασκεί μια δύναμη στο έμβολο προς τα πάνω. Αν αυτή η δύναμη ξεπεράσει τη δύναμη συγκράτησης που ασκεί το ελατήριο, τότε το έμβολο έλκεται προς τα πάνω, δηλαδή προς το μέρος του τυλίγματος του H/N, με αποτέλεσμα να έρθει σε επαφή με το τύλιγμα ενεργοποίησης, το οποίο με την σειρά του θα αναγκάσει τον ΔΙ να ανοίξει και να διακόψει τη λειτουργία του εσφαλμένου μέρους το οποίο προστατεύει ο H/N. Μόλις έρθει σε επαφή με το τύλιγμα αποσύνδεσης το έμβολο και διακοπεί η λειτουργία του εσφαλμένου μέρους, τότε, αντίστοιχα, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο παύει να επάγεται στον ηλεκτρομαγνήτη, με αποτέλεσμα η δύναμη έλξης που ασκούσε πριν να μην είναι αρκετή να συγκρατήσει το έμβολο στην θέση στην οποία ενεργοποιείται το σύστημα, με αποτέλεσμα να επιστρέψει στην αρχική του θέση και να είναι έτοιμο πάλι για κάποια επόμενη λειτουργία. Το βασικό σχήμα των ηλεκτρονόμων εμβόλου φαίνεται παρακάτω (**Εικόνα 2-3**).



Εικόνα 2-3: Σχέδιο H/N έλξης τύπου εμβόλου [5].

Ηλεκτρονόμοι έλξης τύπου οπλισμού: Οι H/N τύπου οπλισμού έχουν κι αυτοί παρόμοια λειτουργία με αυτούς του τύπου εμβόλου, δηλαδή διαθέτουν πάλι έναν πυρήνα ηλεκτρομαγνήτη πάνω στον οποίο υπάρχει το τύλιγμα εισόδου του H/N (ρεύματος ή τάσης), το οποίο όταν δέχεται ρεύμα μεγαλύτερο από το επιτρεπτό, έλκει τον οπλισμό, αυτή τη φορά όμως προς το τύλιγμα αποσύνδεσης του κυκλώματος, με αποτέλεσμα να διακόπτει το κύκλωμα. Εδώ πάλι η έλξη οφείλεται στη δύναμη του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη συγκράτησης του ελατηρίου. Το σχέδιο, ωστόσο, του τύπου οπλισμού διαφέρει από αυτό του τύπου εμβόλου και αυτό φαίνεται παρακάτω (**Εικόνα 2-4**).

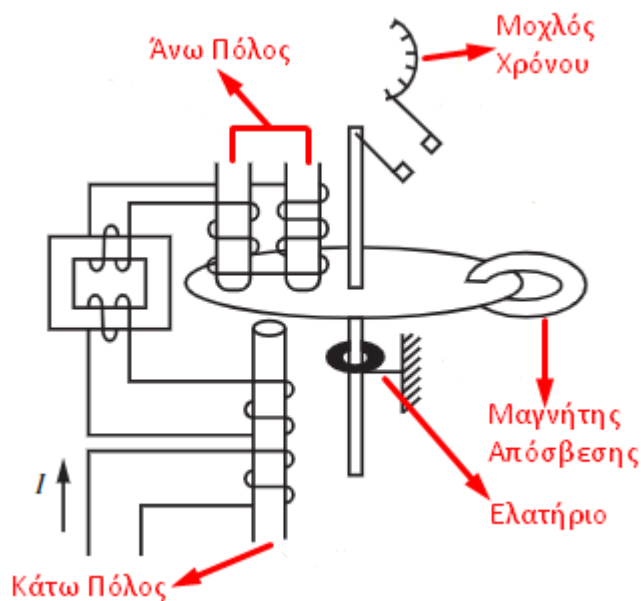


Εικόνα 2-4: Σχέδιο H/N έλξης τύπου οπλισμού [5].

Ηλεκτρονόμοι επαγωγής στρεφόμενου δίσκου: Η θεωρία των Η/Ν επαγωγής στηρίζεται στις αρχές των μονοφασικών εναλλασσόμενων (AC) μηχανών. Είναι προφανές, επομένως, πως αυτού του είδους οι Η/Ν δεν μπορούν να λειτουργήσουν για συνεχή ρεύματα (DC). Όσον αφορά τώρα τους Η/Ν επαγωγής στρεφόμενου δίσκου υπάρχουν 2 ειδών:

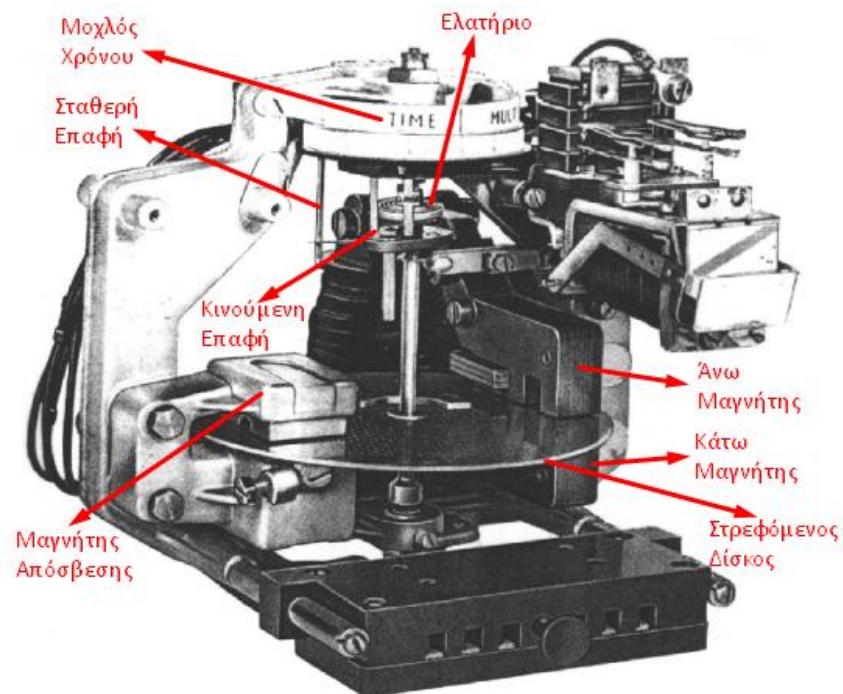
- Με βραχυκυκλωμένη σπείρα
- Βαττομετρικού τύπου.

Το σχέδιο με βραχυκυκλωμένη σπείρα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 2-5**). Εδώ παρατηρούμε ότι ο Η/Ν αποτελείται από έναν δίσκο ο οποίος δύναται να περιστρέφεται όταν επάγονται στην επιφάνεια αυτού δινορρεύματα. Επίσης, όπως βλέπουμε, ο Η/Ν διαθέτει 2 τυλίγματα στους ηλεκτρομαγνήτες του, δηλαδή έχει 2 εισόδους, τα οποία τυλίγματα παράγουν εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία. Ωστόσο, για να είναι ικανός να λειτουργήσει ο Η/Ν, θα πρέπει αυτά τα μαγνητικά πεδία να έχουν διαφορετικές φάσεις μεταξύ τους, ούτως ώστε να δημιουργηθεί ροπή, η οποία θα είναι ικανή να θέσει τον δίσκο σε περιστροφή. Τέλος, βλέπουμε πως υπάρχει ένας μοχλός χρόνου με τον οποίο μπορούμε να ρυθμίσουμε τον χρόνο στον οποίο ζητούμε από τον Η/Ν να ενεργοποιείται. Ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται γι' αυτή την ενεργοποίηση, εξαρτάται από την γωνία περιστροφής η οποία απαιτείται, ώστε η κινητή επαφή να φτάσει στη σταθερή επαφή.

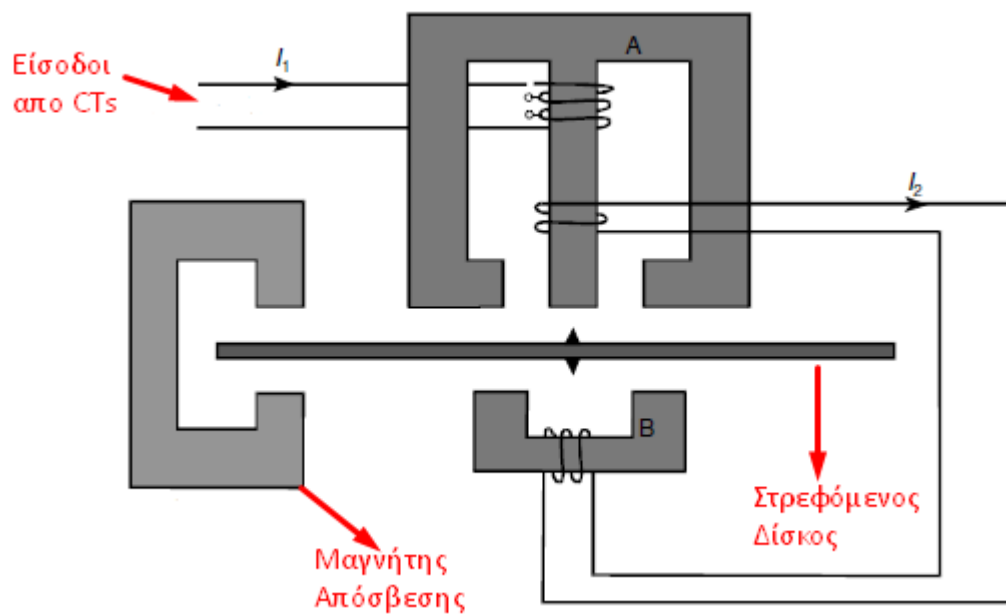


Εικόνα 2-5: Σχέδιο Η/Ν επαγωγής στρεφόμενου δίσκου με βραχυκυκλωμένη σπείρα [4].

Παρακάτω βλέπουμε έναν πραγματικό επαγωγικό Η/Ν στρεφόμενου δίσκου ο οποίος είναι βαττομετρικού τύπου (**Εικόνα 2-6**), καθώς και το σχέδιό του (**Εικόνα 2-7**).



Εικόνα 2-6: Πραγματικός επαγωγικός Η/Ν βαττομετρικού τύπου [6].



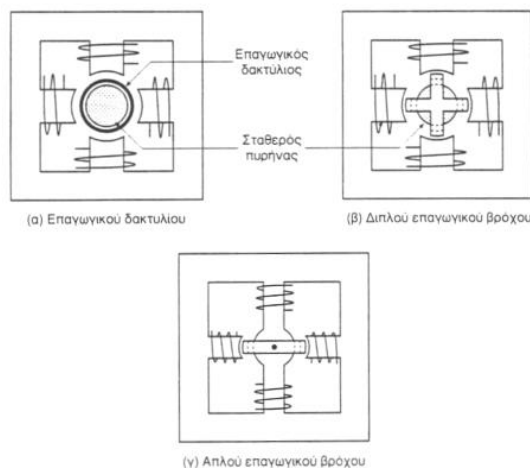
Εικόνα 2-7: Σχέδιο του πραγματικού επαγωγικού Η/Ν βαττομετρικού τύπου [6].

Ηλεκτρονόμοι επαγωγής τύπου δρομέα: Η θεωρία για τη λειτουργία αυτών των τύπων Η/Ν είναι ίδια με αυτή που αναφέραμε για τους επαγωγικούς Η/Ν στρεφόμενου δίσκου και βασίζεται

κι αυτή στις αρχές λειτουργίας της μονοφασικής AC μηχανής. Υπάρχουν 3^{ων} ειδών επαγωγικοί Η/Ν δρομέα:

- Επαγωγικού δακτυλίου
- Διπλού επαγωγικού βρόχου
- Απλού επαγωγικού βρόχου

Τα σχέδια των ανωτέρω 3 Η/Ν φαίνονται στην παρακάτω **Εικόνα 2-8**.

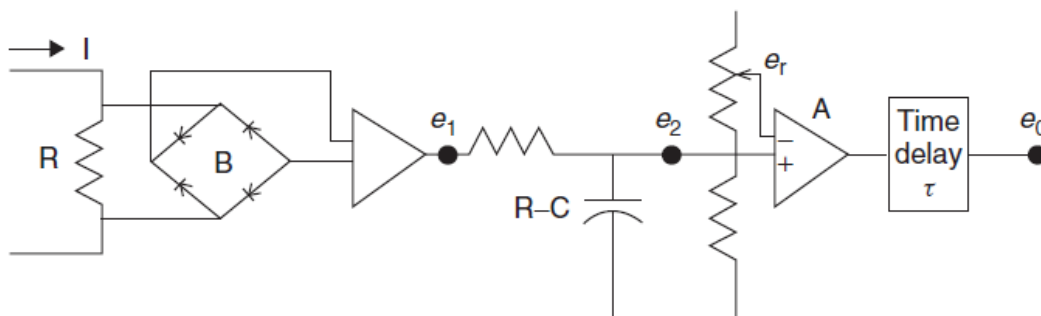


Εικόνα 2-8: Σχέδια επαγωγικού Η/Ν τύπου δρομέα [5].

2.2.3 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΤΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

Οι αναλογικοί στατικοί ηλεκτρονόμοι (**Εικόνα 2-9**), είναι η πρώτη εξέλιξη των ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων και δεν διαθέτουν κανένα κινητό μέρος, (όπως οπλισμούς ή στρεφόμενους δίσκους) κι είναι σχεδιασμένοι με διάφορες αναλογικές ηλεκτρονικές συσκευές (όπως τρανζίστορ, διόδους, πυκνωτές κλπ.), αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο τα τυλίγματα και τους ηλεκτρομαγνήτες. Επομένως, οι στατικοί αναλογικοί Η/Ν έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους ηλεκτρομηχανικούς, όπως:

- Μεγαλύτερη ταχύτητα λειτουργίας
- Μειωμένη συχνότητα συντήρησης
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία
- Μικρή κατανάλωση ισχύος άρα αυξημένη απόδοση, και
- Μικρότερο κόστος κατασκευής



Εικόνα 2-9: Πιθανό κύκλωμα στατικού στιγμιαίου H/N υπέρντασης [7].

2.2.4 ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

Οι ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι είναι η εξέλιξη των αναλογικών H/N και στηρίζονται στη χρήση μικροεπεξεργαστών ώστε όταν δέχονται ένα σήμα να το ψηφιοποιούν. Λίγο μετά τους ψηφιακούς αναπτύχθηκαν και τέθηκαν σε εφαρμογή οι αριθμητικοί H/N οι οποίοι είναι κι αυτοί ψηφιακοί, διαθέτουν όμως μικροεπεξεργαστές οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη ικανότητα επεξεργασίας, περισσότερες προγραμματιστικές ικανότητες και καλύτερη επικοινωνία στη μεταφορά δεδομένων κατά τον απομακρυσμένο έλεγχο. Οι ψηφιακοί H/N παρέχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία, είναι ταχύτεροι, διαθέτουν ευελιξία στις ρυθμίσεις τους και με την εξέλιξη των H/N είναι εύκολη η απομακρυσμένη επικοινωνία. Πλέον οι H/N διαθέτουν και συγχρονισμένα συστήματα μέτρησης φάσης (PMUs ή synchro phasors). Τα PMUs μετρούν με ακριβή τρόπο τις τάσεις και τα ρεύματα δειγματοληψίας σε όλο το δίκτυο, καθώς και τα επίπεδα αλλαγής της συχνότητας του δικτύου μεταφοράς. Οι μετρήσεις όλων των PMU συγχρονίζονται και εγκαθίστανται στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται πλέον εύκολη η ανάλυση των όλων μετρήσεων για διάφορες μελέτες, όπως μελέτη ευστάθειας, εξέταση σωστής λειτουργίας συστήματος κ.ά.

2.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ

Για τη λειτουργία των ηλεκτρονόμων είναι απαραίτητη η χρήση των μετασχηματιστών εντάσεως και τάσεως, τους οποίους θα αναλύσουμε στις παρακάτω υποενότητες. Η χρήση αυτών των μετασχηματιστών είναι σημαντική, διότι μετρούν συνεχώς την τάση (VT's) και το ρεύμα (CT's) και τροφοδοτούν τους ηλεκτρονόμους με ποσότητες (εντάσεως ή τάσεως ανάλογα αν χρησιμοποιούμε CT's ή VT's αντίστοιχα), ανάλογες με αυτές του συστήματος ενέργειας, αλλά με μειωμένη μαγνήτιση, ώστε να μπορούν να την διαχειριστούν οι ηλεκτρονόμοι. Θεωρείται, δηλαδή, και ως ένα μέσο μόνωσης του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κυκλώματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προστασία των συσκευών μέτρησης. Κάποιες φορές, όταν αυτό είναι απαραίτητο, οι M/Σ εντάσεως και τάσεως λειτουργούν υποστηρικτικά για έναν ζυγό και ειδικότερα στις YT όπου η κατασκευή ενός άλλου ζυγού είναι αρκετά ακριβή. Οι M/Σ τάσεως, για παράδειγμα, αν είναι απαραίτητο, χρησιμοποιούνται και ως συσκευές τροφοδοσίας.

2.3.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ

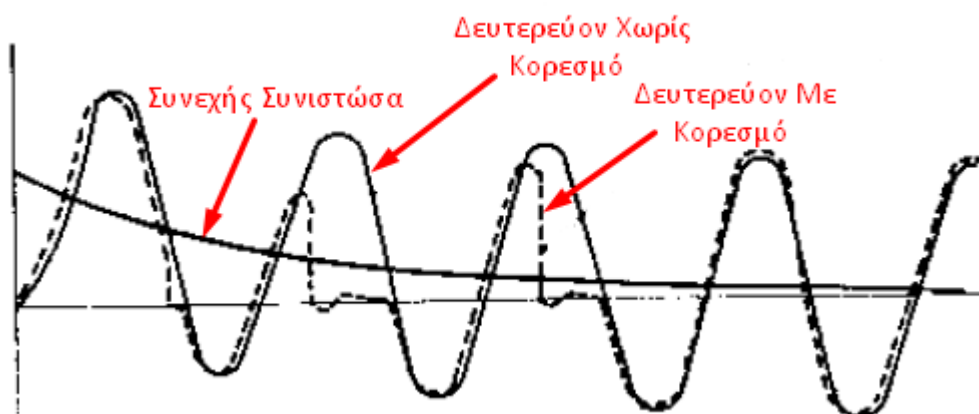
Οι μετασχηματιστές εντάσεως είναι κατασκευασμένοι κατά τέτοιον τρόπο ώστε το πρωτεύον τους τύλιγμα να βρίσκεται συνδεδεμένο στον αγωγό και να ρέει μέσα σ' αυτόν το προς μέτρηση ή προς έλεγχο ρεύμα. Ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του λόγου μετασχηματισμού του CT είναι το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας των συσκευών που συνδέονται σε αυτόν (π.χ. Ηλεκτρονόμοι, βοηθητικοί Μ/Σ έντασης κ.ά.). Στην πραγματικότητα και σύμφωνα με το IEC Standard, το δευτερεύον του Μ/Σ εντάσεως παίρνει συνήθως τιμές 5A ή 1A. Οι Μ/Σ εντάσεως μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τις εφαρμογές τους στις εξής δύο κατηγορίες:

1. Μ/Σ έντασης για μέτρηση.
2. Μ/Σ έντασης για σύνδεση σε Η/Ν προστασίας (relaying).

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιούνται ξεχωριστοί μετασχηματιστές κι αυτό προκύπτει από τη μικρή ανάλυση των δύο αυτών τύπων Μ/Σ που ακολουθεί.

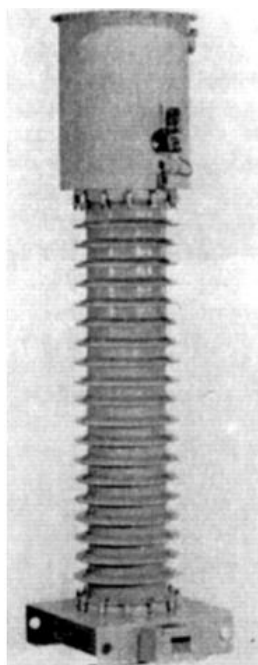
Μ/Σ έντασης για μέτρηση: Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιείται για μέτρηση και σχεδιάζεται από μικρόν πυρήνα κι απαιτείται να έχει υψηλή ακρίβεια σε ονομαστικά ρεύματα φορτίου. Λόγω του μικρού πυρήνα τους, οι συγκεκριμένοι τύποι Μ/Σ φτάνουν πιο γρήγορα σε κορεσμό για ρεύματα λίγο μεγαλύτερα από το ονομαστικό. Είναι φανερό, επομένως, πως ο συγκεκριμένος τύπος δεν θα ήταν αξιόπιστος να χρησιμοποιηθεί για σχήματα προστασίας, λόγω των μεγάλων ρευμάτων που αναπτύσσονται κατά το σφάλμα.

Μ/Σ έντασης για σύνδεση σε Η/Ν προστασίας (protection relay): Ο συγκεκριμένος τύπος (Εικόνα 2-11) χρησιμοποιείται στα σχήματα προστασίας, επομένως απαιτείται να διαθέτει μεγαλύτερους πυρήνες, πράγμα που σημαίνει πως έχει μεγαλύτερη ακρίβεια για ρεύματα μεγαλύτερα από το ονομαστικό, όπως τα ρεύματα κατά την διάρκεια του σφάλματος. Ωστόσο, το αρνητικό χαρακτηριστικό εδώ είναι η μειωμένη του ακρίβεια για χαμηλά ρεύματα. Η πιο κρίσιμη χρήση αυτών των μετασχηματιστών εντάσεως είναι στα διαφορικά σχήματα προστασίας και αυτό διότι σε αυτά τα σχήματα θα πρέπει όλοι οι Μ/Σ έντασης να έχουν την ίδια επίδοση. Μια κάποια διαφοροποίηση μπορεί να θέσει σε λειτουργία την προστασία μας, όταν αυτό δεν είναι επιθυμητό. Επομένως, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στον κορεσμό των Μ/Σ έντασης. Ο κορεσμός ενός CT οφείλεται συνήθως σε κοντινά σφάλματα υψηλής μαγνήτισης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται και στη συνιστώσα συνεχούς ρεύματος που έχει ένα ρεύμα σφάλματος, διότι είναι σοβαρή για την απόδοση του μετασχηματιστή εντάσεως, καθώς και αυτός ο παράγοντας τον οδηγεί σε κορεσμό. Η συνεχής συνιστώσα είναι μεγαλύτερη, όταν η τάση της πηγής βρίσκεται στο μηδέν. Όσο μειώνεται η συνεχής συνιστώσα στη διάρκεια του σφάλματος, τόσο η απόδοση του Μ/Σ έντασης επανέρχεται (Εικόνα 2-10).



Εικόνα 2-10: Κορεσμός Μ/Σ έντασης εξαιτίας συνεχούς συνιστώσας [8].

Επειδή συνήθως δεν διατίθενται όλες αυτές οι πληροφορίες για τους Μ/Σ έντασης, όπως για παράδειγμα η χαρακτηριστική μαγνήτισής του, χωρίζονται σε κλάσεις. Στην Ελλάδα η κλάση του CT φαίνεται από το γράμμα Ρ. Για παράδειγμα, αν έχουμε ένα CT κλάσης 5P20, αυτό μας δίνει την πληροφορία ότι για ρεύμα μικρότερο από 20 φορές του ονομαστικού, το σφάλμα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 5%. Δηλαδή, το μέγιστο όριο σφάλματος είναι το 5% και αυτό επιτυγχάνεται για ρεύμα 20 φορές του ονομαστικού. Μετά από αυτό το όριο το CT αρχίζει και περνά σε κορεσμό [8].



Εικόνα 2-11: Μετασχηματιστής έντασης YT [8].

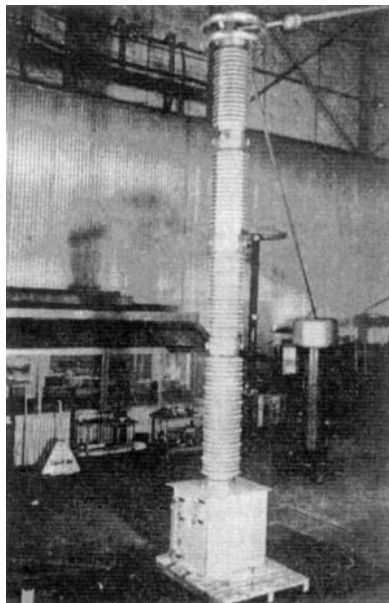
2.3.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΤΑΣΕΩΣ

Οι Μ/Σ τάσεως (**Εικόνα 2-12**) συνδέονται απευθείας στις συσκευές που βρίσκονται στην ΥΤ και οι ονομαστικές τιμές τάσης του πρωτεύοντος ταυτίζονται με την ονομαστική τάση του υποσταθμού στον οποίο βρίσκεται το συγκεκριμένο VT, ενώ οι τιμές τάσης του δευτερεύοντος είναι τυποποιημένες. Για την Ελλάδα, συγκεκριμένα, η τάση ορίζεται στα 100V ή 110V ανά φάση, ενώ στα εκτεταμένα κυκλώματα συναντάμε 200V ονομαστική τάση δευτερεύοντος. Στην Αμερική τα δεδομένα διαφέρουν, καθώς εκεί το δευτερεύον τύλιγμα του VT έχει διαφορετική ονομαστική τάση για κάθε σύστημα: για συστήματα διανομής η τάση ορίζεται στα 120V, για συστήματα μεταφοράς στα 115V, ενώ για εκτεταμένα συστήματα στα 230V. Το μέγιστο σφάλμα που εισάγουν οι Μ/Σ τάσης είναι 0,3% , 0,6% και 1,2%. Έχουν εξαιρετική απόδοση και κατά τα μεταβατικά, αφού αναπαριστούν με ακρίβεια τις απότομες αλλαγές στις τάσεις του πρωτεύοντος.



Εικόνα 2-12: Μετασχηματιστής τάσεως (VT).

Για τους υποσταθμούς YYT η προσθήκη Μ/Σ τάσεως είναι αρκετά εξόχως δαπανηρή. Για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι πυκνωτικοί Μ/Σ τάσεως (Coupling Capacitor Voltage, CCVT) (**Εικόνα 2-13**).



Εικόνα 2-13: Πυκνωτικός μετασχηματιστής τάσεως (CCVT) [8].

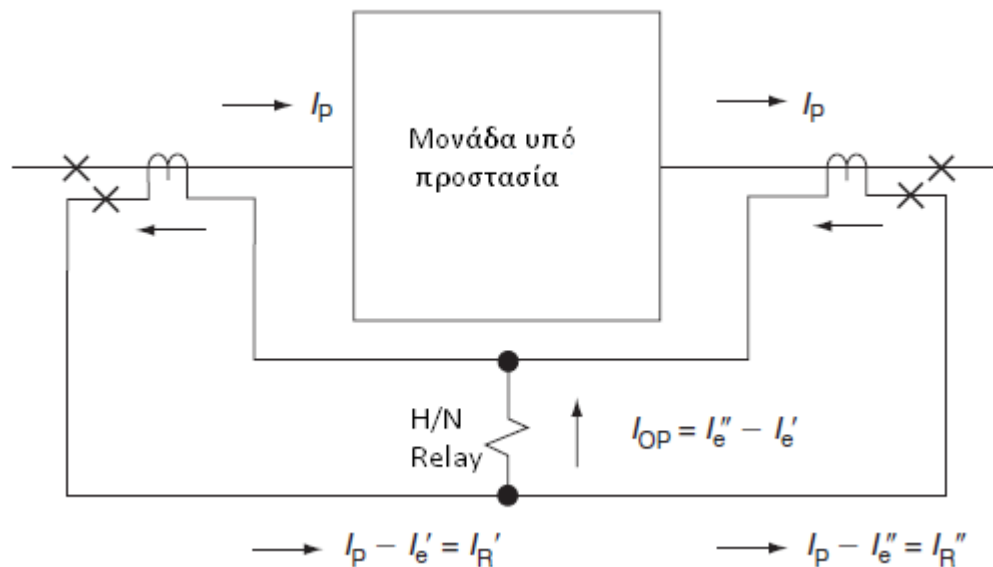
2.4 ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Σε αυτήν την υποενότητα θα παρουσιάσουμε τη χρήση των Η/Ν, που αναφέραμε και αναλύσαμε παραπάνω, στα διάφορα σχήματα προστασίας που συναντάμε στα ΣΗΕ.

2.4.1 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

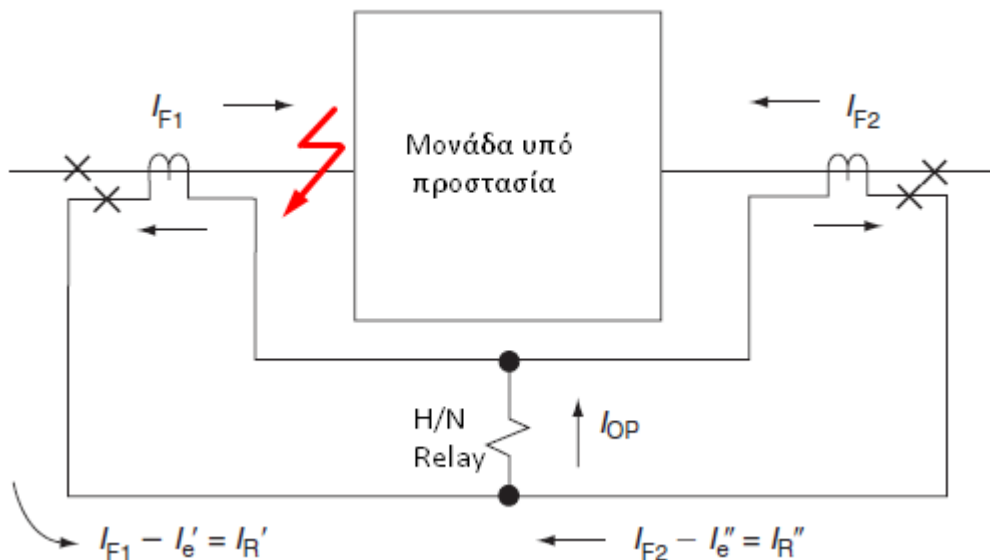
Η διαφορική προστασία είναι η σημαντικότερη και αρτιότερη τεχνική προστασίας που διαθέτουμε στα ΣΗΕ. Η διαφορική προστασία βασίζεται στον 1^ο νόμο του Kirchhoff, ο οποίος μας λέει ότι το άθροισμα των ρευμάτων που εισέρχονται σε έναν κόμβο ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων που εξέρχονται από αυτόν. Διακρίνουμε τα εξής είδη διαφορικών προστασιών: την απλή και την ποσοστιαία διαφορική.

- **Απλή διαφορική προστασία:** Το σχήμα της απλής διαφορικής προστασίας συγκρίνει απευθείας τη διαφορά μεταξύ των μαγνητίσεων του ρεύματος που εισέρχονται και εξέρχονται από τη ζώνη προστασίας της. Υπό κανονικές συνθήκες, όταν ένα ρεύμα εισέλθει στη ζώνη προστασίας της διαφορικής, θα πρέπει να είναι ίσο με το ρεύμα που εξέρχεται απ' αυτή. Να αναφέρουμε εδώ πως η διαφορική θα πρέπει να λειτουργεί μόνο για εσωτερικά, στη ζώνη προστασίας της, σφάλματα. Παρακάτω φαίνεται το σχήμα απλής διαφορικής προστασίας μαζί με την απεικόνιση και των φορών των ρευμάτων. Για κανονική λειτουργία (**Εικόνα 2-14**) και για λειτουργία διαφορικής υπό σφάλμα (**Εικόνα 2-15**).



Εικόνα 2-14: Σχήμα διαφορικής υπό κανονική λειτουργία [4].

Όπου I_p είναι το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας και I_{op} το ρεύμα λειτουργίας του πηνίου του H/N. Το $I_p - I_e$ είναι το ρεύμα το οποίο εξέρχεται από τον 1^ο μετασχηματιστή εντάσεως και ισούται με το ρεύμα του πρωτεύοντος του Μ/Σ εντάσεως, δηλαδή το ρεύμα γραμμής διαιρεμένο με τον λόγο μετασχηματισμού του CT. Από την **Εικόνα 2-14** παρατηρούμε ότι ακόμα και σε κανονική λειτουργία με ακριβώς τα ίδια CT, το I_{op} θα είναι πολύ μικρό, αλλά ποτέ δεν θα είναι ίσο με το μηδέν. Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι τα CT μπορεί να έχουν κάποιες πολύ μικρές διαφορές κι αφετέρου στις απώλειες μέσα στην περιοχή προστασίας. Ωστόσο, αυτό θεωρείται αμελητέο και ο H/N ρυθμίζεται ώστε να μη λειτουργεί γι' αυτήν τη μικρή διαφορά ρευμάτων.



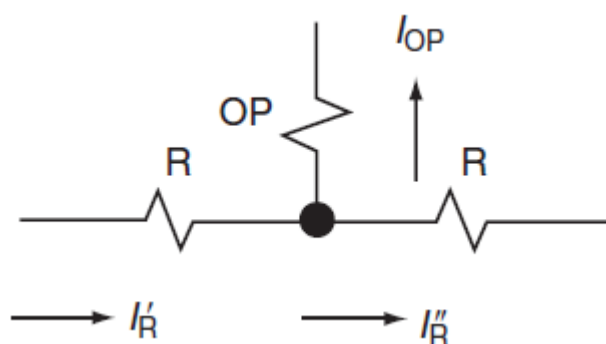
Εικόνα 2-15: Σχήμα διαφορικής προστασίας για λειτουργία υπό εσωτερικό σφάλμα [4].

Όπου I_{F1} , I_{F2} είναι τα ρεύματα που τροφοδοτούν το σφάλμα και από τις δύο πλευρές τη γραμμής. Στην **Εικόνα 2-15**, παρατηρούμε πως για ένα σφάλμα εντός της ζώνης προστασίας, το ρεύμα που εισέρχεται στο δεξιό CT έχει αντίθετη φορά απ' ότι υπό κανονικές συνθήκες και αυτό διότι θα πρέπει να τροφοδοτήσει το σφάλμα. Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε $I_{op} = I_{F1} + I_{F2} - (I_e'' + I_e')$. Τώρα η διαφορά δεν θα είναι αμελητέα, επομένως ο H/N θα λειτουργήσει και θα ανοίξει τον αντίστοιχο ΔΙ [4].

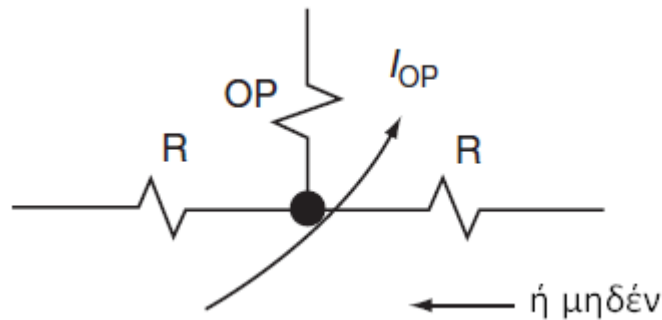
- **Ποσοστιαία διαφορική προστασία:** Η ποσοστιαία διαφορική προστασία είναι μια αναπτυγμένη μορφή της διαφορικής προστασίας. Χρησιμοποιείται όταν θέλουμε υψηλή ευαισθησία και ασφάλεια για μικρά εσωτερικά σφάλματα. Τα δευτερεύοντα τυλίγματα των CT's θα συνδέονται τώρα στο τύλιγμα λειτουργίας μέσω εγκάρσιου πηνίου αναχαίτισης που περιορίζει το ρεύμα. Η συνδεσμολογία, δηλαδή, θα είναι όπως στις **Εικόνα 2-16** και **Εικόνα 2-17**. Η ποσοστιαία διαφορική μετρά και αυτή την διαφορά των ρευμάτων ή των τάσεων που εισέρχονται στη ζώνη προστασία της, ωστόσο αυτό το σχήμα προστασίας χρησιμοποιεί ένα κατώφλι το οποίο είναι ίσο με το ποσοστιαίο ρεύμα αναχαίτισης I_r . Το ποσοστιαίο ρεύμα αναχαίτισης είναι ουσιαστικά ο μέσος όρος των ρευμάτων του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του Μ/Σ ισχύος.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

Όπου I_1 και I_2 είναι τα ρεύματα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος του Μ/Σ, αντίστοιχα. Αν η διαφορά την οποία ανιχνεύει ο H/N υπερβαίνει το συγκεκριμένο κατώφλι, τότε θα πρέπει να στείλει σήμα, ώστε να ανοίξει ο ΔΙ. Η ποσοστιαία διαφορική προστασία χρησιμοποιείται ευρέως στους υποσταθμούς ΥΤ και ειδικότερα στους μετασχηματιστές ισχύος, όπου τα συχνά μικρά εσωτερικά σφάλματα λειτουργίας τους μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα [4].



Εικόνα 2-16: Λειτουργία ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας για εξωτερικό σφάλμα [4].



Εικόνα 2-17: Λειτουργία ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας για εσωτερικό σφάλμα [4].

2.4.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ

Η προστασία υπερέντασης είναι από τις βασικότερες μεθόδους που χρησιμοποιούμε στα ακτινικά δίκτυα διανομής MT και XT και επιτυγχάνεται με H/N υπερέντασης. Η υπερένταση σε ένα σύστημα ορίζεται ως το πολλαπλάσιο της ονομαστικής τιμής του ρεύματος και η τυπική τιμή είναι $I > 2 \cdot I_N$ [9], δηλαδή, όταν ξεπερνά το διπλάσιο του ονομαστικού, τότε καταλαβαίνουμε πως πρόκειται περί βραχυκυκλώματος στο σύστημα μας. Αν το ρεύμα είναι πολλαπλάσιο του ονομαστικού, αλλά δεν ξεπερνά αυτό το κατώφλι, τότε πρόκειται για υπερφόρτιση από την οποία δεν απαιτείται να προστατεύσουμε το σύστημα αλλά τις μηχανές. Οι H/N υπερέντασης μπορεί να είναι και κατευθυντικοί, ωστόσο αυτός ο τύπος H/N χρησιμοποιείται κυρίως για προστασία σε βροχοειδή δίκτυα.

Με βάση τα παραπάνω, λοιπόν, ρυθμίζουμε τον H/N με ένα ρεύμα κατωφλίου (τυπικά $2 \cdot I_N$). Αν το ρεύμα λειτουργίας ξεπεράσει αυτό το όριο, τότε ο H/N θα πρέπει να στείλει σήμα στον ΔΙ ώστε να ανοίξει.

Για την επίτευξη της σωστής λειτουργίας, αλλά και των απαιτούμενων στόχων που αναφέραμε στην **Ενότητα 2.1** του σχήματος προστασίας με H/N υπερέντασης, θα πρέπει να γίνει η επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού για την προστασία. Με τον όρο εξοπλισμό εννοούμε τα CT's τα οποία χρειάζεται ο H/N υπερέντασης για να λειτουργεί, καθώς και τους ΔΙ στους οποίους στέλνει το σήμα ενεργοποίησης. Για την επιλογή του εξοπλισμού είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των μεγίστων αλλά και ελαχίστων ρευμάτων σφάλματος. Τα μέγιστα σφάλματα απαιτούνται για την επιλογή της διακοπτικής ικανότητας των διακοπών ισχύος και υπολογίζονται στα άκρα των γραμμών, λίγο μετά τον υπεύθυνο H/N, ώστε να έχουμε την μικρότερη αντίσταση και άρα το μεγαλύτερο από τα μέγιστα ρεύματα σφάλματος. Το ελάχιστο ρεύμα σφάλματος είναι απαραίτητο να υπολογιστεί, διότι αφενός σύμφωνα με αυτό θα γίνει και η ρύθμιση του κύριου H/N προστασίας για το συγκεκριμένο σφάλμα, κι αφετέρου για τον έλεγχο επίτευξης της διακριτικότητας μεταξύ των H/N υπερεντάσεως. Όσον αφορά την επιλογή των σωστών CT's, θα πρέπει να γίνει ανάλυση μόνιμης κατάστασης. Τα πρωτεύοντα τυλίγματα των CT's θα πρέπει να ξεπερνούν τις τιμές ρεύματος κατά την ονομαστική λειτουργία αλλά και τις τιμές αποδεκτών υπερφορτίσεων, ώστε να μην εισέρχονται σε κορεσμό σε αυτές τις περιπτώσεις.

2.4.2.1 H/N ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Οι H/N σταθερού χρόνου ρυθμίζονται όπως όλοι οι H/N υπερέντασης με ένα pick-up ρεύμα, ωστόσο σε περίπτωση μιας υπερέντασης (σφάλματος), ανεξαρτήτως του μεγέθους του, λειτουργούν για έναν συγκεκριμένο χρόνο. Τον χρόνο αυτόν τον ρυθμίζουμε ανάλογα με το πόσο γρήγορα θέλουμε να λειτουργήσει ο H/N και να στείλει αντίστοιχο σήμα στον ΔΙ, ώστε να κόψει το σφάλμα.

Ένα πολύ σοβαρό θέμα το οποίο προκύπτει χρησιμοποιώντας μόνο στους συγκεκριμένους H/N για την προστασία ακτινικών δικτύων, είναι η αύξηση του χρόνου λειτουργίας για σφάλματα κοντά στην γεννήτρια του δικτύου, σφάλματα τα οποία είναι κατά πολύ μεγαλύτερα όσο πλησιάζουμε στη γεννήτρια, εξαιτίας της μικρότερης αντίστασης που παρουσιάζει το δίκτυο [9].

2.4.2.2 H/N ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Οι H/N αντιστρόφου χρόνου (IDMT) ρυθμίζονται και αυτοί με ένα pick-up current, ωστόσο σε αυτήν την περίπτωση ο χρόνος λειτουργίας τους εξαρτάται από το μέγεθος του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα, με την αύξηση του ρεύματος σφάλματος ελαττώνεται ο χρόνος λειτουργίας. Με τον τρόπο αυτόν επιλύεται το πρόβλημα το οποίο αναφέραμε στους H/N σταθερού χρόνου.

Συνήθως στις μελέτες προστασιών των δικτύων, το στάδιο του H/N έχει λειτουργία αντιστρόφου χρόνου και το ορίζουμε για την υπερφόρτιση του δικτύου και όχι για υπερένταση. Για υπερεντάσεις θέτουμε σε λειτουργία άλλο ή άλλα στάδια το ίδιου H/N τα οποία έχουν λειτουργία σταθερού χρόνου ή ακαριαία, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος προστασίας μας. Ενδεικτικά τα pick-up ρεύματα των ηλεκτρονόμων αντιστρόφου χρόνου είναι της τάξης του 120-150% του ονομαστικού ρεύματος [9].

2.4.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ

Η προστασία με H/N κατεύθυνσης, όπως παραπάνω αναφέρθηκε, είναι μια υποκατηγορία της προστασίας με H/N υπερέντασης. Σε αυτή την περίπτωση όμως οι ηλεκτρονόμοι έχουν την δυνατότητα να ρυθμίζονται για το αν θα λειτουργούν σε ορθή φορά ρεύματος ή αντίστροφη. Η παράμετρος αυτή της κατεύθυνσης βοηθάει πολύ στην επιλογικότητα που πρέπει να έχουμε μεταξύ των ηλεκτρονόμων. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, τα κατευθυντικά στοιχεία τα βρίσκουμε περισσότερο σε κλειστά (βροχοειδή) συστήματα, όπου είναι απαραίτητο να λειτουργούν σε συγκεκριμένη φορά ρεύματος, την οποία ορίζουμε ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχήματος προστασίας, για να μην τίθεται όλο το σύστημα εκτός λειτουργίας.

2.4.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Η προστασία απόστασης πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτρονόμων απόστασης και είναι η ιδανική λύση, όταν δεν είναι αποδεκτή η χρονική καθυστέρηση στο σύστημα προστασίας. Η ονομασία των ηλεκτρονόμων απόστασης οφείλεται στην μέτρηση της σύνθετης αντίστασης, όπως

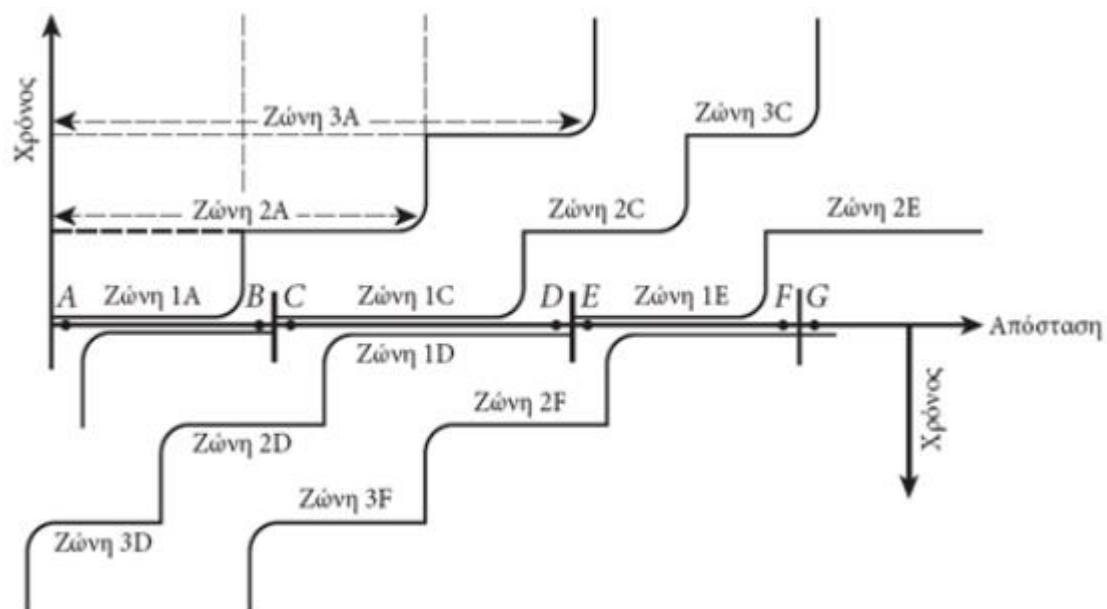
θα δούμε και στην περιγραφή λειτουργίας τους, η οποία είναι ανάλογη με το μήκος της γραμμής από το σημείο που βρίσκεται ο ηλεκτρονόμος έως το σημείο σφάλματος.

Για την περιγραφή της λειτουργίας ενός ηλεκτρονόμου απόστασης, θα θεωρήσουμε μια γραμμή μεταφοράς την οποία προστατεύει και η οποία έχει σύνθετη αντίσταση Z_L . Αν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα στο τέλος της γραμμής, τότε το ρεύμα που διέρχεται μέσα από τη γραμμή δημιουργεί μια τάση $V = I Z_L$. Ο ηλεκτρονόμος θα πρέπει να ρυθμιστεί έτσι, ώστε να λειτουργεί για βραχυκύκλωμα εντός της γραμμής, δηλαδή για $V < I Z_L$. Στην πραγματικότητα ο ηλεκτρονόμος μετρά συνέχεια τη σύνθετη αντίσταση $Z = V / I$ και τη συγκρίνει με την Z_L . Αν $Z < Z_L$, τότε ο ηλεκτρονόμος απόστασης ενεργοποιείται.

Ένα αρνητικό φαινόμενο που παρουσιάζεται στους ηλεκτρονόμους απόστασης είναι το φαινόμενο της *υπερεπέκτασης* (overreach). Επί της ουσίας αυτό παρουσιάζεται τη στιγμή που δημιουργείται ένα βραχυκύκλωμα. Επειδή τη στιγμή δημιουργίας του βραχυκυκλώματος το ρεύμα είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι στην μόνιμη κατάσταση, ο ηλεκτρονόμος αρχίζει να μετρά μια σύνθετη αντίσταση Z μικρότερη από την πραγματική. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου να τείνει να πραγματοποιείται για τιμές σύνθετης αντίστασης Z μεγαλύτερες από την καθορισμένη τιμή. Για τον παραπάνω λόγο όταν ρυθμίζουμε τον ηλεκτρονόμο, του θέτουμε ένα ασφαλές σημείο λειτουργίας (safe margin) το οποίο είναι 10-20% μικρότερο από το Z το οποίο θα είχαμε. Εδώ αξίζει να αναφέρουμε πως όσο πιο επαγωγική είναι μια γραμμή, τόσο πιο έντονο είναι και το φαινόμενο της υπερεπέκτασης [10].

Στους ηλεκτρονόμους απόστασης πρέπει να είναι δυνατή η μέτρηση της ίδιας απόστασης για όλα τα βραχυκυκλώματα που εμπλέκουν παραπάνω από μία φάσεις. Όπως είναι λογικό, υπάρχουν ανακρίβειες στη μέτρηση των ποσοτήτων αυτών και για τον λόγο αυτόν δεν είναι γνωστό μέχρι ποιου σημείου μπορεί να επεκταθεί ο ηλεκτρονόμος απόστασης. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος όλοι οι ηλεκτρονόμοι απόστασης σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν παρέχοντας προστασία σε 3 ζώνες:

- **Ζώνη 1^η:** Η 1^η ζώνη καλύπτει το 80-90% της γραμμής, όταν πρόκειται για το στάδιο φάσης του ηλεκτρονόμου, ενώ όταν πρόκειται για το στάδιο γης των ηλεκτρονόμων, καλύπτει περίπου το 75% της γραμμής. Γι' αυτή τη ζώνη η λειτουργία του ηλεκτρονόμου τίθεται στα 20 ms.
- **Ζώνη 2^η:** Η 2^η ζώνη καλύπτει όλη τη γραμμή και φτάνει μέχρι και το 20% της επόμενης. Ο χρόνος για τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου είναι σαφώς μεγαλύτερος από τον χρόνο λειτουργίας που έχει για την προστασία της 1^{ης} ζώνης και ορίζεται περίπου στα 0,35 s. Η ζώνη αυτή παρέχει προστασία υποστήριξης, το νόημα της οποίας θα δούμε στην επόμενη ενότητα.
- **Ζώνη 3^η:** Η 3^η ζώνη παρέχει κι αυτή προστασία υποστήριξης και καλύπτει στο σύνολό της και την πρώτη και τη δεύτερη γραμμή. Ο χρόνος λειτουργίας γι' αυτή τη ζώνη ορίζεται περίπου στα 1-2 s.



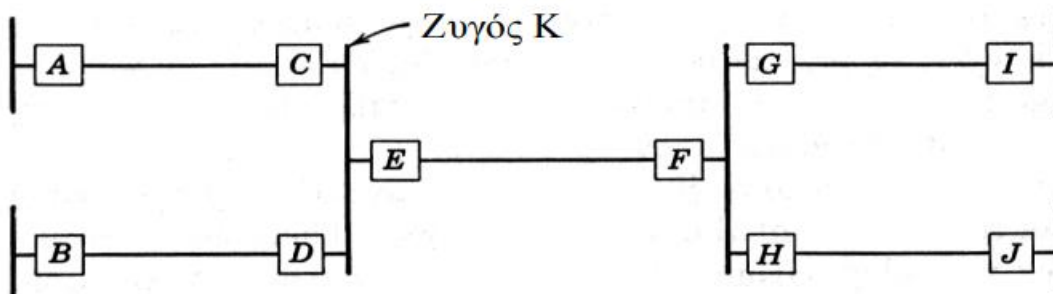
Εικόνα 2-18: Ζώνες προστασίας γραμμής μεταφοράς με ηλεκτρονόμους απόστασης [10].

2.4.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Ως προστασία υποστήριξης ονομάζουμε το σχήμα προστασίας που χρησιμοποιείται ώστε να λειτουργεί και να προστατεύει τον εξοπλισμό σε περίπτωση που η κύρια προστασία αυτού, για τον οποίο έχει οριστεί, δεν καταφέρει να λειτουργήσει για διάφορους λόγους (π.χ. αστοχία κάποιου μετασχηματιστή έντασης, τάσης κλπ.). Η προστασία υποστήριξης, όπως είναι λογικό, είναι πιο αργή από την κύρια προστασία και ρυθμίζεται έτσι, ώστε να μην επηρεάζεται από τους παράγοντες που οδήγησαν στη μη λειτουργία της κύριας προστασίας. Για την επίτευξη της ρύθμισης αυτής, συνήθως, η προστασία τοποθετείται σε διαφορετικό σταθμό. Τέλος, η προστασία υποστήριξης θα πρέπει σε καταστάσεις συντήρησης της κύριας προστασίας του εξοπλισμού και μέχρι την ολοκλήρωσή της, να αλλάζει και να γίνεται η ίδια κύρια προστασία αυτού.

Με τη χρήση της παρακάτω εικόνας (**Εικόνα 2-19**) θα εξηγήσουμε τη λειτουργία της προστασίας υποστήριξης. Θα εξετάσουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα βραχυκύκλωμα στον ζυγό K. Σε αυτή την περίπτωση οι ηλεκτρονόμοι υποστήριξης που βρίσκονται στις θέσεις A, B και F παρέχουν προστασία υποστήριξης σε αυτόν, καλύπτοντας με τον τρόπο αυτόν την κύρια προστασία που παρέχουν οι ηλεκτρονόμοι C, D και E στον ζυγό K.
- Έστω ότι έχουμε ένα βραχυκύκλωμα στη γραμμή AC. Στην περίπτωση, που δεν λειτουργήσουν οι A και C, τότε οι ηλεκτρονόμοι υποστήριξης B και F παρέχουν προστασία υποστήριξης για την γραμμή AC.



Εικόνα 2-19: Ηλεκτρονόμοι ενός ΣΗΕ για την επεξήγηση της προστασίας υποστήριξης [10].

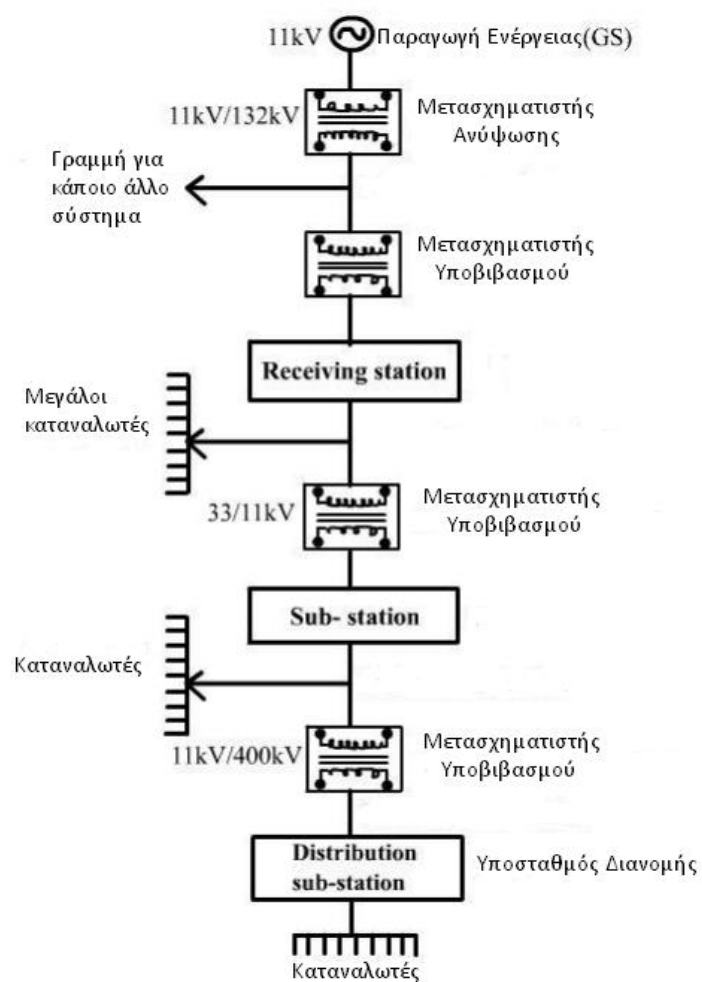
Κεφάλαιο 3: ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΥΨΗΛΗΣ - ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

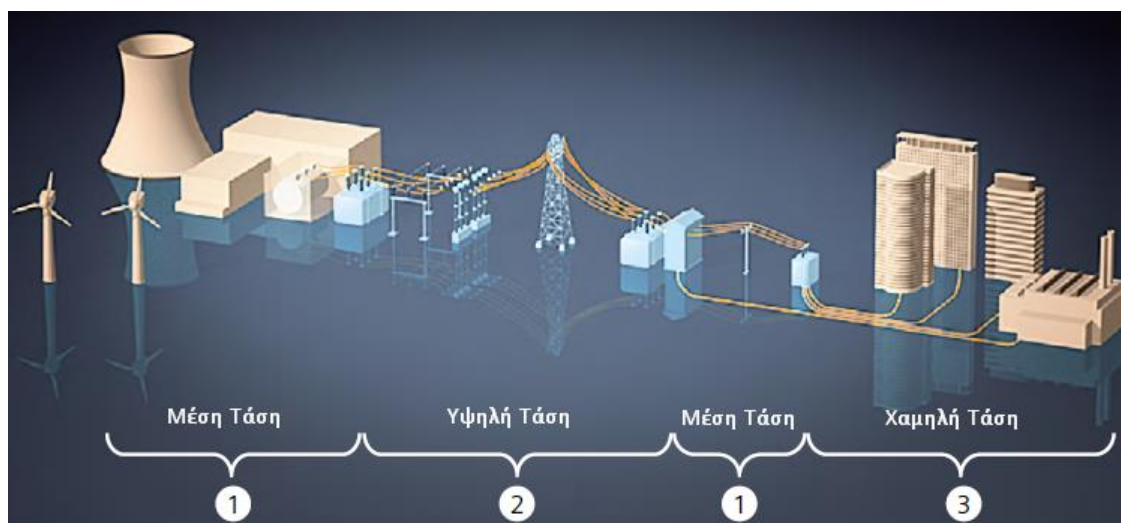
Οι υποσταθμοί είναι τα σημεία εκείνα του ηλεκτρικού συστήματος που περιλαμβάνουν την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας κι είναι υπεύθυνοι για τις εξής εφαρμογές.

- **Ανύψωση τάσης (Step-up substations):** Αφού παραχθεί η ενέργεια, εν συνεχεία θα πρέπει να μεταφερθεί. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, θα περάσει στον υποσταθμό ανύψωσης τάσης όπου ο Μ/Σ ισχύος θα ανυψώσει την τάση μέχρι τα 150kV ή 400kV, αν πρόκειται για υποσταθμό ΥΤ ή ΥΥΤ αντίστοιχα.
- **Μετασχηματισμό επιπέδων τάσης εντός του δικτύου ΥΤ:** Οι υποσταθμοί μετασχηματίζουν την τάση από την ΥΤ/ΥΥΤ σε ένα επίπεδο χαμηλότερο, το οποίο παραμένει ΥΤ (66kV/150kV). Αυτό γίνεται διότι πρέπει να συνδεθούν και οι βαριές βιομηχανίες στο δίκτυο (π.χ. Χαλυβουργία).
- **Υποβιβασμό τάσης (Step-down substations):** Για την διανομή θα πρέπει να υποβιβάσουμε την τάση από τα επίπεδα στα οποία βρίσκεται κατά την μεταφορά. Τα επίπεδα διανομής κυμαίνονται μεταξύ 33kV-66kV και τούτο διότι χρειάζεται να συνδεθούν στο δίκτυο μεγάλες βιομηχανίες.
- **Διασύνδεση σε ίδια επίπεδα τάσης:** Κατά τη διασύνδεση των υποσταθμών δημιουργείται ένα πλεγμένο δίκτυο (meshed network). Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζουμε πως σε περίπτωση μη λειτουργίας ή συντήρησης κάποιου υποσταθμού ή κάποιων άλλων απρόβλεπτων συνθηκών, θα υπάρχουν διαφορετικά «μονοπάτια», ώστε να συνεχιστεί η ροή φορτίου χωρίς να έχουμε διακοπές λειτουργίας. Αυτός ο τρόπος αυξάνει την αξιοπιστία του ΣΗΕ.

Παρακάτω, (Εικόνα 3-1, Εικόνα 3-2) παρουσιάζεται η διαδρομή την οποία ακολουθεί η ενέργεια από την παραγωγή της έως και την κατανάλωση, καθώς και ένα σχέδιο τυπικού ΣΗΕ:



Εικόνα 3-1: Ροή ενέργειας από την παραγωγή έως την κατανάλωση.



Εικόνα 3-2: Τυπικό δίκτυο ενός ΣΗΕ [11].

3.2 ΥΠΑΙΘΡΙΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ

Οι υπαίθριοι υποσταθμοί (Υ/Σ) ή αλλιώς (AIS-Air Insulated Substation) είναι οι τύποι των Υ/Σ στους οποίους οι αγωγοί και γενικότερα όλοι οι εξοπλισμοί χρησιμοποιούν ως μέσο μόνωσης και ψύξης τον αέρα σε πίεση ατμόσφαιρας. Αυτό σημαίνει πως, τα στοιχεία, όπως οι ΔΙ, οι ζυγοί, οι αγωγοί και οι αποξεύκτες, δεν βρίσκονται έγκλειστα σε κάποιο αέριο ή λάδι, αλλά διαχωρίζονται και υποστηρίζονται από αέρα. Εδώ να αναφέρουμε πως η έκταση για την κατασκευή αυτών των Υ/Σ θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη [12], [13].

3.3 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ ΑΕΡΙΟΥ

Οι Υ/Σ αυτού του τύπου ή αλλιώς (GIS-Gas Insulated Substation), όπως αναφέρει και το όνομα τους χρησιμοποιούν αέριο για μόνωση ανά φάση αλλά και ανά φάση με γη. Το αέριο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) και σε πίεση η οποία ρυθμίζεται στις ανάγκες του υποσταθμού και των εξοπλισμών. Σε αυτούς τους τύπους Υ/Σ οι εξοπλισμοί, όπως CT's, VT's, ΔΙ, αυτόματοι διακόπτες, βρίσκονται έγκλειστοι μέσα σε μεταλλικούς γειωμένους σωλήνες, οι οποίοι είναι γεμισμένοι με αυτό το αέριο. Οι αποστάσεις μεταξύ των εξοπλισμών σε αυτή την περίπτωση είναι κάποια εκατοστά, σε αντίθεση με τους AIS. Το πλεονέκτημα τους, επομένως, είναι η μικρή έκταση που χρειάζονται για να στηθούν. Ωστόσο, οι υποσταθμοί αυτοί είναι πιο δαπανηροί και γι' αυτό η κατασκευή τους γίνεται στην περίπτωση εκείνη στην οποία το κόστος της έκτασης γης στην περιοχή είναι εξαιρετικά υψηλό κι ασύμφορο. Επίσης, το γεγονός ότι όλος ο εξοπλισμός βρίσκεται μέσα σε έναν κλειστό χώρο, παρέχει τη δυνατότητα να κατασκευάζονται τέτοιου είδους υποσταθμοί σε παραθαλάσσιες περιοχές, όπου η ρύπανση εκ του αλατιού θα ήταν πολύ επικίνδυνη για τον εξοπλισμό, εάν αυτός βρισκόταν εξωτερικά [12], [13].

3.4 ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ

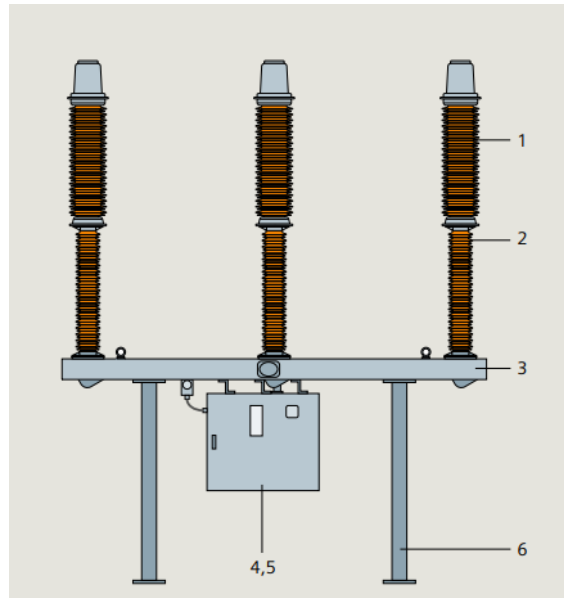
Σε υποσταθμούς ΥΤ είναι σημαντικό να έχουμε διακοπτικά στοιχεία για την προστασία αυτών και για ασφάλεια των ανθρώπων. Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

1. Διακόπτες Ισχύος: Οι ΔΙ είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία για την προστασία υποσταθμών ΥΤ και ΥΥΤ. Οι απαιτήσεις από τους ΔΙ είναι οι εξής:

- Να είναι αξιόπιστοι κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο τους.
- Να έχουν υψηλή απόδοση απόσβεσης ονομαστικών ρευμάτων και ρευμάτων βραχυκύκλωσης ακόμα και μετά από πολλές διακοπτικές λειτουργίες.
- Απόδοση, αξιοπιστία και όσο το δυνατόν λιγότερη συντήρηση των μηχανισμών τους.

Οι ΔΙ που χρησιμοποιούνται σε τέτοιους υποσταθμούς είναι απαραίτητα μονωμένοι. Αυτό γίνεται ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε παραγωγή τόξου κατά τη λειτουργία τους, η οποία μπορεί να επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα σε ολόκληρον τον υποσταθμό. Υπάρχουν τα εξής είδη ΔΙ: αυτοί που είναι μονωμένοι με αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση ή συμπιεσμένο (αυτός ο τύπος διακοπών ισχύος δεν χρησιμοποιείται πλέον), ΔΙ κενού και τέλος οι μονωμένοι με αέριο, συνήθως SF_6 (GIS). Αυτοί οι διακόπτες των υποσταθμών διακρίνονται: στους ΔΙ τύπου live-tank

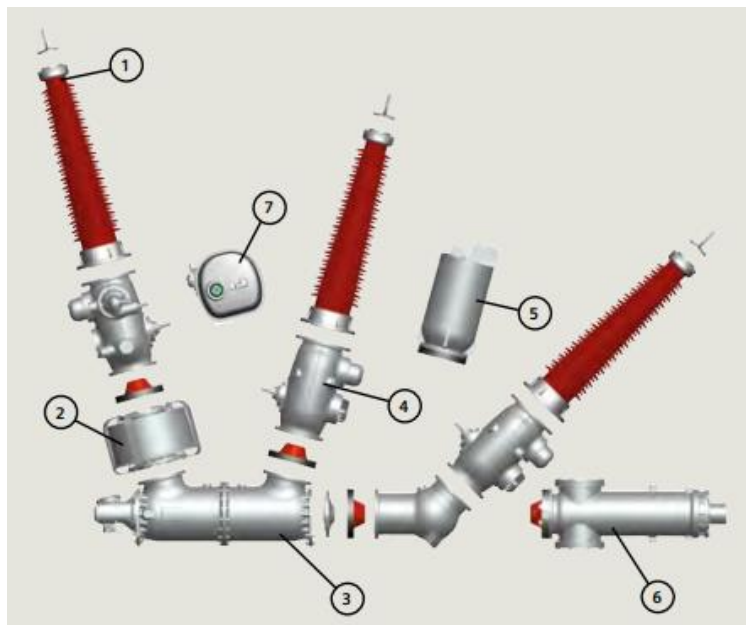
(**Εικόνα 3-3**) οι οποίοι είναι απευθείας εκτεθειμένοι στο δυναμικό της τάσης και στους ΔΙ τύπου dead-tank (**Εικόνα 3-4**), οι οποίοι είναι γειωμένοι και χρησιμοποιούνται, κυρίως, όταν στο σχέδιο προστασίας του υποσταθμού απαιτούνται πολλά CT's [11].



Εικόνα 3-3: Διακόπτης ισχύος τύπου live-tank 145kV [11].

Στην **Εικόνα 3-3** έχουμε σημειώσει τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένας live-tank ΔΙ και τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

1. Διακόπτης.
2. Μόνωση στύλου.
3. Βάση διακόπτη ισχύος.
4. Θάλαμος ελέγχου.
5. Περίβλημα μηχανισμού λειτουργίας.
6. Πυλώνας.



Εικόνα 3-4: Εξαρτήματα διακόπτη ισχύος τύπου dead-tank [11].

Στην **Εικόνα 3-4** τα εξαρτήματα του dead-tank τύπου ΔΙ που έχουμε αριθμήσει αναφέρονται παρακάτω:

1. Δακτύλιος.
 2. Μετασχηματιστής ρεύματος (CT).
 3. Διακόπτης ισχύος με αυτοσυμπίεση.
 4. Αποζεύκτης τριών θέσεων και διακόπτης γείωσης.
 5. Μετασχηματιστής τάσεως (VT).
 6. Συγκρότημα σύνδεση καλωδίων.
 7. Διακόπτης γείωσης υψηλής ταχύτητας.
2. **Αποζεύκτες και διακόπτες γείωσης:** Οι αποζεύκτες χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς YT και YYT, ώστε να μπορούν να απομονώνουν συσκευές οι οποίες χρειάζονται συντήρηση, όπως οι ΔΙ, οι μετασχηματιστές κ.ά. Οι διακόπτες γείωσης, από την άλλη, χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς, ώστε να διασφαλίζεται η πλήρης αποσύνδεση των στοιχείων YT [11].

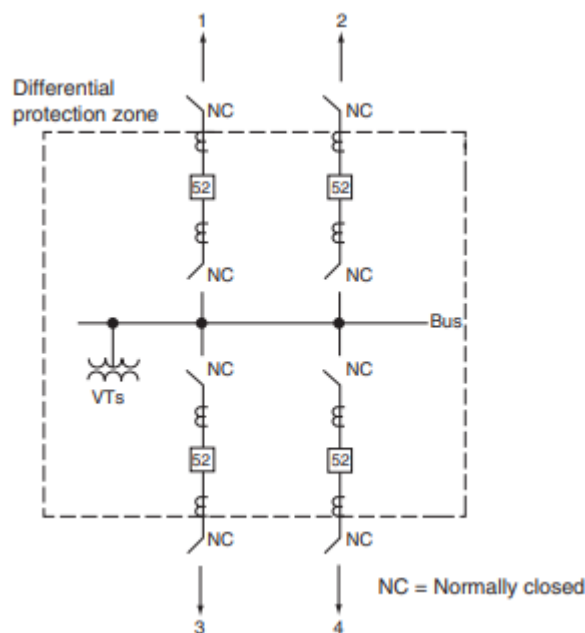
3.5 ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΖΥΓΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΥΠΟΥ (AIS)

Οι ζυγοί είναι τα μέρη του υποσταθμού πάνω στους οποίους συγκεντρώνεται όλη η ενέργεια, είτε αυτοί είναι εισερχόμενοι τροφοδότες (feeders) στον υποσταθμό, είτε είναι εξερχόμενοι. Επομένως, οποιαδήποτε αποσύνδεση ενός ζυγού θα έχει άσχημα αποτελέσματα για το δίκτυο ενέργειας, καθώς όλες οι γραμμές μεταφοράς που είναι συνδεδεμένες σε αυτόν θα αποσυνδεθούν και αυτό θα οδηγήσει την ροή ενέργειας να περάσει από τις άλλες γραμμές μεταφοράς, υπερφορτώνοντάς τις. Με λίγα λόγια, η αξιοπιστία του υποσταθμού εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία των ζυγών. Για την προστασία των ζυγών του υποσταθμού χρησιμοποιείται ευρέως η

διαφορική προστασία, η οποία στηρίζεται στον 1^ο νόμο του Kirchhoff (το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων που εισέρχονται και εξέρχονται από έναν κόμβο πρέπει να είναι μηδέν). Παρακάτω παρουσιάζουμε κάποιες από τις συνδεσμολογίες των ζυγών, καθώς και την προστασία για το κάθε σχήμα [14].

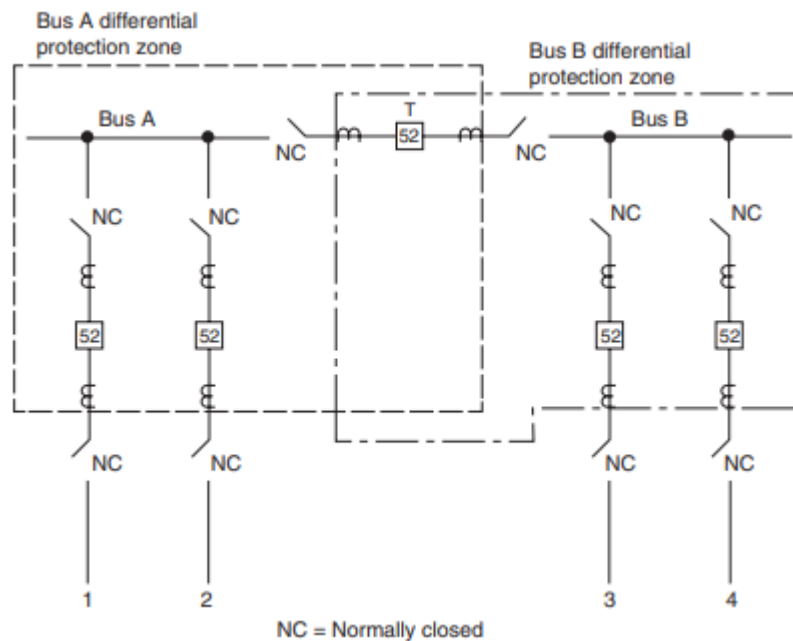
3.5.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΟΣ ΖΥΓΟΥ - ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ

Η σχηματική διάταξη ενός ζυγού με έναν ΔΙ (single bus, single breaker arrangement), είναι η πιο απλή κυκλωματική διάταξη ζυγών (**Εικόνα 3-5**). Η συγκεκριμένη διάταξη είναι αυτή με τα λιγότερα εξαρτήματα, επομένως είναι και η πιο οικονομική αλλά με τίμημα την χαμηλότερη αξιοπιστία, καθώς ένα μόνο σφάλμα στον ζυγό μπορεί να θέσει όλα τα κυκλώματα, που συνδέονται σε αυτόν, εκτός λειτουργίας.



Εικόνα 3-5: Διάταξη ενός ζυγού με έναν διακόπτη (single bus, single breaker arrangement) [14].

Η παραπάνω διάταξη χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς υποσταθμούς (ιδιαίτερα στους υποσταθμούς διανομής), όπου οι διακοπές μπορούν να είναι επιτρεπτές για κάποια χρονικά διαστήματα. Σε μεγαλύτερους υποσταθμούς, όπως είναι λογικό, πολύ σπάνια χρησιμοποιείται. Για να κάνουμε την παραπάνω ρύθμιση πιο αξιόπιστη και να την χρησιμοποιούμε σε υποσταθμούς ΥΤ, μπορούμε να «σπάσουμε» τον ενιαίο ζυγό σε δύο επιμέρους ζυγούς, οι οποίοι θα συνδέονται μεταξύ τους με έναν διακόπτη ισχύος (**Εικόνα 3-6**). Αυτή η διάταξη ονομάζεται τμηματοποιημένος ζυγός [14].



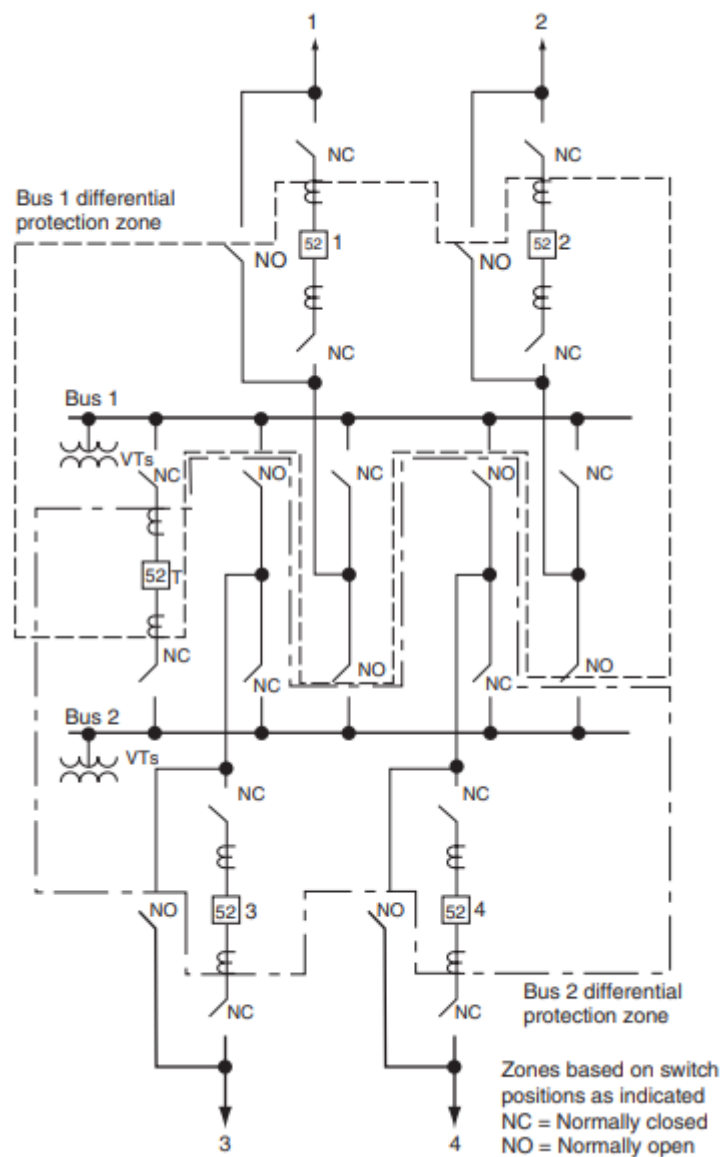
Εικόνα 3-6: Διάταξη τμηματοποιημένου ζυγού (Sectionalized Bus) [14].

Είναι προφανές πως τώρα η διάταξη έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία, καθώς σε περίπτωση σφάλματος δεν βγαίνει όλος ο υποσταθμός εκτός αλλά μόνο ένα μέρος του.

Να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο πως στην Ελλάδα για τους ζυγούς των υποσταθμών MT/YT χρησιμοποιείται κατ' εξοχήν η συγκεκριμένη διάταξη, την οποία διάταξη θα εξετάσουμε στο Κεφάλαιο 4:.

3.5.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΛΟΥ ΖΥΓΟΥ - ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ

Η διάταξη διπλού ζυγού με έναν διακόπτη είναι πιο περίπλοκη από αυτές που αναφέραμε παραπάνω. Ονομάζεται επίσης και διάταξη κύριου ζυγού και ζυγού μεταφοράς (**Εικόνα 3-7**). Παρατηρούμε εδώ πως υπάρχει και ένας συζευκτήρας ζυγών ο οποίος συνδέει τους δύο ζυγούς. Σε περίπτωση που θέλουμε να συντηρήσουμε τον κύριο ζυγό, τότε θα πρέπει πρώτα να κλείσουμε τον συζευκτήρα, κατόπι να κλείσουμε τους αποζεύκτες του ζυγού μεταφοράς και τέλος να ανοίξουμε τους αποζεύκτες του κύριου ζυγού [14].

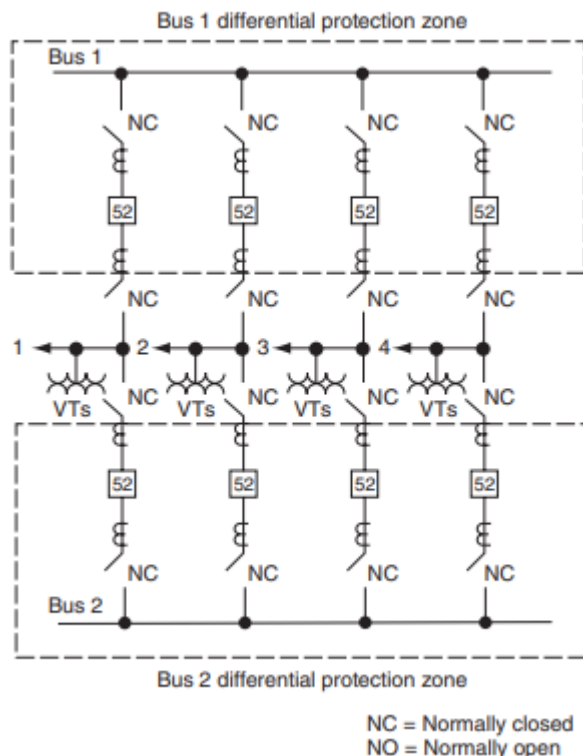


Εικόνα 3-7: Διάταξη διπλού ζυγού με έναν διακόπτη (double bus, single breaker arrangement) [14].

Η παραπάνω διάταξη χρησιμοποιείται για μεγάλους υποσταθμούς οι οποίοι έχουν υψηλή διασύνδεση.

3.5.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΛΟΥ ΖΥΓΟΥ - ΔΥΟ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ

Με τη διάταξη αυτή επιτυγχάνουμε εναλλαγή στο φορτίο χωρίς κάποια διακοπή του κυκλώματος. Ωστόσο, ο τρόπος αυτός για την επίλυση του προβλήματος είναι ο ακριβότερος, διότι θα πρέπει να βάλουμε 2 επιπλέον διακόπτες ισχύος, έναν σε κάθε τροφοδότη (**Εικόνα 3-8**). Η συγκεκριμένη διάταξη, όπως είναι λογικό, χρησιμοποιείται για τροφοδότες οι οποίοι είναι πολύ σημαντικοί και στους οποίους δεν θέλουμε να υπάρξουν διακοπές.

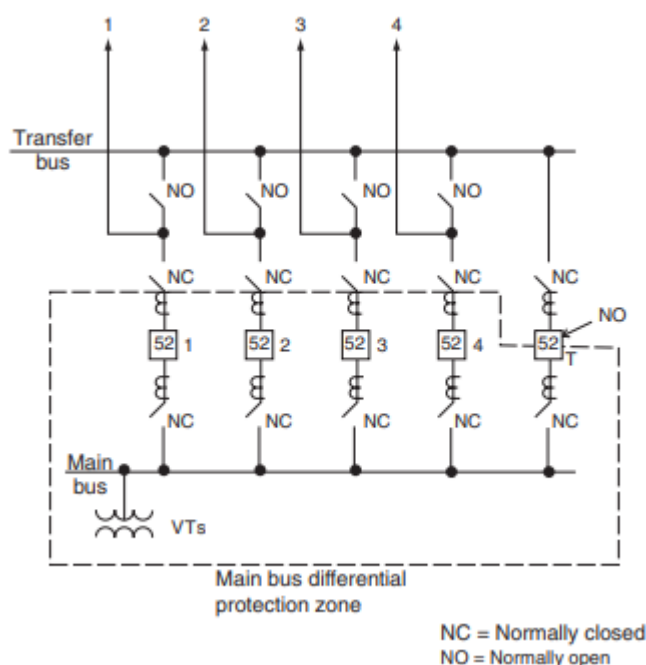


Εικόνα 3-8: Διάταξη διπλού ζυγού με διπλό διακόπτη (double bus, double breaker arrangement) [14].

Στη διάταξη αυτή δεν απαιτείται συζεύκτης μεταξύ των ζυγών και αυτό γιατί σε περίπτωση σφάλματος θα πάρει περισσότερο χρόνο η ροή ενέργειας να μεταφερθεί από τον έναν ζυγό στον άλλο, διότι θα έχουμε και το χρόνο λειτουργίας του συζευκτήρα και τον χρόνο λειτουργίας των ΔΙ των τροφοδοτών [14].

3.5.4 ΚΥΡΙΟΣ ΖΥΓΟΣ - ΖΥΓΟΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

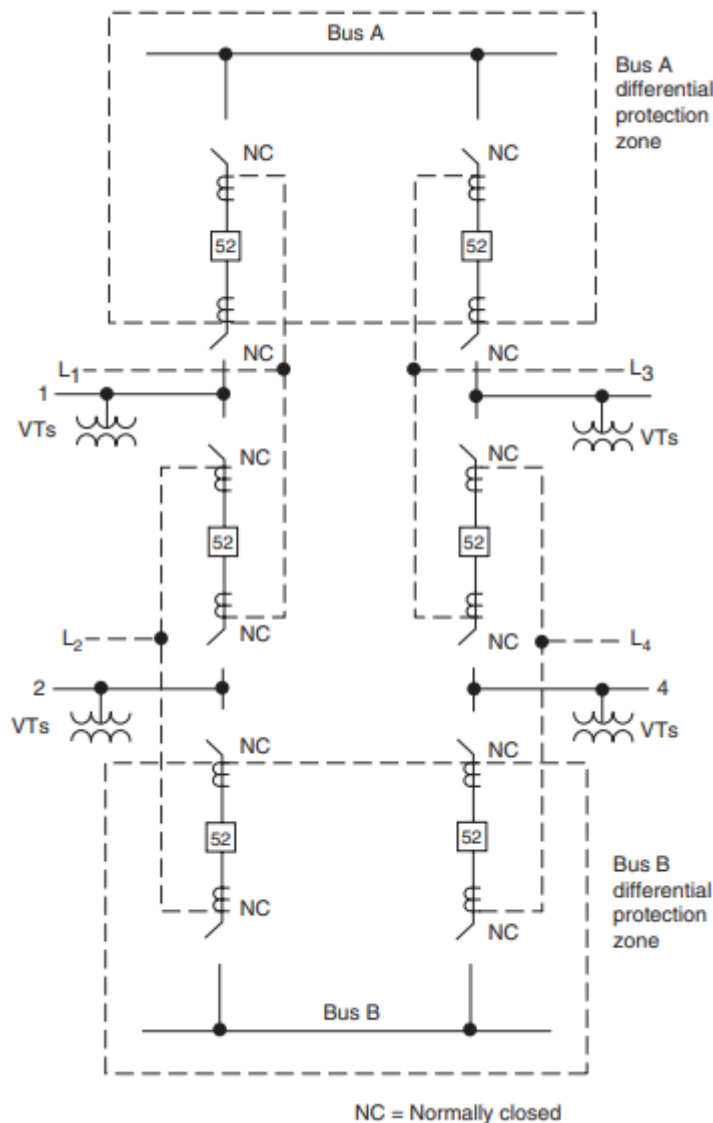
Η συγκεκριμένη διάταξη ζυγών (**Εικόνα 3-9**) αποτελείται από έναν κύριο ζυγό, ο οποίος είναι ενεργοποιημένος για κανονική λειτουργία και από έναν ζυγό μεταγωγής, ο οποίος είναι απενεργοποιημένος. Ο συζεύκτης των ζυγών για κανονική λειτουργία είναι ανοικτός. Σε περίπτωση που χρειαστεί να αφαιρέσουμε ένα διακόπτη ισχύος για κάποιον λόγο (π.χ. αντικατάσταση, συντήρηση ή οτιδήποτε άλλο), τότε το κύκλωμα μπορεί να διατηρήσει την ακεραιότητά του, κλείνοντας τον αποζεύκτη της συγκεκριμένης γραμμής που το συνδέει με τον ζυγό μεταγωγής και ταυτόχρονα κλείνοντας και τον συζεύκτη των ζυγών. Με αυτόν τον τρόπο θέτουμε σε λειτουργία και τον άλλον ζυγό [14].



Εικόνα 3-9: Διάταξη κύριου ζυγού-ζυγού μεταγωγής (Main and transfer bus arrangement) [14].

3.5.5 ΔΙΑΤΑΞΗ ONE AND A HALF BREAKER

Η διάταξη αυτή (**Εικόνα 3-10**) της ρύθμισης one and a half breaker arrangement, είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ των ρυθμίσεων διπλού ζυγού με διπλό διακόπτη και διπλού ζυγού με μονό διακόπτη. Ομοίως, πρόκειται για μία αξιόπιστη διάταξη, καθώς και στην περίπτωση ακόμη ολικής απώλειας του ενός ζυγού, η ροή ενέργειας συνεχίζεται κανονικά. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης οποιουδήποτε ζυγού για συντήρηση (και του κύριου ζυγού), χωρίς διακοπή του κυκλώματος. Ωστόσο, ένα από τα μειονεκτήματά αυτής της διάταξης, είναι πως θα πρέπει κάθε κύκλωμα να έχει και τον δικό του ηλεκτρονόμο προστασίας και να διαθέτει τέτοιας διάταξης διακόπτες [14].

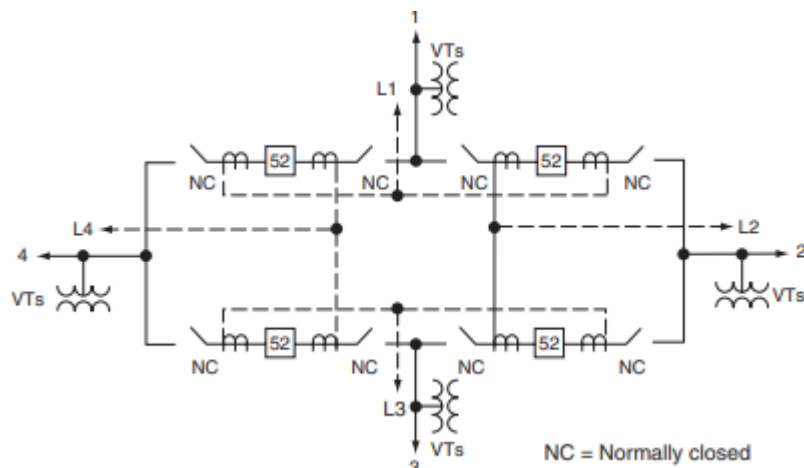


Εικόνα 3-10: Διάταξη one and a half breaker arrangement [14].

3.5.6 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΟΥΣ ΖΥΓΟΥ

Η διάταξη δακτυλίοειδους ζυγού (**Εικόνα 3-11**) είναι μια επέκταση του τμηματοποιημένου ζυγού που αναφέραμε παραπάνω στην **υποενότητα 3.5.1**. Βλέπουμε πως επιτυγχάνεται διασυνδέοντας τα δύο ανοιχτά άκρα των ζυγών με έναν άλλον διακόπτη τμηματοποίησης δημιουργώντας έτσι έναν κλειστό βρόχο. Η διάταξη αυτή είναι αρκετά οικονομική και ευέλικτη, καθώς για κάθε αφαίρεση των ζυγών και ΔΙ για συντήρηση, δεν διακόπτεται η λειτουργία των κυκλωμάτων. Η διάταξη αυτή όμως παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα. Ένα βασικό εξ αυτών είναι πως σε περίπτωση σφάλματος ο δακτύλιος μπορεί να χωριστεί σε δύο ξεχωριστά κυκλώματα, αφήνοντας έτσι ανεπιθύμητους συνδυασμούς τμημάτων στον ζυγό. Επίσης ένα άλλο εξίσου

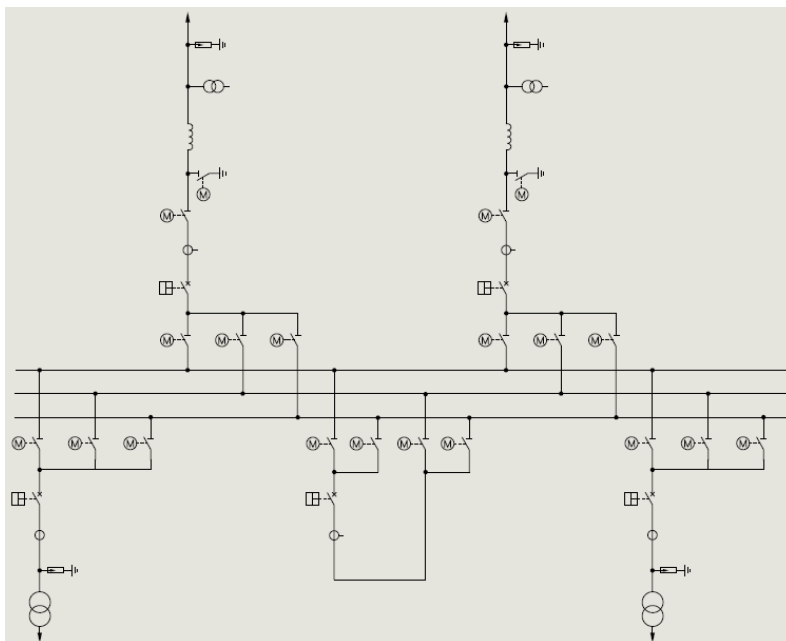
σημαντικό μειονέκτημα είναι πως κάθε κύκλωμα τροφοδοσίας θέλει τον δικό του ηλεκτρονόμο προστασίας, με αποτέλεσμα να καθιστά δύσκολη την επέκταση αυτής της διάταξης [14].



Εικόνα 3-11: Διάταξη δακτυλιοειδούς ζυγού [14].

3.5.7 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΡΙΠΛΟΥ ΖΥΓΟΥ

Η ρύθμιση τριπλού ζυγού ή αλλιώς triple bus arrangement (**Εικόνα 3-12**), χρησιμοποιείται για πολύ σημαντικούς υποσταθμούς και κυρίως για Κ.Υ.Τ (Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης 150/400kV) και αυτό διότι δεν θέλουμε καμία διακοπή σε αυτούς τους υποσταθμούς, καθώς η απώλεια ενέργειας θα είναι πολύ μεγάλη. Είναι η πιο ακριβή ρύθμιση απ' όσες έχουν αναφερθεί αλλά ταυτόχρονα και η πιο αξιόπιστη [11].



Εικόνα 3-12: Διάταξη τριπλού ζυγού (triple bus arrangement) [11].

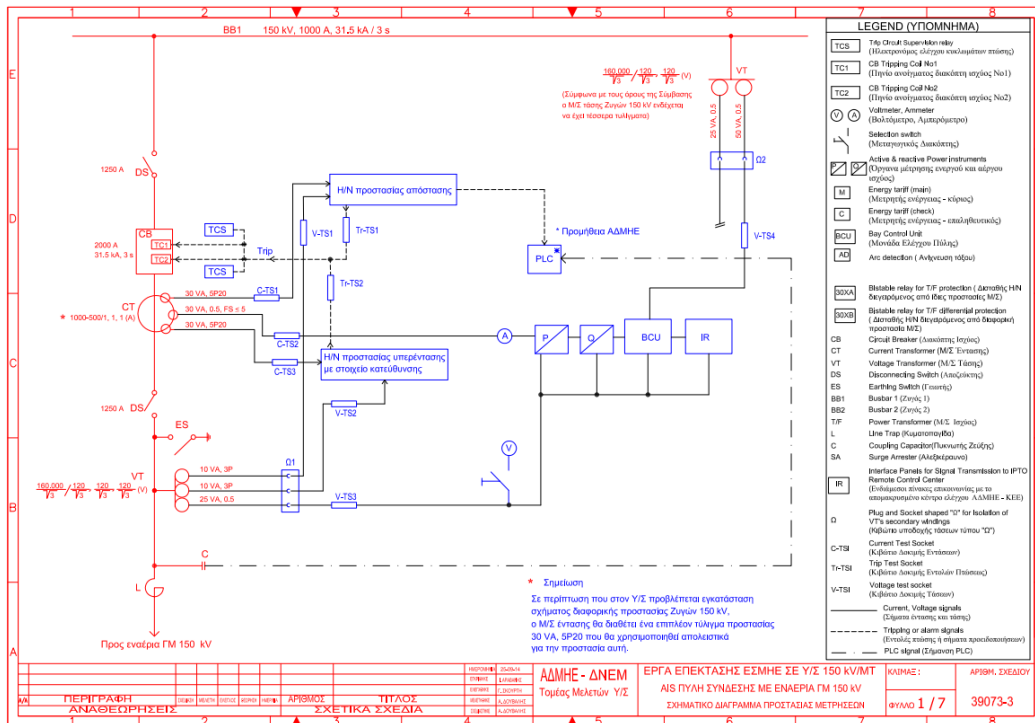
Κεφάλαιο 4: ΤΥΠΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΥΤ & ΥΥΤ

4.1 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

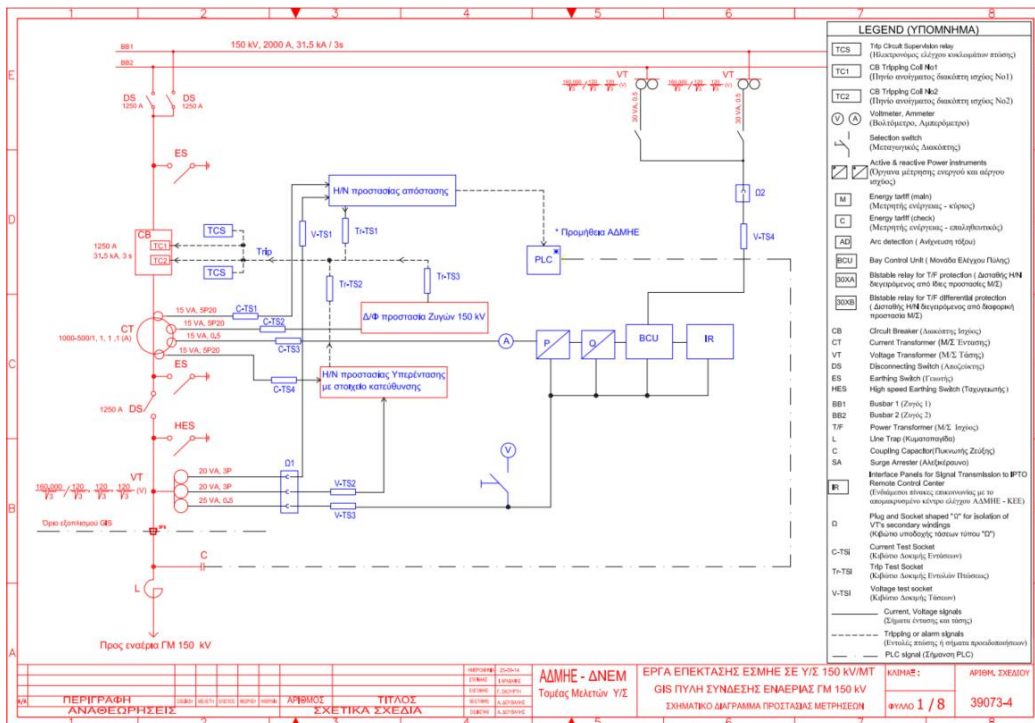
Σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή του ΑΔΜΗΕ, το σχήμα προστασίας της πύλης της εναέριας γραμμής μεταφοράς ενός υποσταθμού ΥΤ-ΥΥΤ περιγράφεται ως εξής:

- Ως κύριο μέσο προστασίας της γραμμής μεταφοράς χρησιμοποιείται ένας ψηφιακός Η/Ν αποστάσεως, οι ρυθμίσεις του οποίου θα πρέπει να συμβαδίζουν με τις προδιαγραφές του ΑΔΜΗΕ [15].
- Ως επικουρική προστασία χρησιμοποιείται ένας ψηφιακός Η/Ν υπερεντάσεως φάσης και γης ο οποίος θα πρέπει να διαθέτει στοιχείο κατεύθυνσης για σφάλματα φάσεων αλλά και για σφάλματα γης, καθώς επίσης να διαθέτει και στοιχείο προστασίας έναντι αποτυχίας διακόπτη. Οι ρυθμίσεις του συγκεκριμένου Η/Ν θα πρέπει να ακολουθούν τις προδιαγραφές του ΑΔΜΗΕ [16].
- Σε κατάσταση σφάλματος και στην περίπτωση που ο διακόπτης ισχύος της πύλης της γραμμής μεταφοράς δεν λειτουργήσει μετά από εντολή ενός από τους παραπάνω Η/Ν, τότε διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:
 - **Περίπτωση 1^η:** Αν υπάρχει μελέτη διαφορικής προστασίας μεταξύ των ζυγών, θα σταλθεί σήμα από τον Η/Ν διαφορικής να ανοίξουν όλοι οι διακόπτες που συνδέονται στον ζυγό.
 - **Περίπτωση 2^η:** Αν δεν υπάρχει κάποιο σχήμα διαφορικής προστασίας ζυγών, τότε θα δίνεται εντολή σε όλους τους Η/Ν κύριας προστασίας των πυλών, που συνδέονται στον ζυγό, να ενεργοποιηθούν.

Για τη μη εσφαλμένη λειτουργία των ηλεκτρονόμων αποστάσεως και κατευθυντικών εξαιτίας απώλειας σημάτων τάσης ή λόγω σφάλματος στο δευτερεύον του VT, τα τελευταία θα πρέπει να προστατεύονται από τριπολικούς μικροαυτόματους.



Εικόνα 4-1: Σχήμα προστασίας πύλης εναέριων γραμμών μεταφοράς 150kV AIS Υ/Σ [17].



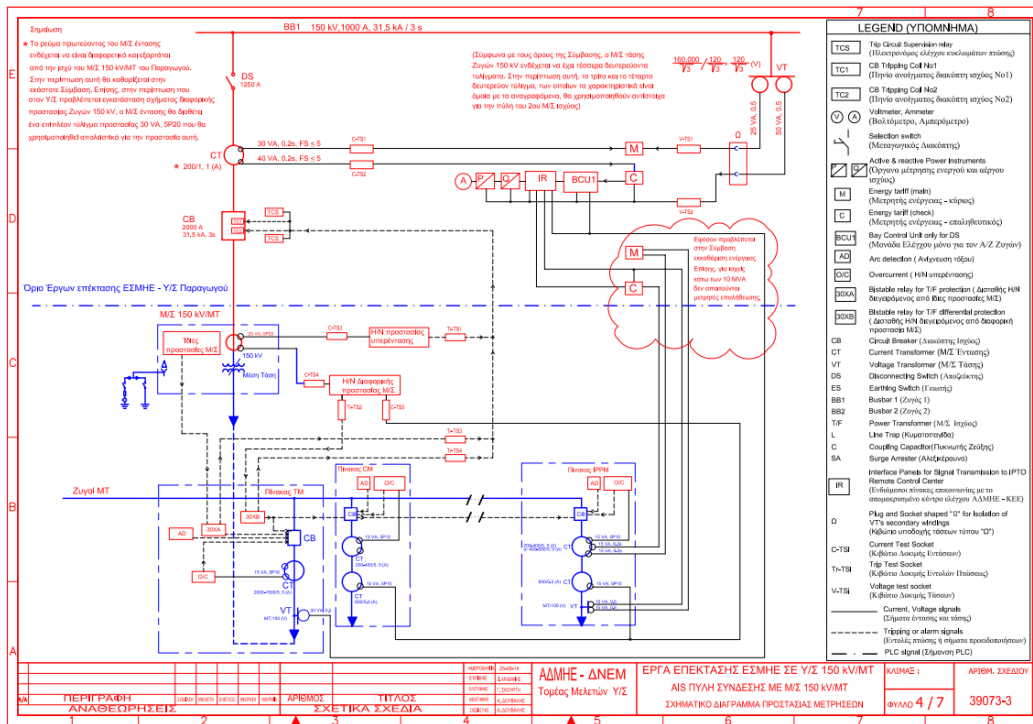
Εικόνα 4-2: Σχήμα προστασίας πύλης εναέριων γραμμών μεταφοράς 150kV GIS Υ/Σ [18].

4.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ Μ/Σ 150 KV/MT

Με βάση την τεχνική περιγραφή του ΑΔΜΗΕ, το σχήμα προστασίας της πύλης του Μ/Σ 150 kV/MT σταθμού παραγωγής, ενός υποσταθμού ΥΤ-ΥΥΤ, αποτελείται από τα εξής:

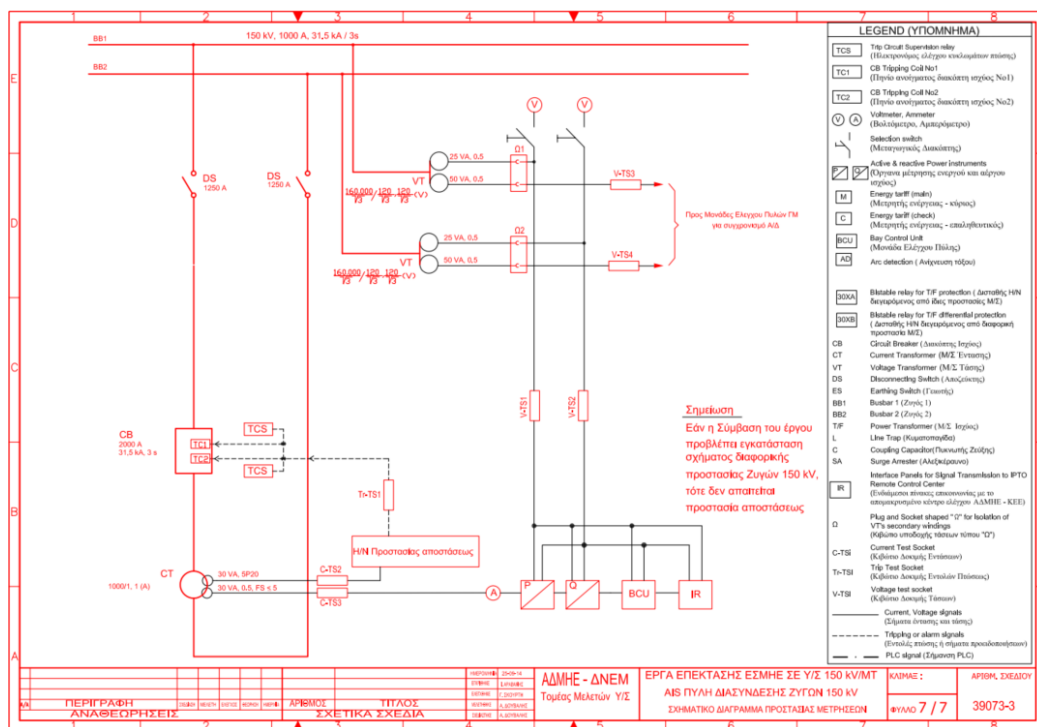
- Ως προστασία πύλης του Μ/Σ χρησιμοποιείται ένας Η/Ν υπερέντασης, ο οποίος δεν θα πρέπει να διαθέτει κατευθυντικό στοιχείο σε αυτή την περίπτωση, αλλά προστασία έναντι αποτυχίας διακόπτη. Οι ρυθμίσεις του Η/Ν υπερεντάσεως θα πρέπει να είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές [16].
- Για την προστασία του Μ/Σ ισχύος θα πρέπει να υπάρχει και ένας διαφορικός Η/Ν. Η διαφορική προστασία συνιστάται να επεκτείνεται μέχρι και του ΔΙ των ΙΡΡΜ. Εδώ να αναφέρουμε πως η προδιαγραφή ορίζει ότι τα σήματα που θα στέλνει ο Η/Ν θα περνάνε πρώτα από έναν βοηθητικό ηλεκτρονόμο μανδάλωσης τουλάχιστον 14 επαφών. Ο ηλεκτρονόμος μανδάλωσης είναι αυτός που θα δίνει σήμα στα 2 πηνία λειτουργίας του ΔΙ. Αυτό γίνεται διότι θέλουμε μεγαλύτερη ασφάλεια για τη λειτουργία της διαφορικής. Ο διαφορικός Η/Ν θα συγκρίνει τα ρεύματα που ανιχνεύει:
 1. **Για την πλευρά των 150 kV:** Ο Η/Ν στην πλευρά αυτή θα λαμβάνει στην είσοδό του το ρεύμα του δευτερεύοντος Μ/Σ έντασης, ο οποίος βρίσκεται στην ΥΤ (μονωτήρες διέλευσης) του Μ/Σ ισχύος. Η ένταση του ρεύματος που θα λαμβάνει ο Η/Ν στην περίπτωση αυτή είναι συνήθως της τάξης των 200/1 Α.
 2. **Για την πλευρά της ΜΤ:** Ο Η/Ν στην πλευρά αυτή θα λαμβάνει το άθροισμα των ρευμάτων όλων των δευτερευόντων Μ/Σ έντασης των ΙΡΡΜ.
- Προστασία του Μ/Σ ισχύος από τα ίδια σφάλματα: της εμφάνισης κάποιου τόξου ή της αύξησης της θερμοκρασίας εξαιτίας κάποιας υπερφόρτισης. Για την προστασία έναντι αυτών των σφαλμάτων υπεύθυνη είναι η προστασία Buchholz την οποία διαθέτει ο ίδιος ο Μ/Σ ισχύος.
- Όσον αφορά την προστασία σε περίπτωση αστοχίας του ΔΙ, τότε θα πρέπει να δίνεται σήμα στην διαφορική προστασία των ζυγών, αν αυτή προβλέπεται, να ανοίξει όλους τους ΔΙ που συνδέονται στον ζυγό όπου έλαβε χώρα το σφάλμα. Στην περίπτωση που ελλείπει κάποιο σχήμα διαφορικής μεταξύ των ζυγών, τότε θα στέλνετε σήμα ενεργοποίησης σε όλους τους Η/Ν κύριας προστασίας των υπόλοιπων πυλών, που συνδέονται στον ζυγό όπου παρουσιάστηκε το σφάλμα.
- Άλλες προστασίες οι οποίες πρέπει να χρησιμοποιούνται στα σχήματα προστασίας των υποσταθμών ΥΤ-ΥΥΤ, είναι οι προστασίες ανίχνευσης τόξου στους διάφορους πίνακες (ΤΜ, ΙΡΡΜ, CΜ), η προστασία υπερέντασης για τον πίνακα της ΤΜ με ρυθμίσεις Η/Ν σύμφωνα με την προδιαγραφή [19], η προστασία πίνακα (CΜ) σύνδεσης συγκροτήματος πυκνωτών ΜΤ μέσω ενός Η/Ν υπερέντασης φάσεων-γης, με ρυθμίσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές [20], καθώς και τρεις μονοφασικοί Η/Ν υπερέντασης, προστατεύοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις τρεις συστοιχίες πυκνωτών από διάφορες ασυμμετρίες ρεύματος. Οι ρυθμίσεις στους τρεις αυτούς Η/Ν γίνεται με βάση την προδιαγραφή [21]. Όλοι οι Η/Ν λαμβάνουν πληροφορία από

CT's της τάξεως των 40/5 A και ισχύος 20 VA. Να αναφέρουμε πως από τη σύμβαση εξαρτάται το αν θα υπάρχει προστασία υπότασης του ζυγού MT.

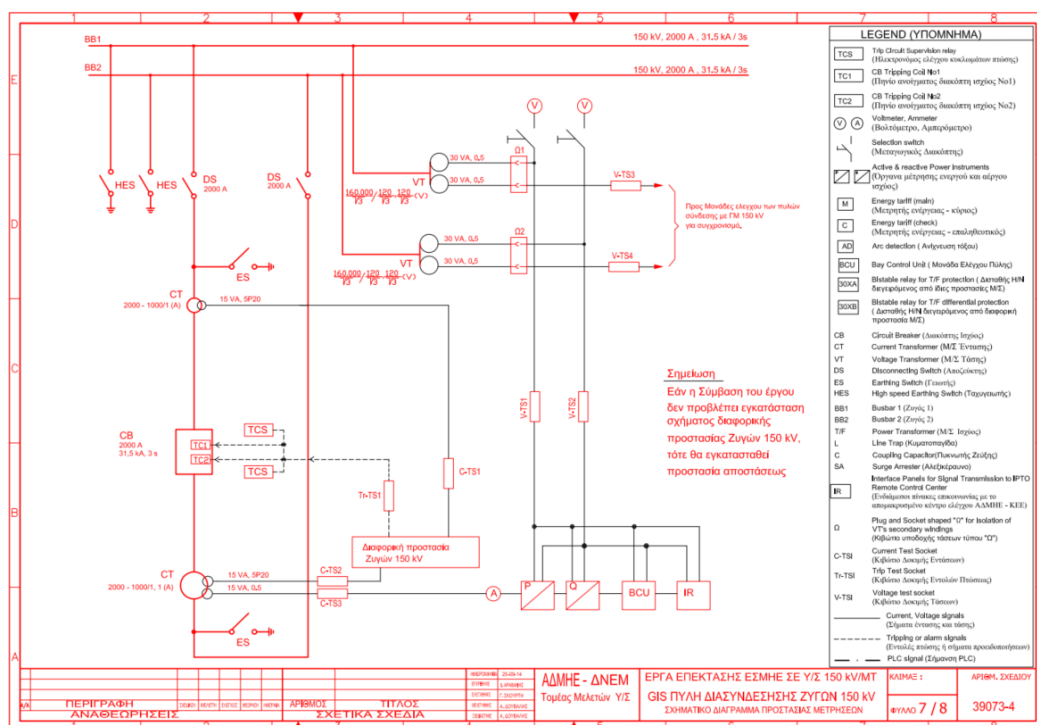


Εικόνα 4-3: Σχήμα προστασίας πύλης Μ/Σ 150kV AIS Υ/Σ [22].

γίνεται παρακολούθηση της θέσης του ΔΙ μετά την εντολή πτώσης του Η/Ν. Αν για ορισμένο χρονικό διάστημα η διέγερση του Η/Ν συνεχίζει να υπάρχει, τότε εκδίδεται σήμα σφάλματος ΔΙ.



Εικόνα 4-5: Σχήμα προστασίας πύλης διασύνδεσης ζυγών 150kV AIS Υ/Σ [25].



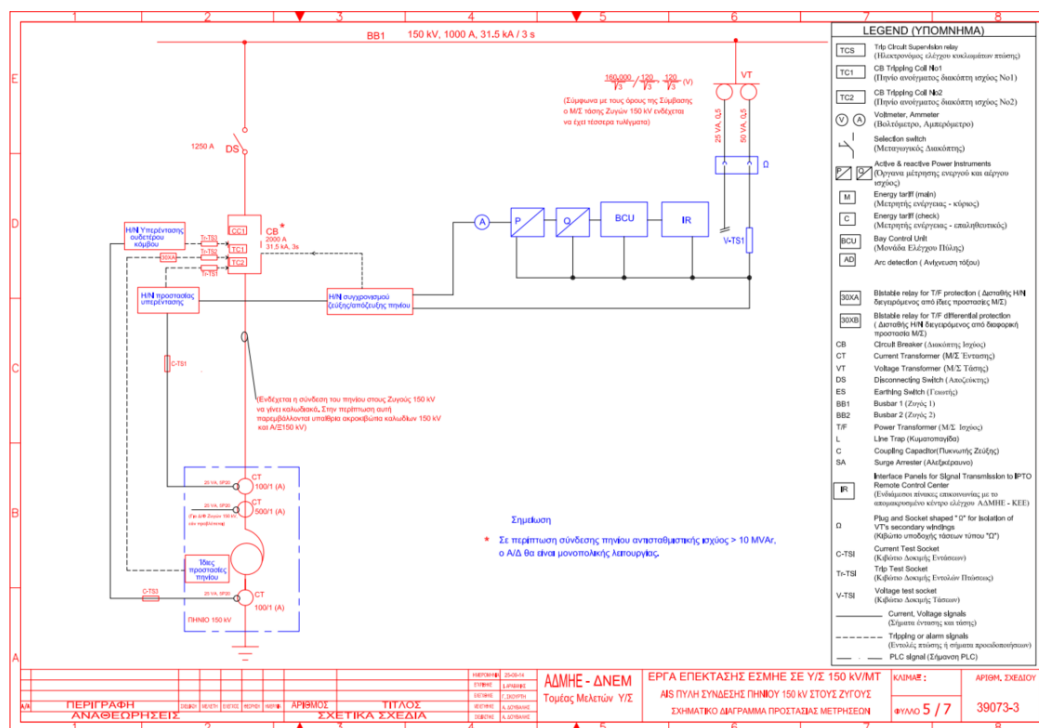
Εικόνα 4-6: Σχήμα προστασίας πύλης διασύνδεσης ζυγών 150kV GIS Y/Σ [26].

4.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΗΝΙΟΥ

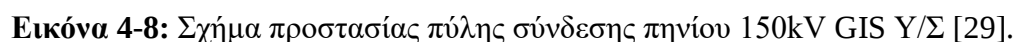
Από την τεχνική περιγραφή για το σχήμα προστασίας προσαρτημένης πύλης πηνίου 150 kV ισχύουν τα εξής [24]:

- Θα αποτελείται από έναν ψηφιακό ηλεκτρονόμο υπερέντασης φάσης και γης, ο οποίος θα διαθέτει και λειτουργία προστασίας έναντι αστοχίας ΔΙ. Ο Η/Ν αυτός θα πρέπει να έχει τις εξής λειτουργίες [27]:
 - Προστασία υπερέντασης φάσεως και γης σταθερού χρόνου με δύο βαθμίδες υψηλής και χαμηλής και κατεύθυνσης για φάση και γη.
 - Προστασία υπερέντασης φάσης και γης αντιστρόφου χρόνου με καμπύλες κατά IEC/IEEE/ANSI.
- Για την προστασία έναντι αστοχίας λειτουργίας του ΔΙ της πύλης, μετά την εντολή από τον παραπάνω Η/Ν και διαπίστωσης αστοχίας ανοίγματος θα δίνεται εντολή στην διαφορική προστασία Ζυγών 150 kV να ενεργοποιηθεί και να απομονώσει το σφάλμα. Αυτό επιτυγχάνεται ανοίγοντας όλους τους ΔΙ οι οποίοι καταλήγουν στον Ζυγό 150 kV όπου παρουσιάστηκε το σφάλμα. Αν δεν υπάρχει σχήμα διαφορικής προστασίας Ζυγών στον Y/Σ, η αστοχία λειτουργίας ΔΙ πύλης θα ενεργοποιεί τους Η/Ν κύριας προστασίας των υπόλοιπων πυλών που συνδέονται στον ίδιο Ζυγό 150 kV.
- Αποτελείται από έναν ψηφιακό ηλεκτρονόμο προστασίας υπερέντασης γης στον ουδέτερο κόμβο του πηνίου, ο οποίος θα τροφοδοτείται από τον Μ/Σ έντασης στον μονωτήρα διέλευσης του ουδέτερου κόμβου του πηνίου.

- Αποτελείται από τις ιδιοπροστασίες του πηνίου 150 kV (Buchholz, θερμοκρασίες κλπ.) οι οποίες θα διεγείρουν έναν βοηθητικό ηλεκτρονόμο που θα οδηγεί το σήμα πτώσης στον ΔΙ 150 kV του πηνίου. Ο Η/Ν αυτός θα είναι δύο καταστάσεων («δισταθής», «lock out») και απαιτείται εντολή «επαναφοράς» για την ενεργοποίηση του μετά από διέγερση. Η εντολή αυτή θα μπορεί να δίνεται και με τηλεχειρισμό.



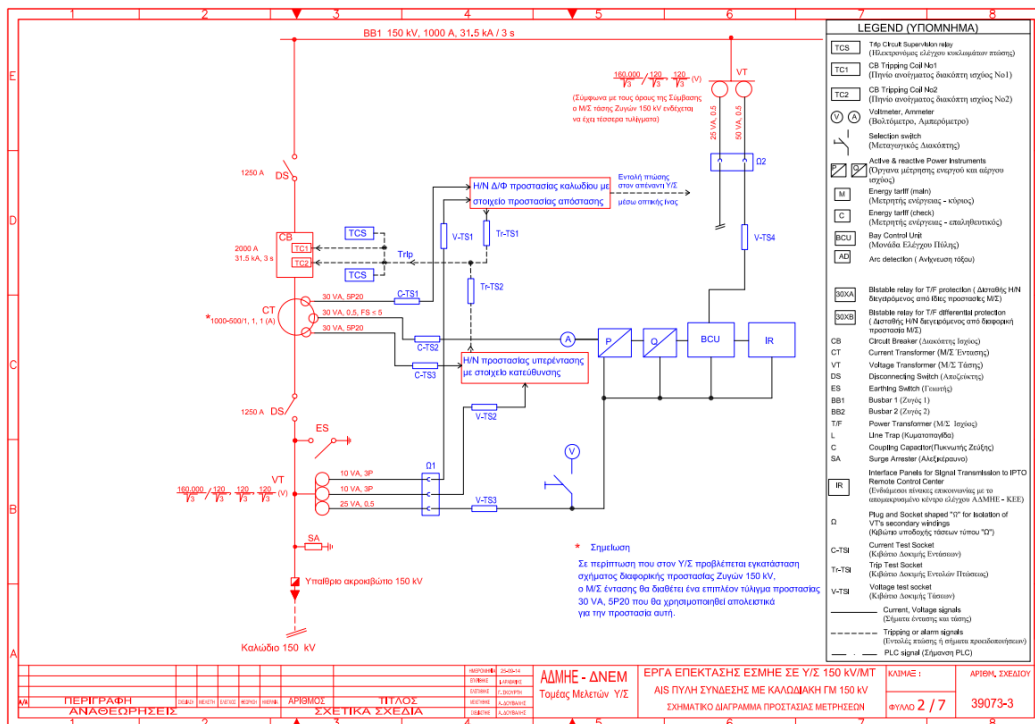
Εικόνα 4-7: Σχήμα προστασίας πύλης σύνδεσης πηνίου στον ζυγό 150kV AIS Υ/Σ [28].



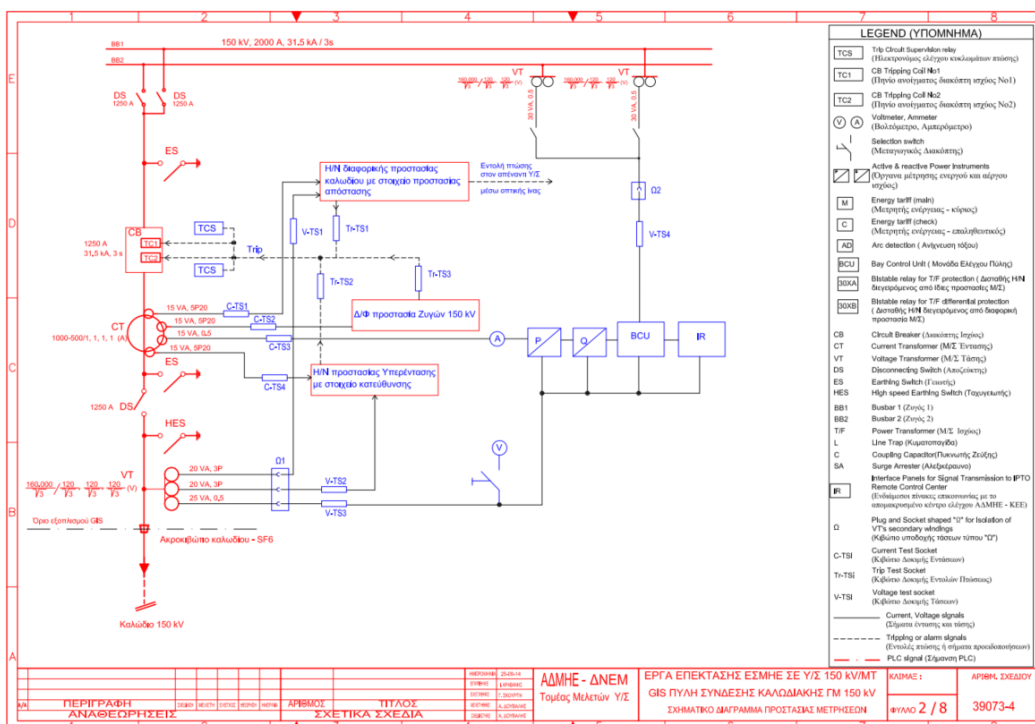
Σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή για το σχήμα προστασίας της πύλης των καλωδιακών γραμμών μεταφοράς ενός υποσταθμού Y/T 150 kV ισχύουν τα παρακάτω:

- 70 | Σ ε λ ί δ α

προστασίες των πυλών, οι οποίες συνδέονται στον ζυγό. Στους υποσταθμούς GIS προβλέπεται η διαφορική προστασία μεταξύ των ζυγών.



Εικόνα 4-9: Σχήμα προστασίας πύλης καλωδιακών ΓΜ 150 kV AIS Υ/Σ [30].

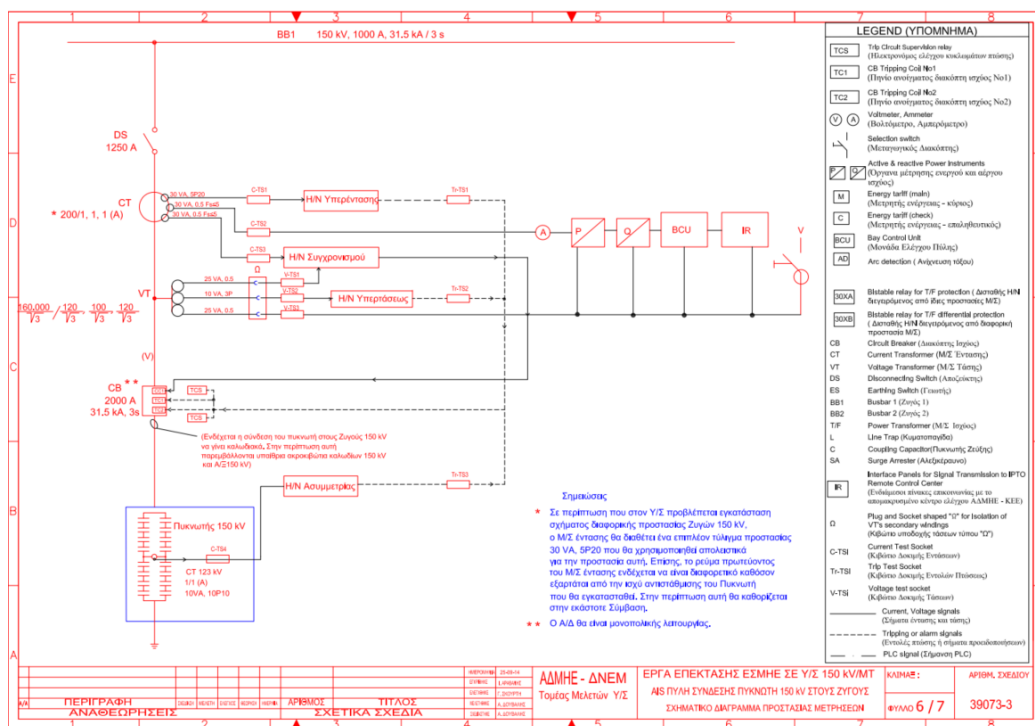


Εικόνα 4-10: Σχήμα προστασίας πύλης καλωδιακών ΓΜ 150 kV GIS Υ/Σ [31].

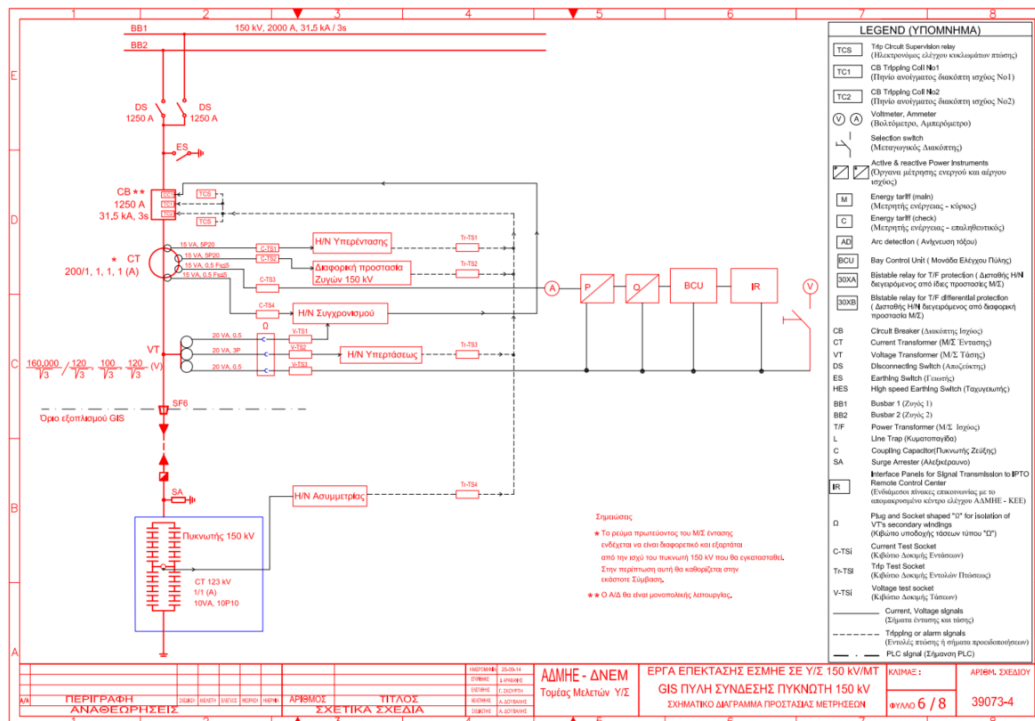
4.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΛΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΠΥΚΝΩΤΩΝ

Σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή για το σχήμα προστασίας της πύλης του συγκροτήματος πυκνωτών στον Ζυγό των 150 kV του Υ/Σ ισχύουν τα παρακάτω [24]:

- Αποτελείται από έναν ψηφιακό ηλεκτρονόμο προστασίας από υπερένταση φάσης και γης και από υπερφόρτιση λόγω διαταραχών τάσης και αρμονικών, καθώς επίσης θα διαθέτει και λειτουργία προστασίας έναντι αστοχίας ΔΙ.
- Για την προστασία έναντι αστοχίας λειτουργίας του ΔΙ της πύλης, μετά την εντολή από τον παραπάνω H/N και διαπίστωσης αστοχίας ανοίγματος θα δίνεται εντολή στην διαφορική προστασία Ζυγών 150 kV να ενεργοποιηθεί και να απομονώσει το σφάλμα. Αυτό το πετυχαίνει ανοίγοντας όλους τους ΔΙ που καταλήγουν στον Ζυγό 150 kV όπου και παρουσιάστηκε το σφάλμα. Αν δεν υπάρχει σχήμα διαφορικής προστασίας Ζυγών στον Υ/Σ, η αστοχία λειτουργίας ΔΙ πύλης θα ενεργοποιεί τους H/N κύριας προστασίας των υπόλοιπων πυλών που συνδέονται στον ίδιο Ζυγό 150 kV.
- Αποτελείται από έναν ψηφιακό ηλεκτρονόμο υπερτάσεως ο οποίος διαθέτει λειτουργία προστασίας έναντι αστοχίας ΔΙ.
- Αποτελείται από ψηφιακό ηλεκτρονόμο προστασίας από ασυμμετρία στο συγκρότημα πυκνωτών 150 kV [32]. Αν ανιχνεύσει ασυμμετρία ρεύματος που αντιστοιχεί σε απώλεια δύο στοιχείων πυκνωτών, τότε ο H/N θα εμφανίζει σήμανση (alarm), ενώ για σφάλμα σε τέσσερα στοιχεία πυκνωτών θα δίνει εντολή πτώσης στον ΔΙ της πύλης.



Εικόνα 4-11: Σχήμα προστασίας πύλης σύνδεσης συγκροτήματος πυκνωτών AIS Υ/Σ [33].



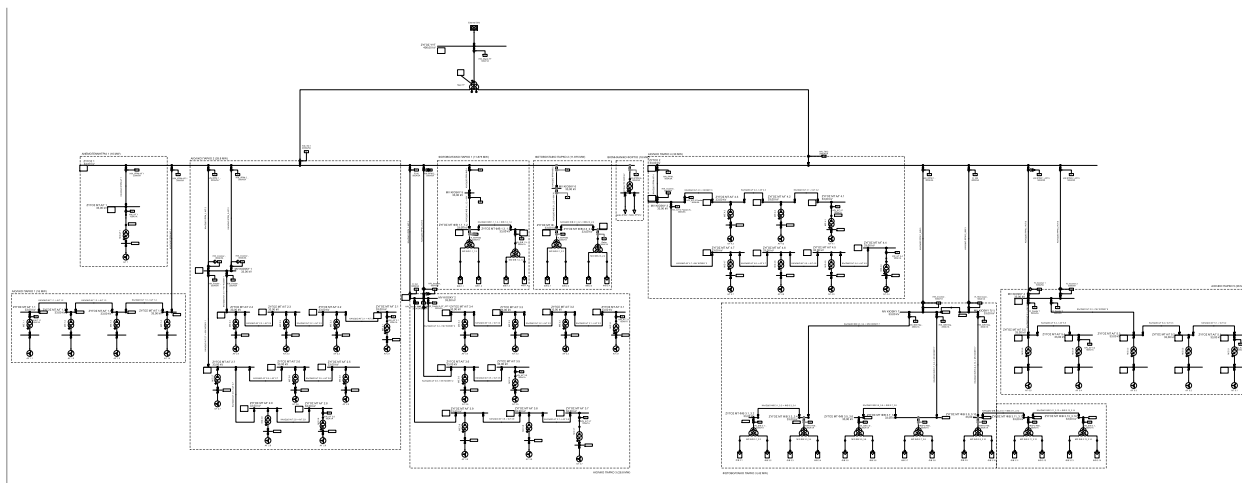
Εικόνα 4-12: Σχήμα προστασίας πύλης σύνδεσης συγκροτήματος πυκνωτών GIS Υ/Σ [34].

Κεφάλαιο 5: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ Υ/Σ 400/33/33 KV ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΠΕ & ΦΟΡΤΙΩΝ

5.1 ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

Παρακάτω (**Εικόνα 5-1**) παρουσιάζεται το δίκτυο που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Το παρακάτω σύστημα είναι πραγματικό και αποτελείται από 8 παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας (αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα) και έναν καταναλωτή (βιομηχανικό φορτίο). Για τη σύνδεση των παραγωγών-καταναλωτών στο δίκτυο μεταφοράς των 400 kV απαιτείται ένας μετασχηματιστής υποβιβασμού της τάσης. Ο μετασχηματιστής που επιλέχτηκε είναι τριών τυλιγμάτων ΥΥΤ/ΜΤ/ΜΤ: ένα τύλιγμα πρωτεύοντος (ζυγός ΥΥΤ 400 kV) και δύο τυλίγματα δευτερεύοντος (ζυγός ΜΤ 33 kV). Με τον τρόπο αυτόν υποβιβάζεται η τάση του συστήματος και χωρίζεται σε δύο επιμέρους συστήματα ΜΤ: Ζυγός 1 - Ζυγός 2. Η συνολική χωρητικότητα του μετασχηματιστή ισχύος είναι 200/100/100 MVA. Παρακάτω αναφέρονται ποια πάρκα συνδέονται στον Ζυγό 1 και Ζυγό 2 ΜΤ:

- **Ζυγός 1:**
 - 1 αιολικό πάρκο μέγιστης χωρητικότητας 16 MW.
 - 1 ανεμογεννήτρια μέγιστης χωρητικότητας 3 MW.
 - 2 αιολικά πάρκα μέγιστης χωρητικότητας 28,8 MW το καθένα.
 - 2 φωτοβολταϊκά πάρκα μέγιστης χωρητικότητας 11,875 MW το καθένα.
 - 1 βιομηχανικό φορτίο μέγιστης απαίτησης 18 MW.
- **Ζυγός 2:**
 - 1 αιολικό πάρκο μέγιστης χωρητικότητας 30 MW.
 - 1 αιολικό πάρκο μέγιστης χωρητικότητας 26 MW.
 - 1 φωτοβολταϊκό πάρκο μέγιστης χωρητικότητας 42 MW.



Εικόνα 5-1: Μονογραμμικό διάγραμμα εξεταζόμενου δικτύου στο λογισμικό DIgSILENT.

5.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Το εξωτερικό δίκτυο των 400 kV παριστάνεται με ένα ισοδύναμο Thevenin το οποίο συνδέεται με το πρωτεύον τύλιγμα του τριπλού μετασχηματιστή 400/33/33 kV και τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στην **Εικόνα 5-2**. Το ισοδύναμο αυτό κύκλωμα αναπαριστά με λίγα λόγια μια ιδανική πηγή τάσης των 400 kV η οποία βρίσκεται σε σειρά με τη σύνθετη αντίσταση Thevenin. Ο ζυγός EHV 400 kV θεωρείται ζυγός ταλάντωσης (Slack bus).

Εικόνα 5-2: Δεδομένα εξωτερικού δικτύου.

Στην παραπάνω εικόνα αναπαρίστανται τα δεδομένα τα οποία απαιτούνται για την μοντελοποίηση του εξωτερικού δικτύου των 400 kV. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η μέγιστη και η ελάχιστη ισχύς βραχυκύκλωσης, το μέγιστο και το ελάχιστο αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (υπομεταβατικό), καθώς και οι σύνθετες αντιστάσεις θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας για τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές βραχυκύκλωσης. Παρακάτω θα γίνει επεξήγηση των δεδομένων αυτών:

- Μέγιστη ισχύ βραχυκύκλωσης ($S''_{k\max}$):

$$S''_{k\max} = \sqrt{3} \cdot I''_{k3p} \cdot U_n \quad (5-1)$$

όπου:

- I''_{k3p} είναι το αρχικό ρεύμα κατά την εκτέλεση τριφασικού βραχυκυκλώματος.
- U_n είναι η ονομαστική τάση στο σημείο σύνδεσης με το εξωτερικό δίκτυο προ του σφάλματος.

Ο όρος της ισχύος βραχυκύκλωσης, όπως φαίνεται και από την εξίσωση (5-1), δεν είναι κάποιο φυσικό μέγεθος, καθώς κατά την διάρκεια ενός τριφασικού βραχυκυκλώματος η τάση του δικτύου είναι σχεδόν μηδενική. Επί της ουσίας αυτός ο όρος μάς δείχνει την αντοχή του εξοπλισμού κατά την εμφάνιση του βραχυκυκλώματος. Να αναφέρουμε εδώ πως όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς βραχυκυκλώσεως, τόσο ισχυρότερο θα είναι και το δίκτυό μας και τούτο προκύπτει εύκολα καθώς αν θέσουμε την τάση $U_n = 1$ α.μ, τότε θα έχουμε:

$$S''_{k\max} = \sqrt{3} \cdot I''_{k3p} \rightarrow S''_{k\max} = \sqrt{3} \frac{1}{Z_{th}} \rightarrow |Z_{th}| = \frac{1}{|S''_{k\max}|} \quad (5-2)$$

- Μέγιστο αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης ($I''_{k\max}$) ή αλλιώς το υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Είναι η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης κατά τη στιγμή που αυτό εμφανίζεται στο δίκτυο.

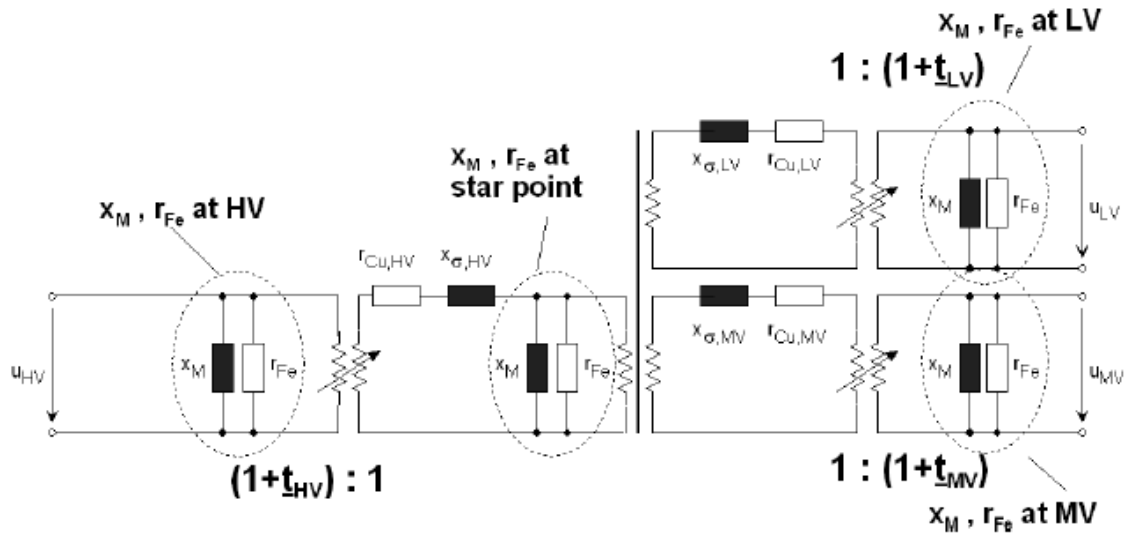
5.1.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Τα δεδομένα του κύριου μετασχηματιστή ισχύος τριπλού τυλίγματος 400/33/33 kV παρουσιάζονται στον παρακάτω **Πίνακας 5-1**. Οι μετασχηματιστές ανύψωσης των αιολικών-φωτοβολταϊκών πάρκων θα παρουσιαστούν παρακάτω στις **υποενότητες 5.1.4 & 5.1.5** αντίστοιχα.

Πίνακας 5-1: Δεδομένα μετασχηματιστή τριπλού τυλίγματος 400/33/33 kV.

Παράμετροι	Τιμές Μετασχηματιστή
Ονομαστική τάση (πρωτεύον τυλίγμα)	400 kV
Ονομαστική τάση (δευτερευόντων τυλιγμάτων)	33/33 kV
Ονομαστική ισχύς	200/100/100 MVA
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	YNyn0-yn0
Τάση βραχυκύκλωσης θετικής ακολουθίας	YT / MT ₁ : 11,5 % YT / MT ₂ : 11,5 %
ΣΑΤΥΦ (στην πλευρά YT – πρωτεύον)	17 taps 1,25%·V _r = 5 V / tap Θέση ουδετέρου tap = 9
Αντιστάσεις γείωσης δευτερευόντων τυλιγμάτων	18,6 Ohm
Απώλειες ονομαστικής λειτουργίας (πρωτεύον)	500 kW
Απώλειες ονομαστικής λειτουργίας (δευτερευόντων)	225 kW το καθένα

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το μοντέλο θετικής ακολουθίας που χρησιμοποιεί το λογισμικό για την προσομοίωση του μετασχηματιστή τριών τυλιγμάτων:



Εικόνα 5-3: Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή τριπλού τυλίγματος [35].

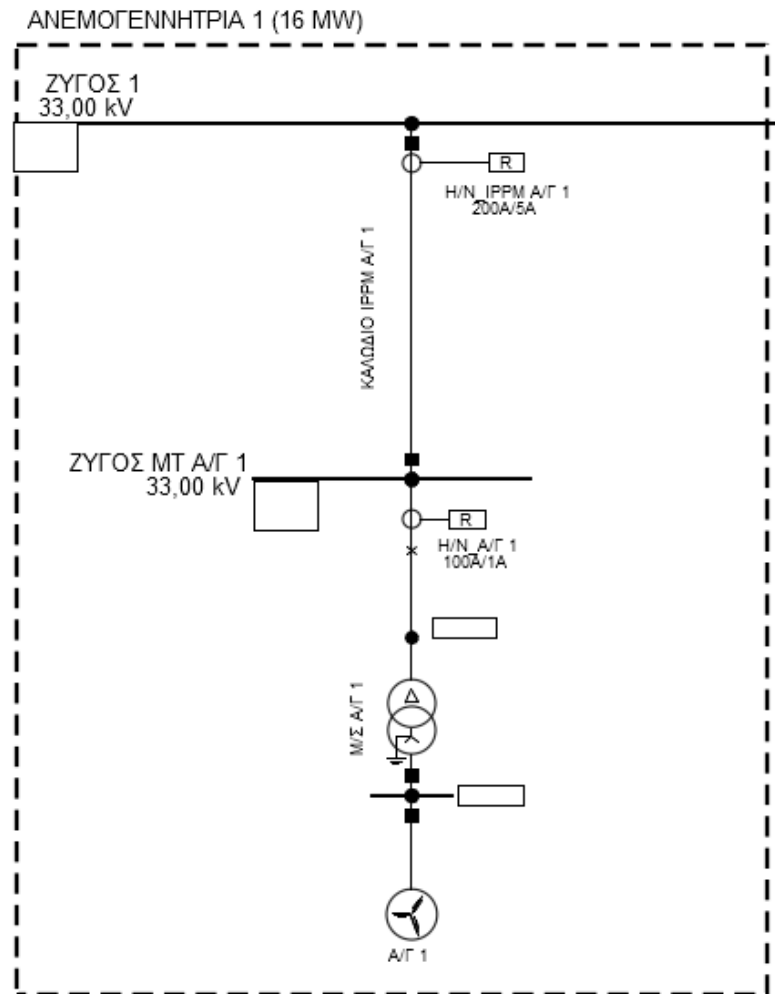
όπου:

- X_m : Αντίδραση μαγνήτισης
- R_{Fe} : Αντίσταση σιδήρου
- X_c : Αντίδραση τυλίγματος (χαλκού)
- R_{Cu} : Αντίσταση τυλίγματος (χαλκού)

5.1.3 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

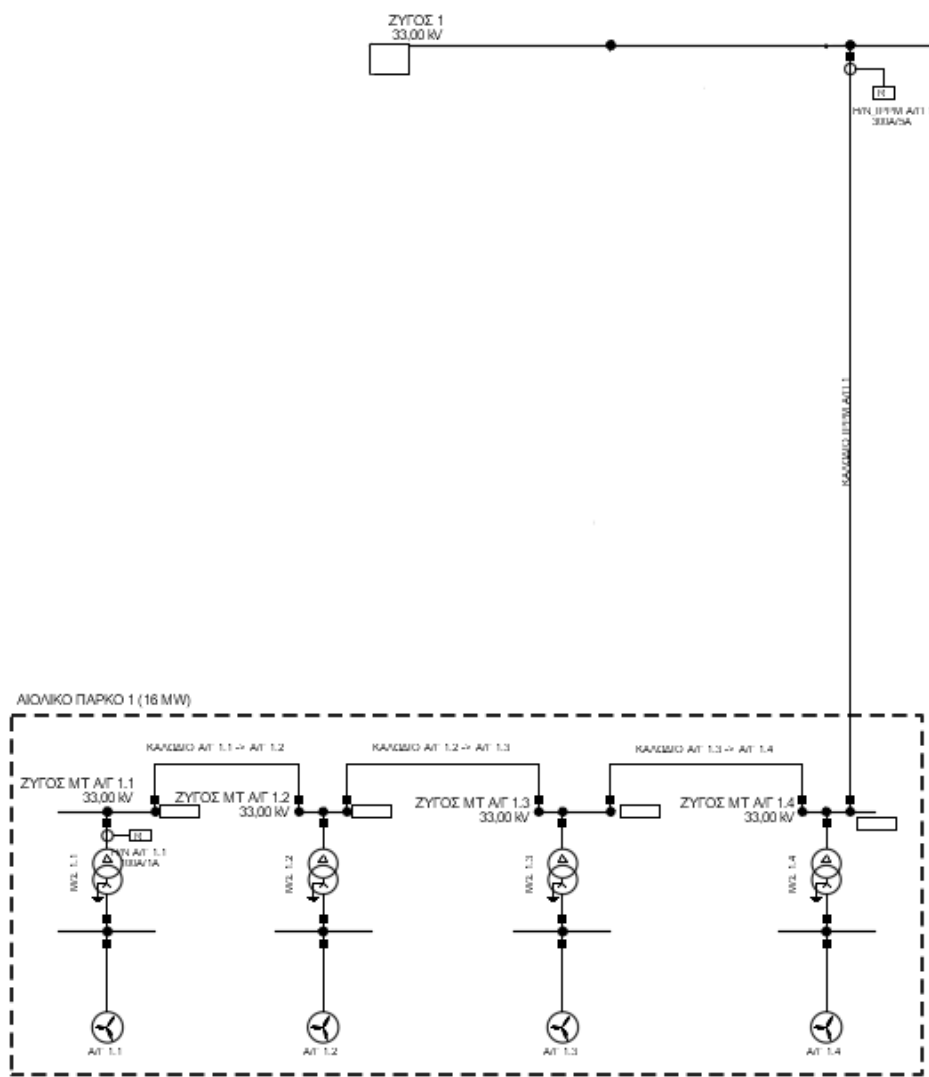
Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος όλου του εξεταζόμενου δικτύου μέχρι και τον κύριο Μ/Σ ισχύος πραγματοποιείται μέσω υπόγειων αγωγών ΜΤ. Οι αγωγοί όλων των πάρκων είναι αλουμινίου (AL/XLPE) και τα χαρακτηριστικά καθενός εξ' αυτών παρουσιάζονται κατωτέρω.

- **Ανεμογεννήτρια 1 (3MW):** Η σύνδεση της ανεμογεννήτριας 1 στο δίκτυο και στον ζυγό της ΜΤ τού ενός τυλίγματος του κύριου Μ/Σ γίνεται μέσω ενός υπόγειου καλωδίου αλουμινίου διατομής 240 mm² και μήκους 6,4 km. Η αποτύπωσή της στο λογισμικό του Power Factory φαίνεται παρακάτω στην **Εικόνα 5-4**.



Εικόνα 5-4: Απεικόνιση ανεμογεννήτριας 1 (3 MW) στο λογισμικό DIGSILENT.

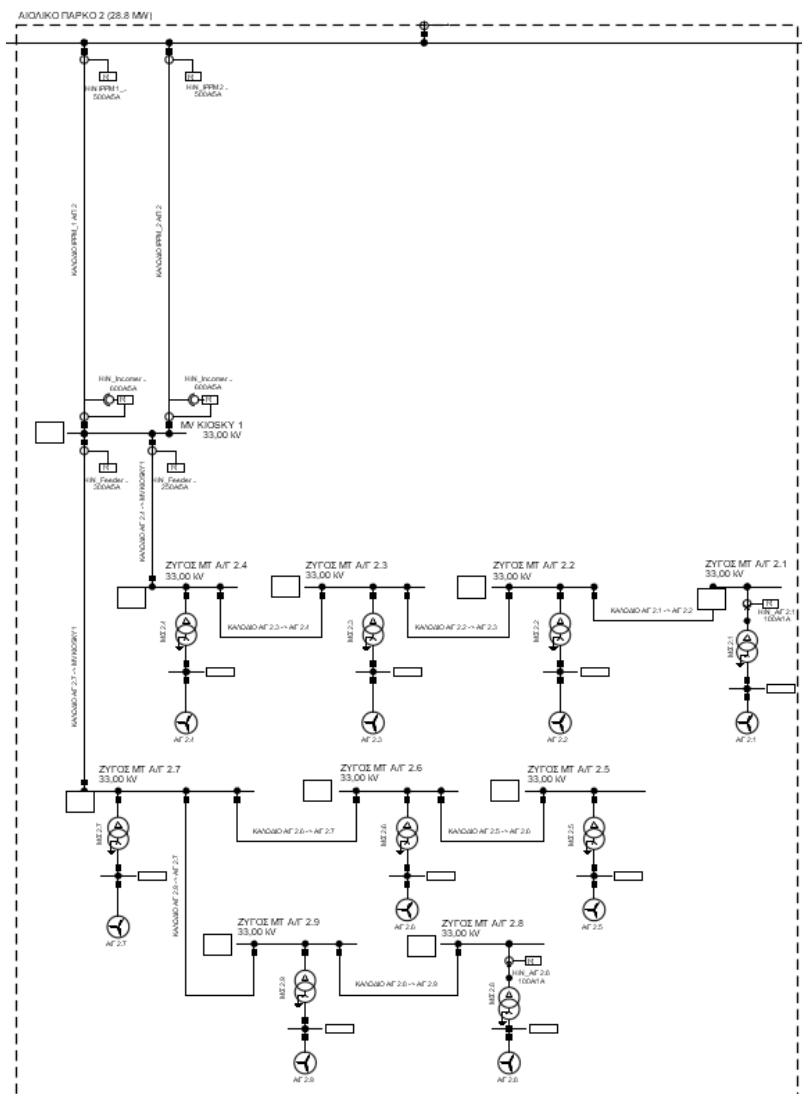
- **Αιολικό πάρκο 1 (16 MW):** Το αιολικό πάρκο 1 φαίνεται στην **Εικόνα 5-5** με τον τρόπο που αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Η σύνδεση των ζυγών ΜΤ των ανεμογεννητριών μεταξύ τους γίνεται με καλώδιο αλουμινίου διατομής 240 mm². Πιο συγκεκριμένα, το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό ΜΤ της Α/Γ 1.1 με τον ζυγό ΜΤ της Α/Γ 1.2 έχει μήκος 640 m, το καλώδιο που συνδέει την ΜΤ της Α/Γ 1.2 με τον ζυγό της ΜΤ της Α/Γ 1.3 έχει μήκος 3,42 km και το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό ΜΤ της Α/Γ 1.3 με τον ζυγό της ΜΤ της Α/Γ 1.4 έχει μήκος 730 m. Τέλος, όλες οι ανεμογεννήτριες συνδέονται μέσω του ζυγού της ΜΤ της Α/Γ 1.4 στον ζυγό 1 ΜΤ μέσω ενός καλωδίου διατομής 400 mm² και μήκους 6,315 km.



Εικόνα 5-5: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 1 (16 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.

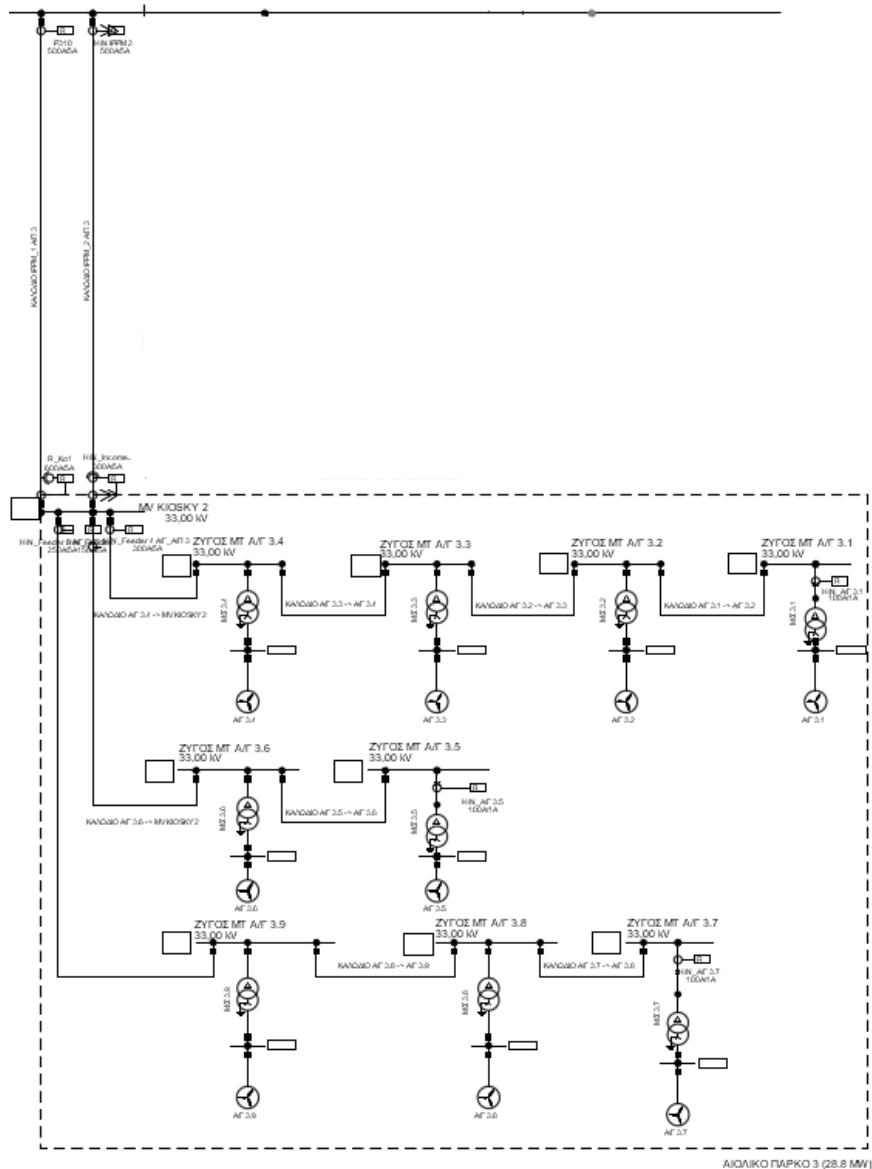
- Αιολικό πάρκο 2 (28,8 MW):** Το αιολικό πάρκο 2 φαίνεται στην **Εικόνα 5-6** με τον τρόπο που αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Αποτελείται από δύο κλάδους εκ των οποίων ο ένας φέρει τέσσερις ανεμογεννήτριες και ο άλλος πέντε. Για τη σύνδεση των ζυγών MT των ανεμογεννητριών μεταξύ τους σε κάθε κλάδο χρησιμοποιείται καλώδιο αλουμινίου διατομής 150 mm². Τα μήκη καλωδίων που χρησιμοποιούνται είναι τα κάτωθι: 600 m για τη σύνδεση του ζυγού MT της Α/Γ 2.1 με τον ζυγό MT της Α/Γ 2.2, 455 m για τη σύνδεση του ζυγού MT της Α/Γ 2.2 με τον ζυγό MT της Α/Γ 2.3 και 800 m για τη σύνδεση του ζυγού MT της Α/Γ 2.3 με τον ζυγό MT της Α/Γ 2.4. Ο κλάδος αυτός, τέλος, συνδέεται με τις τέσσερις ανεμογεννήτριες μέσω ενός καλωδίου διατομής 300 mm² και μήκους 288 m το οποίο φεύγει από τον ζυγό MT της Α/Γ 2.4 και συνδέεται στο KISOKY 1 MT. Όσον αφορά τα μήκη των καλωδίων στον δεύτερο κλάδο με τις 5 ανεμογεννήτριες, το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της Α/Γ 2.5 με τον ζυγό MT της Α/Γ 2.6 έχει μήκος 400 m, το καλώδιο που συνδέει τον

ζυγό MT της A/Γ 2.6 με τον ζυγό MT της A/Γ 2.7 έχει μήκος 835 m, το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 2.8 με τον ζυγό της MT της A/Γ 2.9 έχει μήκος 850 m και το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 2.9 με τον ζυγό MT της A/Γ 2.7 έχει μήκος 1,755 km. Όλες οι ανεμογεννήτριες του κλάδου αυτού συνδέονται μέσω του ζυγού MT της A/Γ 2.7 στο KIOSKY 1 MT, με καλώδιο διατομής 400 mm² και μήκους 2,768 km. Τέλος, από το KIOSKY 1 MT φεύγουν δύο παράλληλες γραμμές διατομής 630 mm² και μήκους 15,25 km η καθεμία, οι οποίες καταλήγουν στην πύλη MT του κύριου μετασχηματιστή ισχύος TM 1 (transformer module), δηλαδή στον ζυγό 1. Οι δύο γραμμές οι οποίες βρίσκονται κάτω από την TM 1 ονομάζονται και IPPM (independent power producer module), είναι δηλαδή οι πύλες του παραγωγού.



Εικόνα 5-6: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 2 (28,8 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.

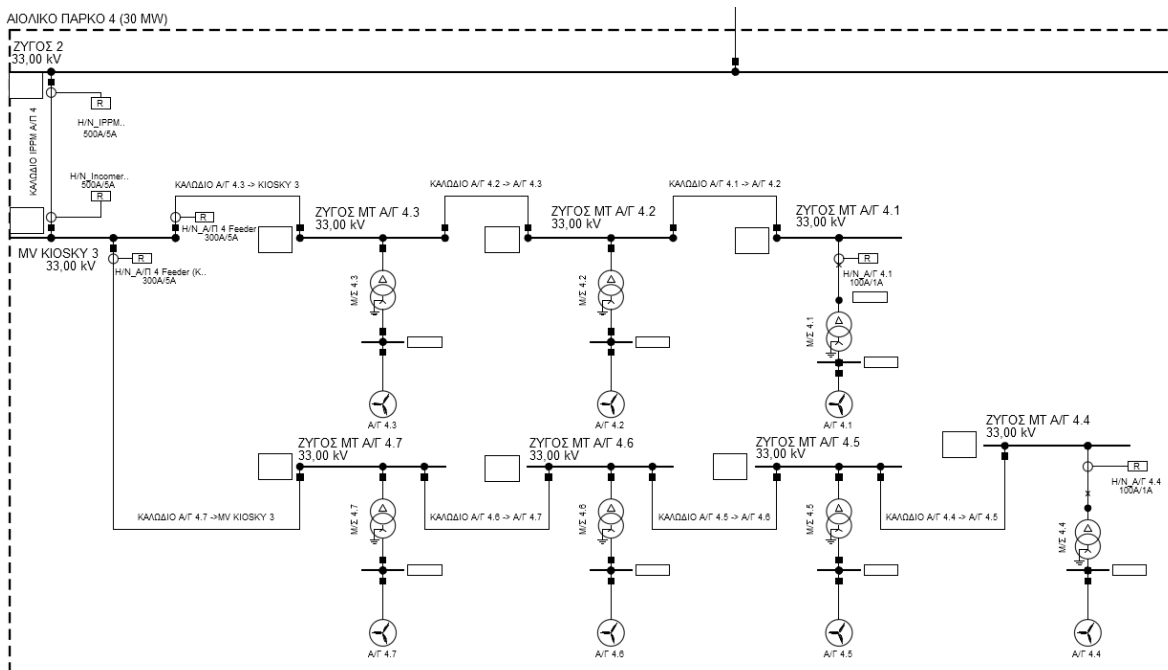
- Αιολικό πάρκο 3 (28,8 MW):** Το αιολικό πάρκο 3 φαίνεται στην **Εικόνα 5-7** με τον τρόπο με τον οποίο αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Το αιολικό πάρκο αυτό απαρτίζεται από τρεις κλάδους οι οποίοι αποτελούνται από τέσσερις, δύο και τρεις ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Για τη σύνδεση των ζυγών MT των ανεμογεννητριών μεταξύ τους, σε κάθε κλάδο, χρησιμοποιούνται καλώδια διατομής 95 mm^2 και 150 mm^2 , ανάλογα με την περίπτωση στην οποία το καλώδιο διατομής 95 mm^2 δεν επαρκεί για την μεταφορά της απαιτούμενης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 3.1 με τον ζυγό MT της A/Γ 3.2 έχει διατομή 95 mm^2 και μήκος 490 m. Το καλώδιο που συνδέει την MT της A/Γ 3.2 με τον ζυγό της MT της A/Γ 3.3 έχει διατομή 95 mm^2 και μήκος 650 m. Το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 3.3 με τον ζυγό της MT της A/Γ 3.4 έχει διατομή 95 mm^2 και μήκος 440 m. Ο κλάδος με τις τέσσερις ανεμογεννήτριες συνδέεται μέσω ενός καλωδίου διατομής 300 mm^2 και μήκους 1,79 km, το οποίο φεύγει από τον ζυγό MT της A/Γ 3.4 στο KIOSKY 2 MT. Όσον αφορά τον δεύτερο κλάδο, το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 3.5 με τον ζυγό MT της A/Γ 3.6 έχει διατομή 95 mm^2 και μήκος 380 m. Οι δύο ανεμογεννήτριες του κλάδου αυτού συνδέονται μέσω του ζυγού της MT της A/Γ 3.6 στο KIOSKY 2 MT, μέσω ενός καλωδίου διατομής 95 mm^2 και μήκους 320 m. Για τα μήκη των καλωδίων του τελευταίου κλάδου, ο οποίος αποτελείται από 3 ανεμογεννήτριες, το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 3.7 με τον ζυγό MT της A/Γ 3.8 έχει διατομή 95 mm^2 και μήκος 560 m. Το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 3.8 με τον ζυγό MT της A/Γ 3.9 έχει διατομή 150 mm^2 και μήκος 950 m. Όλες οι ανεμογεννήτριες του τρίτου κλάδου συνδέονται μέσω του ζυγού MT της A/Γ 3.9 στο KIOSKY 2 MT, διά καλωδίου διατομής 500 mm^2 και μήκους 9,04 km. Τέλος από το KIOSKY 2 MT, στο οποίο όπως αναφέραμε καταλήγουν όλες οι ανεμογεννήτριες, φεύγουν δύο παράλληλες γραμμές διατομής 630 mm^2 και μήκους 26 km η καθεμία και οι οποίες με την σειρά τους καταλήγουν στην TM 1, δηλαδή στον ζυγό 1.



Εικόνα 5-7: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 3 (28,8 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.

- Αιολικό πάρκο 4 (30 MW):** Το αιολικό πάρκο 4 φαίνεται στην **Εικόνα 5-8** με τον τρόπο που αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Το αιολικό πάρκο αυτό αποτελείται από δύο κλάδους οι οποίοι απαρτίζονται από τέσσερις και τρεις ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Για τη σύνδεση των ζυγών MT των ανεμογεννητριών μεταξύ τους, σε κάθε κλάδο, χρησιμοποιούνται καλώδια διατομής 150 mm² και 400 mm² ανάλογα με την περίπτωση στην οποία το καλώδιο διατομής 150 mm² δεν επαρκεί για τη μεταφορά της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, για τον πρώτο κλάδο με τις 4 ανεμογεννήτριες το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της Α/Γ 4.1 με τον ζυγό MT της Α/Γ 4.2 έχει διατομή 150 mm² και μήκος 935 m. Το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της Α/Γ 4.2 με τον ζυγό MT της Α/Γ 4.3 έχει διατομή 150 mm² και μήκος 2,12 km. Ο κλάδος με τις τρεις ανεμογεννήτριες συνδέεται μέσω ενός καλωδίου διατομής 400 mm²

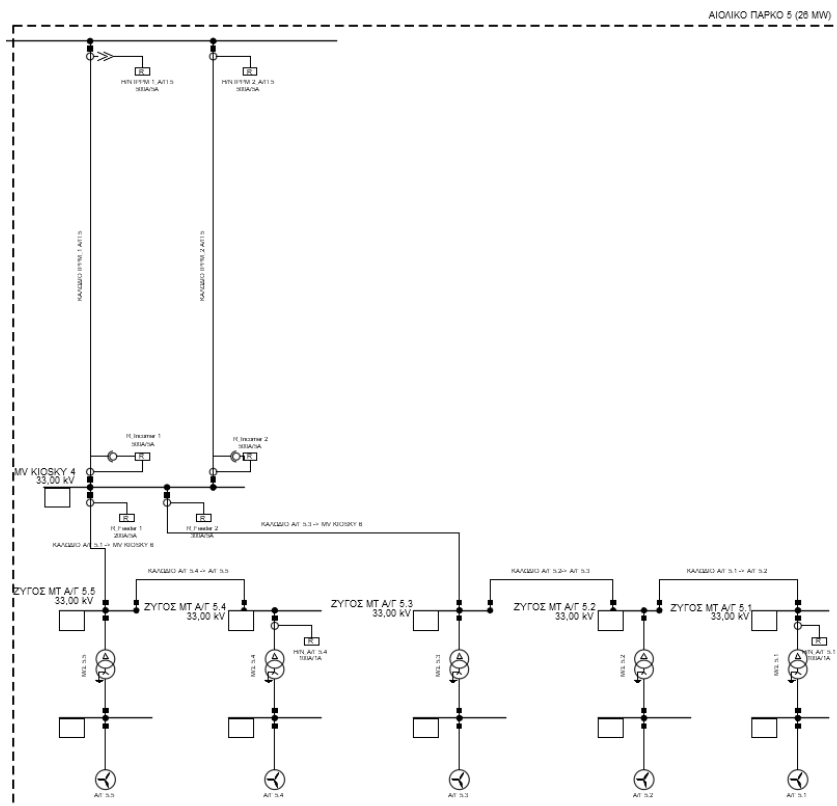
και μήκους 530 m, το οποίο φεύγει από τον ζυγό MT της A/Γ 4.3 στο KIOSKY 3 MT. Όσον αφορά τον δεύτερο κλάδο, ο οποίος αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες, το καλώδιο που συνδέει την MT της A/Γ 4.4 με τον ζυγό MT της A/Γ 4.5 έχει διατομή 150 mm² και μήκος 1,04 km. Το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 4.5 με τον ζυγό MT της A/Γ 4.6 έχει διατομή 150 mm² και μήκος 930 m. Το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 4.6 με τον ζυγό MT της A/Γ 4.7 έχει διατομή 400 mm² και μήκος 1,30 km. Όλες οι ανεμογεννήτριες του δεύτερου κλάδου συνδέονται μέσω του ζυγού MT της A/Γ 4.7 στο KIOSKY 3 MT, με καλώδιο διατομής 400 mm² και μήκους 540 m. Τέλος, από το KIOSKY 3 MT στο οποίο, όπως αναφέραμε, καταλήγουν όλες οι ανεμογεννήτριες, φεύγει ένα καλώδιο διατομής 800 mm² και μήκους 10,50 km και το οποίο με την σειρά του καταλήγει στην ΤΜ 1, δηλαδή στον ζυγό 1.



Εικόνα 5-8: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 4 (30 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.

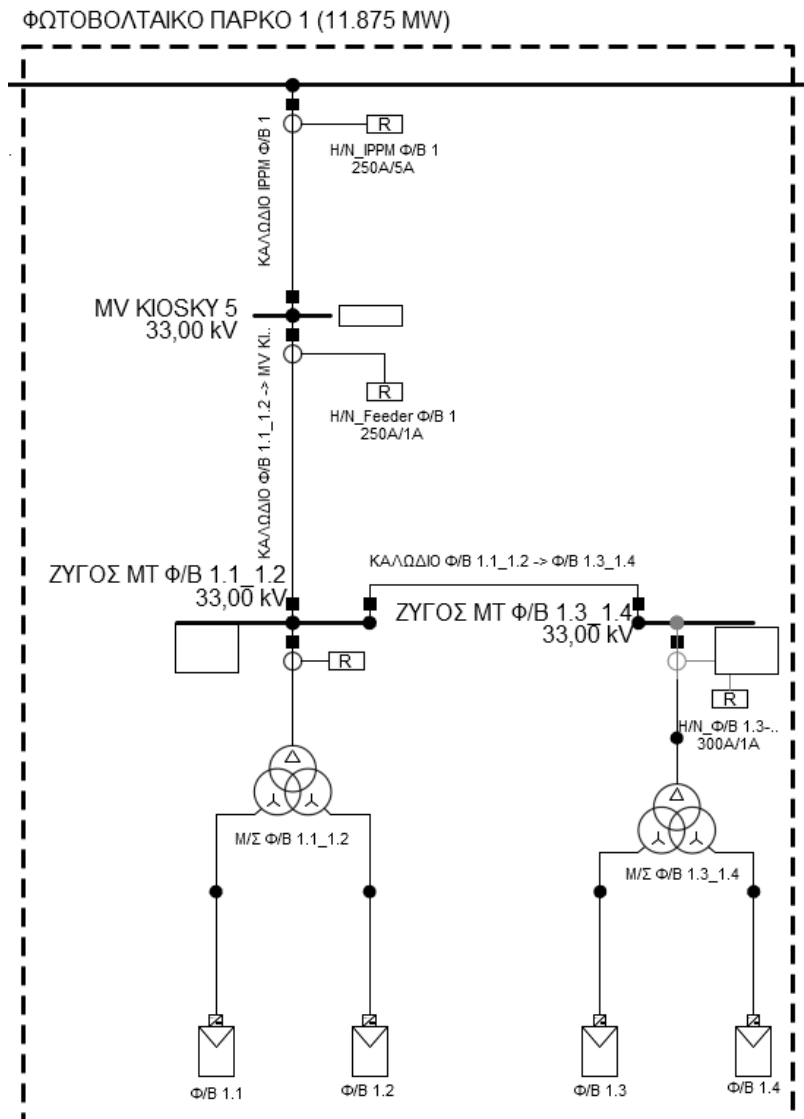
- Αιολικό πάρκο 5 (26 MW):** Το αιολικό πάρκο 5 φαίνεται στην **Εικόνα 5-9** με τον τρόπο που αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Το συγκεκριμένο αιολικό πάρκο αποτελείται από δύο κλάδους οι οποίοι αποτελούνται από δύο και τρεις ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Για τη σύνδεση των ζυγών MT μεταξύ των ανεμογεννητριών, σε καθέναν των κλάδων αυτών, χρησιμοποιούνται καλώδια διατομής 150 mm². Πιο συγκεκριμένα, για τον πρώτο κλάδο με τις τρεις ανεμογεννήτριες το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 5.1 με τον ζυγό MT της A/Γ 5.2 έχει διατομή 150 mm² και μήκος 700 m. Το καλώδιο που συνδέει την MT της A/Γ 5.2 με τον ζυγό της MT της A/Γ 5.3 έχει διατομή 150 mm² και μήκος 1 km. Ο κλάδος με τις τρεις ανεμογεννήτριες συνδέεται μέσω ενός καλωδίου διατομής 400 mm² και μήκους 3,5 km, το οποίο φεύγει από τον ζυγό MT της A/Γ 5.3 στο KIOSKY 4 MT. Όσον αφορά τον δεύτερο κλάδο, ο οποίος αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες, το καλώδιο που συνδέει τον ζυγό MT της A/Γ 5.4 με τον ζυγό MT της A/Γ 5.5 έχει διατομή 150 mm² και μήκος 1 km. Οι 2

ανεμογεννήτριες του δεύτερου κλάδου συνδέονται μέσω του ζυγού MT της Α/Γ 5.5 στο KIOSKY 4 MT, διά ενός καλωδίου διατομής 150 mm^2 και μήκους 1 km. Τέλος, από το KIOSKY 4 MT, στο οποίο όπως αναφέραμε καταλήγουν όλες οι ανεμογεννήτριες, φεύγουν δύο παράλληλες γραμμές διατομής 630 mm^2 και μήκους 16 km η καθεμία και οι οποίες με τη σειρά τους καταλήγουν στην TM 2, δηλαδή στον ζυγό 2.



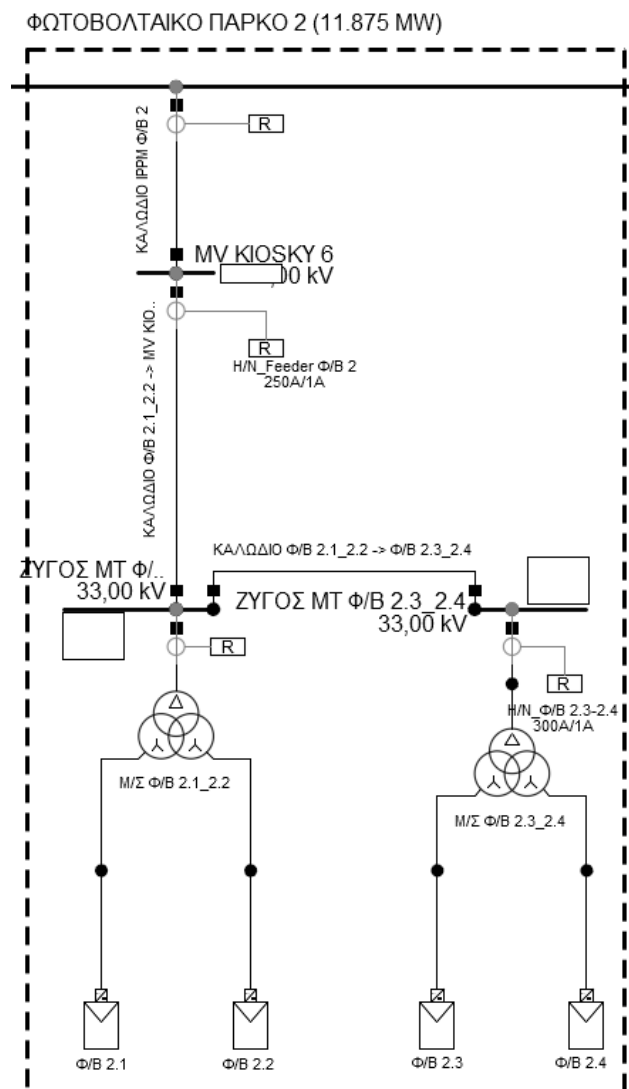
Εικόνα 5-9: Απεικόνιση αιολικού πάρκου 5 (26 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.

- **Φωτοβολταϊκό Πάρκο 1 (11,875 MW):** Το φωτοβολταϊκό πάρκο 1 φαίνεται στην **Εικόνα 5-10** με τον τρόπο που αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Το φωτοβολταϊκό πάρκο αυτό αποτελείται από τέσσερα φωτοβολταϊκά με 16 inverter το καθένα. Τα δύο φωτοβολταϊκά του εν λόγω πάρκου, συνδέονται μεταξύ τους (στην MT) με ένα καλώδιο διατομής 150 mm^2 και μήκους 235 m. Τα δύο φωτοβολταϊκά συνδέονται μέσω της MT του ζυγού των Φ/Β 1.1-1.2 στον KIOSKY 5 MT με ένα καλώδιο διατομής 400 mm^2 και μήκους 2 m. Τέλος από το KIOSKY 5 και μέσω ενός καλωδίου διατομής 400 mm^2 και μήκους 6,113 km τα φωτοβολταϊκά συνδέονται στην TM 1, δηλαδή στον ζυγό 1.



Εικόνα 5-10: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου 1 (11,875 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.

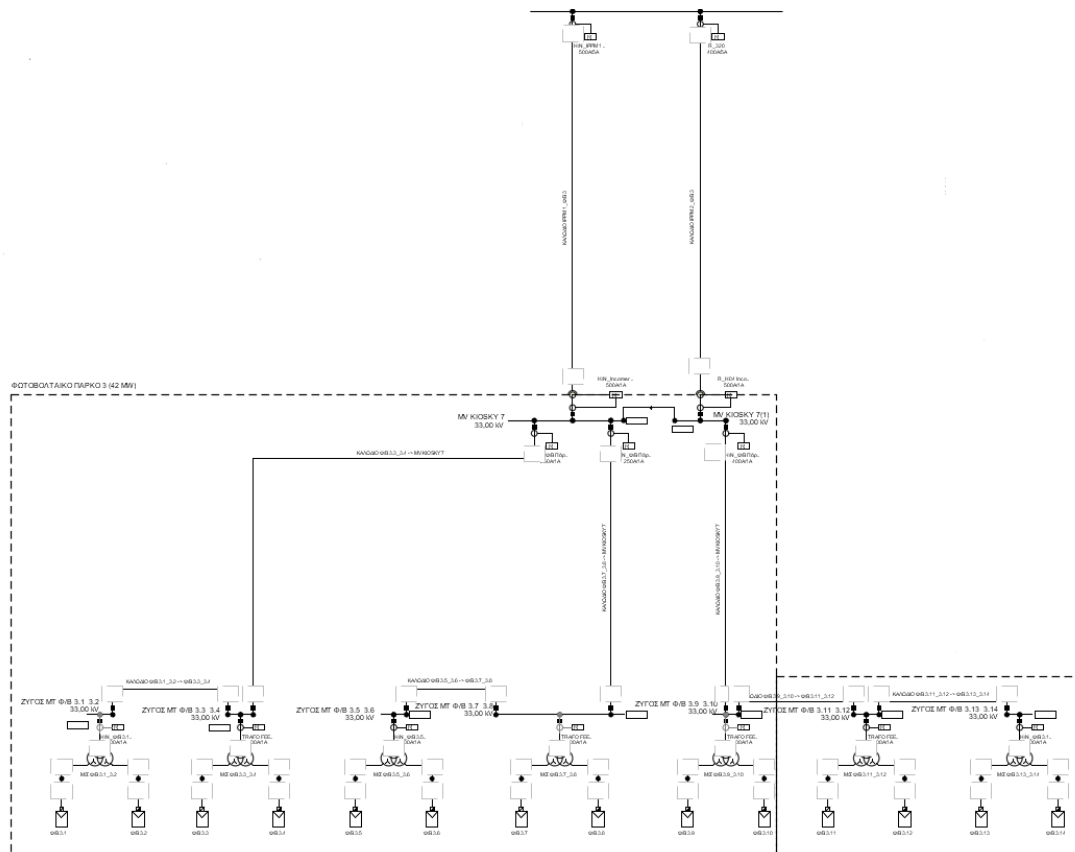
- Φωτοβολταϊκό Πάρκο 2 (11,875 MW):** Το φωτοβολταϊκό πάρκο 2 φαίνεται στην **Εικόνα 5-11** με τον τρόπο που αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Το εν προκειμένω φωτοβολταϊκό πάρκο αποτελείται από 4 φωτοβολταϊκά με 16 inverter το καθένα. Τα 2 φωτοβολταϊκά του συγκεκριμένου πάρκου συνδέονται μεταξύ τους (στην MT) με ένα καλώδιο διατομής 150 mm^2 και μήκους 235 m. Τα δύο φωτοβολταϊκά συνδέονται μέσω της MT του ζυγού των Φ/Β 2.1-2.2 στον KIOSKY 6 MT με ένα καλώδιο διατομής 400 mm^2 και μήκους 2 m. Τέλος από το KIOSKY 6 δι' ενός καλωδίου διατομής 400 mm^2 και μήκους 5,93 km τα φωτοβολταϊκά συνδέονται στην TM 1, δηλαδή στον ζυγό 1.



Εικόνα 5-11: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου 2 (11,875 MW) στο λογισμικό DIgSILENT.

- Φωτοβολταϊκό Πάρκο (42 MW):** Το φωτοβολταϊκό πάρκο 3 φαίνεται στην **Εικόνα 5-12** με τον τρόπο που αποτυπώνεται στο λογισμικό του Power Factory. Το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάρκο αποτελείται από τρεις κλάδους εκ των οποίων οι δύο πρώτοι αποτελούνται από τέσσερα φωτοβολταϊκά και ο κάθε κλάδος αποτελείται συνολικά από εξήντα δύο inverter. Ο τρίτος κλάδος αποτελείται από έξι φωτοβολταϊκά καθένα των οποίων έχει ενενήντα έξι inverter. Τα δύο φωτοβολταϊκά του 1ου κλάδου (Φ/Β 3.1_3.2 και Φ/Β 3.3_3.4) συνδέονται μεταξύ τους μέσω της MT διά καλωδίου διατομής 240 mm² και μήκους 480 m και τέλος τα Φ/Β του 1ου κλάδου μέσω καλωδίου διατομής 240 mm² και μήκους 1,42 km συνδέονται μέσω του ζυγού MT των Φ/Β 3.3_3.4 στο KIOSKY 7 MT. Τα δύο φωτοβολταϊκά του 2ου κλάδου (Φ/Β 3.5_3.6 και Φ/Β 3.7_3.8) συνδέονται μεταξύ των μέσω της MT και δι' ενός καλωδίου διατομής 240 mm² και μήκους 345 m και τέλος τα Φ/Β του 2ου κλάδου μέσω καλωδίου διατομής 240 mm² και μήκους 280 m συνδέονται μέσω του ζυγού

MT των Φ/Β 3.7_3.8 στο KIOSKY 7 MT. Τα φωτοβολταϊκά του 3ου κλάδου Φ/Β 3.9_3.10 και Φ/Β 3.11_3.12 συνδέονται μεταξύ τους μέσω της MT και μέσω ενός καλωδίου διατομής 240 mm² και μήκους 280 m. Τα φωτοβολταϊκά Φ/Β 3.11_3.12 και Φ/Β 3.13_3.14 συνδέονται μεταξύ τους μέσω της MT και με καλώδιο διατομής 240 mm² και μήκους 360 m. Τέλος τα Φ/Β του 3ου κλάδου, μέσω καλωδίου διατομής 400 mm² και μήκους 500 m συνδέονται διά του ζυγού MT των Φ/Β 3.9_3.10 στο KIOSKY 7 MT.



Εικόνα 5-12: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου 3 (42 MW) στο λογισμικό DigSILENT.

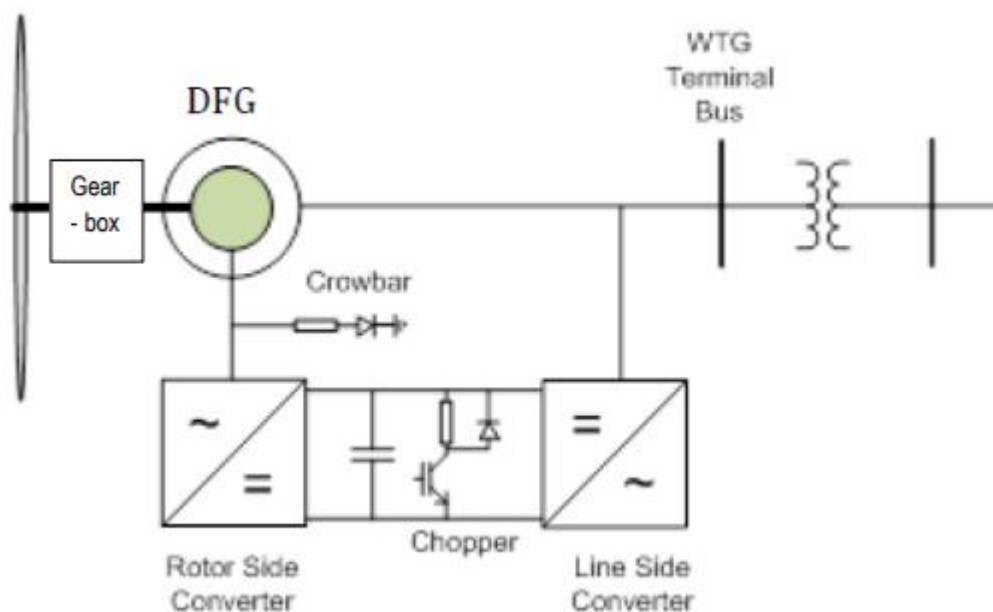
Για την μοντελοποίηση όλων των καλωδίων που αναφέραμε για κάθε πάρκο ξεχωριστά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των οποίων βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 5-2**), έχει επιλεγεί και ένα άλλος παράγοντας ο οποίος είναι ο συντελεστής απομείωσης του καλωδίου και είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ικανότητα των καλωδίων στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Οι συνθήκες που επηρεάζουν αυτόν τον συντελεστή έχουν να κάνουν με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τον τρόπο εγκατάστασης των καλωδίων κ.ά. Για όλα τα καλώδια του δικτύου χρησιμοποιήθηκε ένας τυπικός συντελεστής απομείωσης ίσος με 0,85.

Πίνακας 5-2: Χαρακτηριστικά καλωδίων ΜΤ.

Παράμετροι	Τιμές Καλωδίων							
Διατομή	95 mm ²	150 mm ²	240 mm ²	300 mm ²	400 mm ²	500 mm ²	630 mm ²	800 mm ²
Υλικό Καλωδίου	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al
Μόνωση	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Ονομαστική τάση [kV]	33	33	33	33	33	33	33	33
Ονομαστικό ρεύμα [kA]	0,23	0,322	0,377	0,475	0,485	0,534	0,659	0,677
Ωμική αντίσταση θετικής ακολουθίας – R ₁ [Ohm/km]	0,29	0,206	0,161	0,1081	0,101	0,0605	0,063	0,0502
Επαγωγική αντίδραση θετικής ακολουθίας – X ₁ [Ohm/km]	0,124	0,122	0,1115	0,1022	0,1036	0,09705	0,1	0,01
Ωμική αντίσταση μηδενικής ακολουθίας – R ₀ [Ohm/km]	1,98	1,197	1,479	1,67	1,284	1,32	0,752	0,1506
Επαγωγική αντίδραση μηδενικής ακολουθίας – X ₀ [Ohm/km]	0,07	0,075	0,06	0,048	0,052	0,042	0,0511	0,3
Χωρητικότητα θετικής ακολουθίας – C [μF/km]	0,17	0,193	0,231	0,252	0,275	0,421	0,344	0,37
Χωρητικότητα μηδενικής ακολουθίας – C ₀ [μF/km]	0,17	0,193	0,231	0,252	0,275	0,421	0,344	0,37
Αντοχή ρεύματος καλωδίου σε χρόνο (1s) [kA]	8,9	14,1	22,9	28,7	37,7	47,2	59,5	75,5

5.1.4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ

Οι ανεμογεννήτριες για όλα τα αιολικά πάρκα (εκτός από την ανεμογεννήτρια που συνδέεται ανεξάρτητη στον ζυγό 1 και η οποία διαθέτει σύγχρονη γεννήτρια τύπου Δ, δηλαδή με ρυθμιστή στροφών πλήρους μετατροπέα ισχύος) είναι ίδιου τύπου Γ και διαθέτουν γεννήτρια η οποία είναι ασύγχρονη διπλής τροφοδότησης. Η γεννήτρια αυτή διαθέτει στον στάτη και στον δρομέα από ένα τριφασικό τυλίγμα. Τα τριφασικά τυλίγματα του στάτη όπως και του δρομέα συνδέονται στο δίκτυο, με την διαφορά όμως ότι μεταξύ τριφασικού τυλίγματος δρομέα και δικτύου παρεμβάλλεται ένας AC-DC-AC μετατροπέας ο οποίος θα παρέχει την απαιτούμενη τάση και συχνότητα στον δρομέα. Οι γεννήτριες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα μεγάλα αιολικά πάρκα και ένας από τους κυριότερους λόγους χρήσης των είναι η χαμηλή ισχύς των μετατροπέων τους, καθώς και η ικανότητα των γεννητριών αυτών σε σταθερή τάση και συχνότητα να παράγουν σταθερή ενεργό ισχύ για μεταβλητή ταχύτητα του δρομέα [36]. Όσον αφορά τώρα την άεργο ισχύ τους, αυτή παράγεται μέσω του δρομέα εξασφαλίζοντας έτσι μικρότερες απώλειες. Παρακάτω στην **Εικόνα 5-13** φαίνεται μια ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης.



Εικόνα 5-13: Ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης.

Παρατηρούμε στην **Εικόνα 5-13** ένα DC Chopper κι ένα DC Crowbar. Αυτά τα δύο αποτελούν τα δύο συστήματα προστασίας του back to back μετατροπέα της γεννήτριας, από υπερτάσεις ή υπερεντάσεις τις οποίες δεν μπορεί να αντέξει. Ας δούμε αυτές τις δύο αντιστάσεις πιο αναλυτικά:

- **DC Chopper:** Είναι μια αντίσταση η οποία συνδέεται παράλληλα στον πυκνωτή του μετατροπέα. Σε περίπτωση κάποιου σφάλματος το DC Chopper θα περιορίσει τις υπερτάσεις στο σημείο της DC σύνδεσης και αυτές οι αντιστάσεις θα διαχύσουν την ενέργεια που δεν μπορεί να παραδοθεί στο δίκτυο εξαιτίας του σφάλματος.

- **DC Crowbar:** Είναι μια αντίσταση που συνδέεται στον δρομέα οδηγούμενη από θυρίστορ. Σε περίπτωση σοβαρών βυθίσεων τάσης στο δίκτυο το αποτέλεσμα θα είναι να εμφανιστεί υπερένταση στον δρομέα. Για να εμποδιστεί αυτή η υπερένταση να περάσει στον μετατροπέα θα ενεργοποιηθούν τα θυρίστορ του DC Crowbar, ώστε να επιτραπεί η διέλευση της υπερέντασης μέσα από αυτά και όχι μέσα από τον μετατροπέα [37].

Στους επόμενους πίνακες (**Πίνακας 5-3 – Πίνακας 5-12**) φαίνονται τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών αλλά και των μετασχηματιστών ανύψωσης της τάσης όλων των αιολικών πάρκων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του δικτύου.

– **Αιολικό Πάρκο 1 (16 MW):**

Το αιολικό πάρκο 1 έχει μέγιστη χωρητικότητα 16 MW και αποτελείται από τέσσερις ανεμογεννήτριες και 4 M/Σ ανύψωσης, καθενός του οποίου τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 5-3, Πίνακας 5-4** αντίστοιχα)

Πίνακας 5-3: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ του Α/Π 1.

Ανεμογεννήτριες 1.1 – 1.4	
Τύπος	Επαγωγική διπλής τροφοδότησης (DFIG)
Ονομαστική φαινόμενη ισχύς	4000 kVA
Ονομαστική ενεργός ισχύς	4000 kW
Ονομαστική τάση	6000 V
Ονομαστικό ρεύμα	385 A
Συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$)	1
Μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης i_{WDmax}	1,125 kA
R_{WD} / X_{WD}	0,1
k_{WD}	0,778

Πίνακας 5-4: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης των Α/Γ του Α/Π 1.

Παράμετροι	Τιμές Μετασχηματιστή
Ονομαστική τάση (πρωτεύον τύλιγμα XT)	6 kV
Ονομαστική τάση (δευτερεύον τύλιγμα YT)	33 kV
Ονομαστική ισχύς	4,779 MVA
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	Dyn11
Τάση βραχυκύκλωσης θετικής ακολουθίας	8,5 %
Τάση βραχυκύκλωσης μηδενικής ακολουθίας	8,09%
Απώλειες χαλκού (τυλιγμάτων)	40,4 kW

– **Αιολικό Πάρκο 2 – 3 (28.8 MW το καθένα):**

Υπενθυμίζουμε πως τα δύο αιολικά πάρκα έχουν μέγιστη χωρητικότητα 28.8 MW το καθένα και αποτελούνται από τις ίδιες ανεμογεννήτριες και του ίδιους μετασχηματιστές ανύψωσης. Το κάθε πάρκο διαθέτει εννέα ανεμογεννήτριες και εννέα Μ/Σ των οποίων τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται ξεχωρά στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 5-5 – Πίνακας 5-6** αντίστοιχα).

Πίνακας 5-5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ των Α/Π 2-3.

Ανεμογεννήτριες 2.1 – 2.9/3.1 – 3.9	
Τύπος	Επαγωγική διπλής τροφοδότησης (DFIG)
Ονομαστική φαινόμενη ισχύς	3230 kVA
Ονομαστική ενεργός ισχύς	3200 kW
Ονομαστική άεργος ισχύς	439 kVAr
Ονομαστική τάση	6000 V
Ονομαστικό ρεύμα	310,8 A
Συντελεστής ισχύος (cosφ)	0,99
Μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης i_{WDmax}	0,665 kA
R_{WD} / X_{WD}	0,1
k_{WD}	0,778

Πίνακας 5-6: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης των Α/Γ των Α/Π 2-3.

Παράμετροι	Τιμές Μετασχηματιστή
Ονομαστική τάση (πρωτεύον τύλιγμα XT)	6 kV
Ονομαστική τάση (δευτερεύον τύλιγμα YT)	33 kV
Ονομαστική ισχύς	3,535 MVA
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	Dyn11
Τάση βραχυκύκλωσης θετικής ακολουθίας	7,15 %
Τάση βραχυκύκλωσης μηδενικής ακολουθίας	7,15%
Απώλειες χαλκού (τυλιγμάτων)	29,53 kW

– **Αιολικό Πάρκο 4 (30 MW):**

Το αιολικό πάρκο 4 έχει μέγιστη χωρητικότητα 30 MW και αποτελείται από επτά ανεμογεννήτριες και επτά Μ/Σ ανύψωσης, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται ξεχωριστά στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 5-7 – Πίνακας 5-8** αντίστοιχα).

Πίνακας 5-7: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ του Α/Π 4.

Ανεμογεννήτριες 4.1 – 4.7	
Τύπος	Επαγωγική διπλής τροφοδότησης (DFIG)
Ονομαστική φαινόμενη ισχύς	5300 kVA
Ονομαστική ενεργός ισχύς	4700 kW
Ονομαστική άεργος ισχύς	2422 kVAr
Ονομαστική τάση	690 V
Ονομαστικό ρεύμα	385 A
Συντελεστής ισχύος (cosφ)	0,89
Μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης i_{WDmax} (στην πλευρά YT του Μ/Σ)	0,167 kA
R_{WD} / X_{WD}	0,1
k_{WD}	0,778

Πίνακας 5-8: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Μ/Σ ανύψωσης του Α/Π 4.

Παράμετροι	Τιμές Μετασχηματιστή
Ονομαστική τάση (πρωτεύον τύλιγμα XT)	6 kV
Ονομαστική τάση (δευτερεύον τύλιγμα YT)	33 kV
Ονομαστική ισχύς	5,5 MVA
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	Dyn11
Τάση βραχυκύκλωσης θετικής ακολουθίας	8,52 %
Τάση βραχυκύκλωσης μηδενικής ακολουθίας	8,52%
Απώλειες χαλκού (τυλιγμάτων)	54,75 kW

– **Αιολικό Πάρκο 5 (26 MW):**

Το αιολικό πάρκο 5, θυμίζουμε πως, έχει μέγιστη χωρητικότητα 26 MW, και αποτελείται από πέντε ανεμογεννήτριες και πέντε Μ/Σ ανύψωσης, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται ξεχωριστά στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 5-9, Πίνακας 5-10** αντίστοιχα).

Πίνακας 5-9: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Α/Γ του Α/Π 5.

Ανεμογεννήτριες 5.1 – 5.5	
Τύπος	Επαγωγική διπλής τροφοδότησης (DFIG)
Ονομαστική φαινόμενη ισχύς	5200 kVA
Ονομαστική ενεργός ισχύς	5150 kW
Ονομαστική άεργος ισχύς	0,733 kVAr
Ονομαστική τάση	690 V
Ονομαστικό ρεύμα	4,351 kA
Συντελεστής ισχύος (cosφ)	0,99
Μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης i_{WDmax}	1,08 kA
R_{WD} / X_{WD}	0,1
k_{WD}	0,778

Πίνακας 5-10: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Μ/Σ ανύψωσης των Α/Γ του Α/Π 5.

Παράμετροι	Τιμές Μετασχηματιστή
Ονομαστική τάση (πρωτεύον τύλιγμα XT)	0,69 kV
Ονομαστική τάση (δευτερεύον τύλιγμα YT)	33 kV
Ονομαστική ισχύς	6,6 MVA
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	Dyn11
Τάση βραχυκύκλωσης θετικής ακολουθίας	8 %
Τάση βραχυκύκλωσης μηδενικής ακολουθίας	8 %
Απώλειες χαλκού (τυλιγμάτων)	58 kW

– **Ανεμογεννήτρια 1 (3 MW):**

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5-11, Πίνακας 5-12) παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας η οποία έχει μέγιστη χωρητικότητα 3 MW και η οποία μέσω του μετασχηματιστή ανύψωσής της συνδέεται στη ΜΤ.

Πίνακας 5-11: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Α/Γ 1.

Ανεμογεννήτρια 1	
Τύπος	Full size converter
Ονομαστική φαινόμενη ισχύς	4000 kVA
Ονομαστική ενεργός ισχύς	3000 kW
Ονομαστική τάση	650 V
Ονομαστικό ρεύμα	3,553 kA
Συντελεστής ισχύος (cosφ)	0,879
Συμβολή στο υπομεταβατικό τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης	0,09186 kA
Συμβολή στο υπομεταβατικό διφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης	0,07955 kA
Συμβολή στο υπομεταβατικό μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης	0,09186 kA

Εδώ να αναφέρουμε ότι τα βραχυκυκλώματα αναφέρονται στην πλευρά ΜΤ του μετασχηματιστή ανύψωσης, επομένως και η συμβολή της ανεμογεννήτριας που εμφανίζεται στον

Πίνακας 5-11 αναφέρεται στην πλευρά MT του Μ/Σ ανύψωσης. Οι συμβολές της ανεμογεννήτριας αυτής είναι σαφώς μικρότερες απ’ αυτές της διπλής τροφοδότησης, διότι, όπως αναφέραμε, η τελευταία πρόκειται για ανεμογεννήτρια με μετατροπέα πλήρους γέφυρας και πιο συγκεκριμένα η συμβολή της στο τριφασικό βραχυκύκλωμα είναι περίπου 1.5-2 φορές το ονομαστικό ρεύμα της γεννήτριας [38]. Στην ανεμογεννήτρια που μοντελοποιήσαμε επιλέξαμε μία συμβολή αυτής σε τριφασικό βραχυκύκλωμα, της τάξης του 1,75 φορές του ονομαστικού ρεύματος της γεννήτριας, μετρούμενο στην πλευρά της MT του Μ/Σ ανύψωσης.

Πίνακας 5-12: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ανύψωσης Α/Γ 1.

Παράμετροι	Τιμές Μετασχηματιστή
Ονομαστική τάση (πρωτεύον τύλιγμα XT)	0,65 kV
Ονομαστική τάση (δευτερεύον τύλιγμα YT)	33 kV
Ονομαστική ισχύς	4 MVA
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	Dyn5
Τάση βραχυκύκλωσης θετικής ακολουθίας	9 %
Τάση βραχυκύκλωσης μηδενικής ακολουθίας	9 %
Απώλειες χαλκού (τυλιγμάτων)	27,1 kW

5.1.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΡΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών καθώς και των μετασχηματιστών ανύψωσης όλων των φωτοβολταϊκών πάρκων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του δικτύου.

– Φωτοβολταϊκό πάρκο 1 – 2 (11,875 MW το καθένα):

Σε κάθε τύλιγμα χαμηλής τάσης των τριπλών μετασχηματιστών των φωτοβολταϊκών πάρκων 1-2, συνδέονται φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία συνδέονται με δεκαέξι inverter και των οποίων τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φαίνονται παρακάτω, **Πίνακας 5-13**.

Πίνακας 5-13: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών και inverter.

Φωτοβολταϊκά	
Τύπος	PV
Ονομαστική φαινόμενη ισχύς	3,440 MVA
Ονομαστική ενεργός ισχύς	3,440 MW
Ονομαστική τάση	800 V
Ονομαστικό ρεύμα	2,310 kA
Συντελεστής ισχύος (cosφ)	0,8 επαγωγικό / 0,8 χωρητικό
Συμβολή κάθε inverter στο μέγιστο υπομεταβατικό τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης	155,2 A
Συμβολή κάθε inverter στο μέγιστο υπομεταβατικό μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης	155,2 A
Συμβολή κάθε inverter στο μέγιστο υπομεταβατικό διφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης	134,41 kA

Για τη συμβολή τού κάθε inverter στο βραχυκύκλωμα, αυτό που γνωρίζουμε είναι μόνο το μέγιστο ρεύμα το οποίο μπορεί να δώσει και αυτό παρατηρείται στο μέγιστο υπομεταβατικό τριφασικό σφάλμα. Ο υπολογισμός της συμβολής του κάθε inverter στο μέγιστο υπομεταβατικό διφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης έγινε σύμφωνα με την εξίσωση που βρίσκεται στο IEC 60909:

$$I''_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_k \quad (5-3)$$

– Φωτοβολταϊκό πάρκο 3 (42 MW)

Για το φωτοβολταϊκό πάρκο 3 χρησιμοποιούνται τα ίδια φωτοβολταϊκά όπως και στα πάρκα 1-2 που αναλύσαμε παραπάνω. Η μόνη διαφορά εδώ είναι στα Φ/Β 3.4 και Φ/Β 3.7 τα οποία φαίνονται στην **Εικόνα 5-12** και τα οποία αποτελούνται από δεκατέσσερις inverter, σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα του πάρκου τα οποία αποτελούνται από δεκαέξι. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά θα είναι τα ίδια με αυτά που φαίνονται στον παραπάνω πίνακα (**Πίνακας 5-13**).

5.2 ΕΛΑΧΙΣΤΑ/ΜΕΓΙΣΤΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Απαιτούμενη μελέτη για την ρύθμιση των H/N του συστήματος προστασίας αλλά και για την επιλογή του διακοπτικού εξοπλισμού, είναι η μελέτη των βραχυκυκλωμάτων. Τα βραχυκυκλώματα αυτά διακρίνονται σε ελάχιστα και μέγιστα.

Για τον υπολογισμό των ελάχιστων βραχυκυκλωμάτων το λογισμικό Power Factory χρησιμοποιεί τις ακόλουθες παραμέτρους οι οποίες βασίζονται στο πρότυπο IEC 60909:

- Οι συνεισφορές στο εξεταζόμενο ελάχιστο βραχυκύκλωμα όλων των ανεμογεννητριών θεωρούνται αμελητέες.
- Οι συνεισφορές όλων των φωτοβολταϊκών στο εξεταζόμενο ελάχιστο βραχυκύκλωμα θεωρούνται αμελητέες.
- Οι αντιστάσεις R_L όλων των γραμμών (εναέριες γραμμές και καλώδια, αγωγοί γραμμής και αγωγοί ουδετέρου) εισάγονται στην υψηλότερη θερμοκρασία
$$R_L = [1 + \alpha \cdot (\theta_e - 20^\circ C)] \cdot R_{L20}$$
- Οι συντελεστές διόρθωσης των σύνθετων αντιστάσεων θα πρέπει να είναι ίσες με 1.
- Επιλέγουμε τη διαμόρφωση του συστήματος και την ελάχιστη συνεισφορά από τις μονάδες του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και τροφοδοτών που οδηγούν στην ελάχιστη τιμή του βραχυκυκλώματος στη θέση του βραχυκυκλώματος.

Για τον υπολογισμό των μέγιστων βραχυκυκλωμάτων το λογισμικό Power Factory χρησιμοποιεί, αντίστοιχα και στην περίπτωση αυτή, τις ακόλουθες παραμέτρους οι οποίες βασίζονται στο πρότυπο IEC 60909:

- Οι συνεισφορές ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών λαμβάνονται υπόψιν.
- Οι αντιστάσεις R_L όλων των γραμμών (εναέριων και καλωδίων) θα πρέπει να δίνονται στην θερμοκρασία των $20^\circ C$.
- Οι συντελεστές διόρθωσης των σύνθετων αντιστάσεων εισάγονται στο σύστημα θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας με εξαίρεση τις σύνθετες αντιστάσεις μεταξύ ουδετέρου σημείου και γης.
- Επιλέγουμε τη διαμόρφωση του συστήματος και τη μέγιστη συνεισφορά από τις μονάδες του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και τροφοδοτών που οδηγούν στη μέγιστη τιμή του βραχυκυκλώματος στη θέση του βραχυκυκλώματος.

Τα ελάχιστα και τα μέγιστα βραχυκυκλώματα που υπολογίστηκαν σε όλους τους ζυγούς του συστήματος και χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των ρυθμίσεων των Η/Ν όλων των πάρκων, παρουσιάζονται στον πίνακες στο **Κεφάλαιο 6**.

5.3 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ

Οι Η/Ν, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, θα πρέπει πρώτα να προστατεύουν από βραχυκυκλώματα, τα εξαρτήματα τα οποία εμπίπτουν εντός της ζώνης προστασίας τους, και εν συνεχεία να έχουν επιλογική συνεργασία με τους υπόλοιπους Η/Ν του σχήματος προστασίας, ώστε αν ένας δεν καταφέρει να λειτουργήσει, να ενεργοποιηθεί ο επόμενος κατά σειρά.

Παρακάτω θα αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο εξήχθησαν οι ρυθμίσεις των Η/Ν όλων των πάρκων ξεχωριστά, καθώς επίσης θα παρουσιάσουμε και τις χαρακτηριστικές καμπύλες αυτών.

5.3.1 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 1

Το αιολικό πάρκο 1 διαθέτει έναν Η/Ν σε κάθε μετασχηματιστή ανύψωσης των ανεμογεννητριών, ο οποίος αποτελεί την κύρια προστασία του μετασχηματιστή ανύψωσης, και ταυτοχρόνως λειτουργεί σαν backup προστασία σε περίπτωση σφάλματος στον ζυγό χαμηλής τάσης της ανεμογεννήτριας. Τέλος, διαθέτει και έναν ηλεκτρονόμο στην πύλη παραγωγού IPPM, η οποία αποτελεί κύρια προστασία όλων των καλωδίων MT, από την πλευρά MT του Μ/Σ έως και τον Ζυγό 1.

Οι Η/Ν των Μ/Σ ανύψωσης των Α/Γ 1.1-1.4 είναι υπερέντασης και πιο συγκεκριμένα ο τύπος τους είναι ο REF 615 της ABB. Τα στοιχεία φάσης τους ρυθμίστηκαν με ένα στάδιο αντιστρόφου χρόνου (IDMT) ενώ το στοιχείο γης ρυθμίστηκε με ένα στάδιο ορισμένου χρόνου (definite time). Η ρύθμιση της IDMT για το στοιχείο φάσης έγινε με τέτοιον τρόπο ώστε να επιτρέπεται υπερφόρτιση του Μ/Σ, ίσης με 20% [39]. Επομένως, ρυθμίσαμε την IDMT στο 120% του ονομαστικού ρεύματος του Μ/Σ ανύψωσης στην πλευρά της MT, το οποίο είναι ίσο με 86,1 A και υπολογίστηκε από την εξίσωση 5-4.

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (5-4)$$

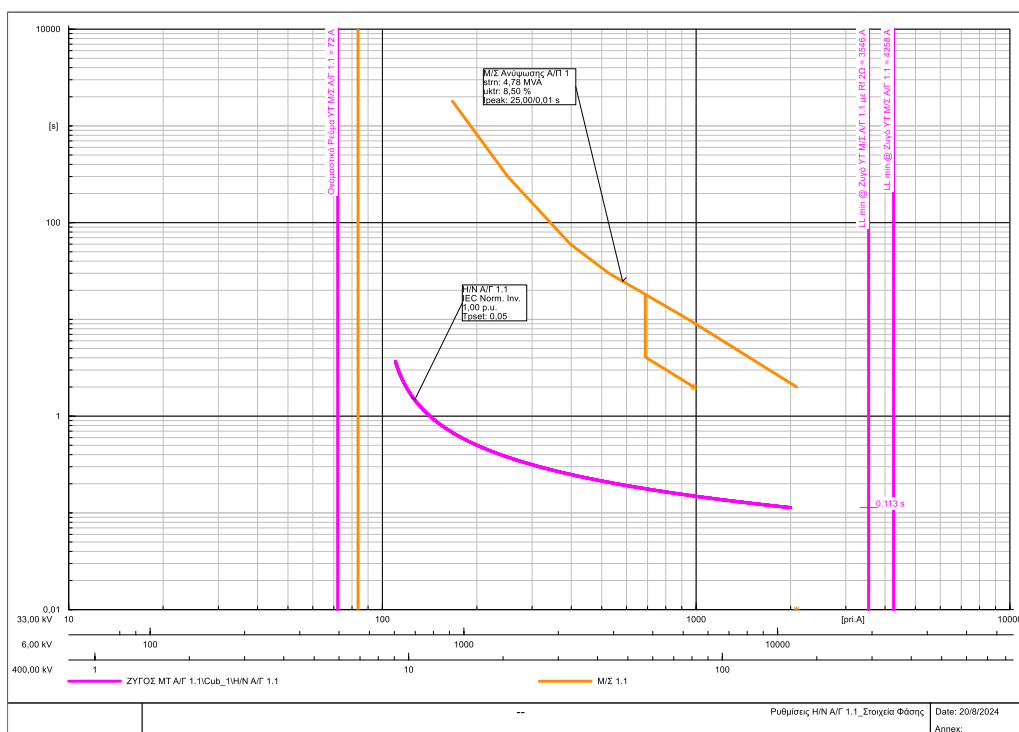
Όσον αφορά τώρα το στοιχείο γης του Η/Ν το οποίο αποτελείται από ένα στάδιο definite time, ρυθμίστηκε με βάση το ελάχιστο ρεύμα από τα ελάχιστα βραχυκυκλώματα προς γη. Το ελάχιστο αυτό ρεύμα το ανιχνεύει ο Η/Ν κατά τη διάρκεια διφασικού βραχυκυκλώματος προς γη. Εδώ να αναφέρουμε πως οι Η/Ν μετράνε στα στοιχεία γης τους, ρεύμα $3 \cdot I_0$ και ρυθμίζονται σύμφωνα με αυτό. Στην περίπτωσή μας, το ελάχιστο ρεύμα σφάλματος ισούται με $3 \cdot I_0 = 428$ A και το στοιχείο της definite time το ορίσαμε στο 50% αυτού. Ο λόγος γι' αυτή την ευαισθησία που επιλέγουμε να έχει ο Η/Ν και την οποία επιλέξαμε για όλους του Η/Ν σε όλα τα πάρκα και για τα στοιχεία φάσης αλλά και για τα στοιχεία γης, προκύπτει από το γεγονός ότι για σφάλμα αντίστασης 10Ω , θέλουμε αυτό να ανιχνεύεται από το στοιχείο γης του Η/Ν. Επομένως, με τον τρόπο αυτό προβλέπονται και οι αντιστάσεις σφάλματος, όπως και τυχόν σφάλματα που μπορεί να υπάρξουν από τις

μετρήσεις των μετασχηματιστών έντασης. Οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται και αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5-14).

Πίνακας 5-14: Ρυθμίσεις H/N M/Σ ανύψωσης A/Γ 1.1-1.4

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			100A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	100 A (πρωτ)
		Time dial	0,05
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	214 A (πρωτ)
		Time dial	0,11 s

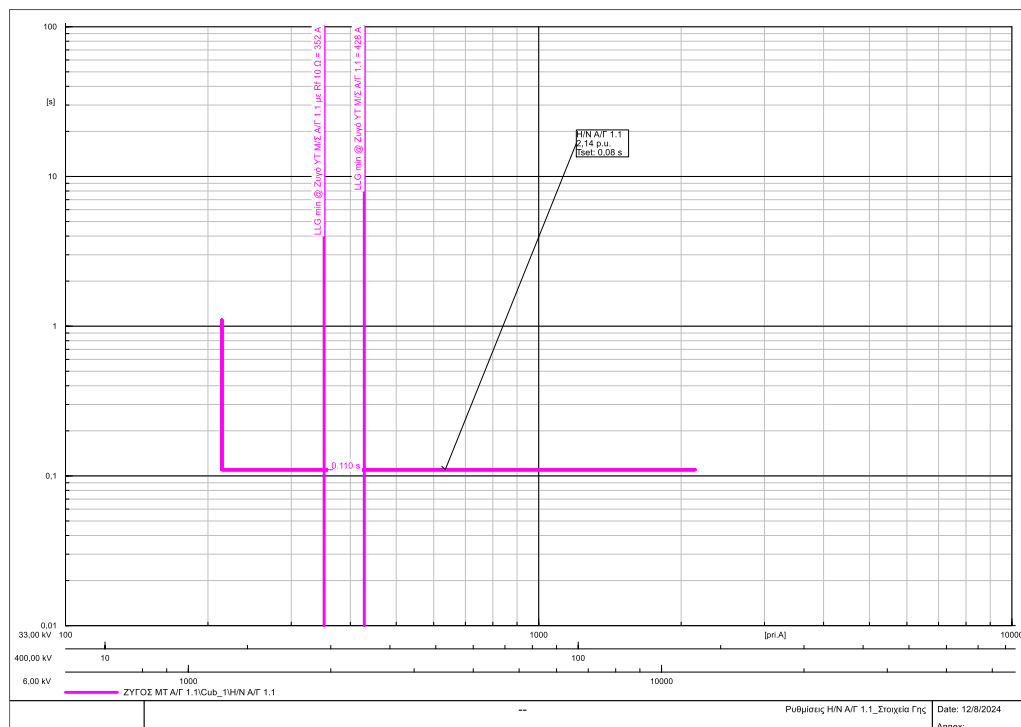
Παρακάτω (Εικόνα 5-14) φαίνεται το στάδιο της αντιστροφής χρόνου (IDMT) του H/N της A/Γ 1.1 για τα στοιχεία φάσης και το damage curve του M/Σ ανύψωσής της. Παρατηρούμε από το damage curve του M/Σ ότι αυτός προστατεύεται καλά, καθώς η χαρακτηριστική καμπύλη βρίσκεται πολύ πιο κάτω από τα καταστρεπτικά για τον μετασχηματιστή ρεύματα. Τέλος, οι κάθετες που παρουσιάζονται είναι το ελάχιστο διφασικό σφάλμα χωρίς γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N που είναι 4258 A και το ελάχιστο διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη με μια τυπική αντίσταση σφάλματος για διφασικό σφάλμα χωρίς γη $R_f = 2 \Omega$ που είναι 3546 A [40].



Εικόνα 5-14: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/Γ 1.1.

Αξίζει να αναφερθεί πως με την συγκεκριμένη χαρακτηριστική καμπύλη, δεν αναμένουμε να ενεργοποιηθεί η προστασία σε περιπτώσεις φόρτισης του M/Σ, όπου εμφανίζεται το inrush ρεύμα.

Για το στοιχείο γης του H/N το οποίο αποτελείται από μια χαρακτηριστική καμπύλη ορισμένου χρόνου φαίνεται παρακάτω **Εικόνα 5-15**. Επίσης, στην εικόνα αυτή παρουσιάζονται με κάθετες το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N της A/T 1.1, καθώς και το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και με αντίσταση σφάλματος για την οποία βάλαμε μια τυπική τιμή $R_f = 10 \, \Omega$ η οποία ισχύει για σφάλματα με γη [40]. Από την χαρακτηριστική καμπύλη τώρα αποδεικνύεται και αυτό που αναφέραμε παραπάνω, πως, δηλαδή, με τη ρύθμιση της definite time στο 50% του ελαχίστου ρεύματος βραχυκύκλωσης προβλέπουμε και την περίπτωση της αντίστασης σφάλματος.



Εικόνα 5-15: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/T 1.1.

Ο H/N της IPPM ο οποίος όπως προαναφέραμε είναι ο κύριος υπεύθυνος για την προστασία όλων των καλωδίων και των ζυγών MT του αιολικού πάρκου 1, είναι της Schneider ο P132 και για τα στοιχεία φάσης έχει ρυθμιστεί με ένα συνδυασμό αντιστρόφου και ορισμένου χρόνου και το στοιχείο γης του με μια καμπύλη ορισμένου χρόνου. Για τα στοιχεία φάσης, το στάδιο της αντιστρόφου χρόνου ρυθμίστηκε στο 140% του ονομαστικού ρεύματος το οποίο διαπερνά το καλώδιο IPPM A/Π 1 και το οποίο είναι 281 A, με σκοπό να επιτρέπεται μια υπερφόρτιση της τάξης του 40%, μιας και το όριο είναι 120-150% του ονομαστικού [9]. Η ρύθμιση αυτή δεν πρόκειται να οδηγήσει σε υπερφόρτιση τους εξοπλισμούς εντός της κύριας ζώνης προστασίας του H/N. Ωστόσο οι H/N που βρίσκονται στην YT των M/Σ ανύψωσης (33 kV) έχουν ρυθμιστεί, ώστε να επιτρέπουν μέχρι 20% φόρτιση του M/Σ, το οποίο μεταφράζεται περίπου στο 140% του ονομαστικού ρεύματος κανονικής λειτουργίας που είναι 70 A κι έτσι με τον τρόπο αυτόν δεν θα επιτρέψουν να περάσουν ρεύματα πάνω από αυτό το όριο. Για το στάδιο της definite time εκτελέσαμε ελάχιστο διφασικό σφάλμα, το οποίο παρουσιάζει το ελάχιστο ρεύμα από τα ελάχιστα

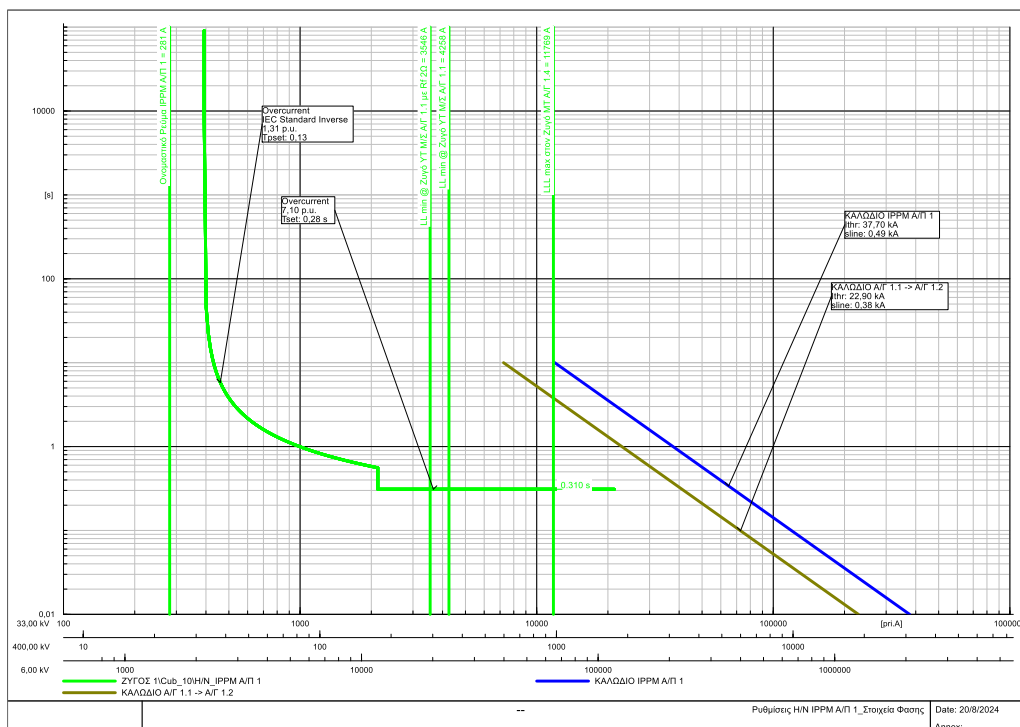
βραχυκυκλώματα, στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης Α/Γ 1.1 τον οποίο θα πρέπει να προστατεύει. Το ελάχιστο αυτό βραχυκύκλωμα που ανιχνεύει ο Η/Ν είναι 4258 A και η χαρακτηριστική καμπύλη της definite ορίστηκε στο 50% αυτού για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε παραπάνω.

Όσον αφορά το στοιχείο γης του Η/Ν της IPPM, αποτελείται από ένα στάδιο definite. Το ρεύμα που ανιχνεύει ο Η/Ν, για ελάχιστο διφασικό βραχυκύκλωμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό της Α/Γ 1.1, είναι $3 \cdot I_0 = 428 \text{ A}$ και το pickup ρεύμα λειτουργίας του Η/Ν ορίζεται στο 50% αυτού.

Πίνακας 5-15: Ρυθμίσεις Η/Ν πύλης παραγωγού (IPPM) Α/Π 1.

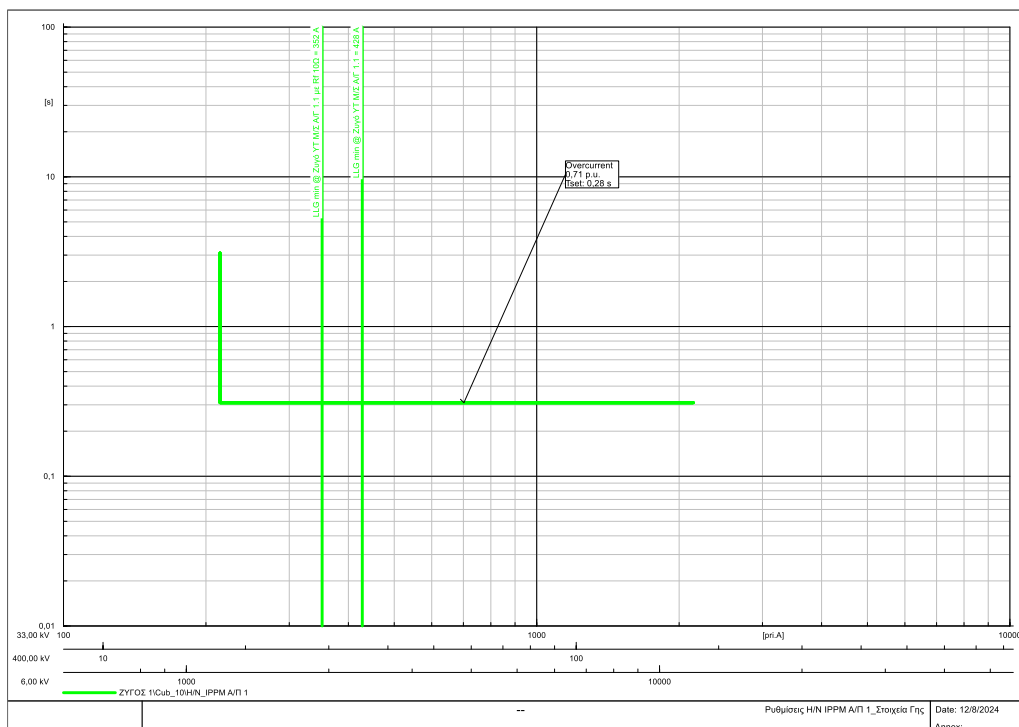
Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Standard Inverse)	I _{pick-up}	393 A (πρωτ)
		Time dial	0,13
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2130 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	214 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s

Παρακάτω φαίνονται τα στοιχεία φάσης του Η/Ν της IPPM του Α/Π 1 καθώς και τα damage curve των καλωδίων του Α/Π 1 (**Εικόνα 5-16**). Οι κάθετες που παρουσιάζονται είναι το ελάχιστο διφασικό σφάλμα χωρίς γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο Η/Ν, που είναι κι εδώ 4258 A, και το ελάχιστο διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη με μια τυπική αντίσταση σφάλματος για διφασικό σφάλμα χωρίς γη $R_f = 2 \Omega$, καθώς και το μέγιστο τριφασικό σφάλμα στον ζυγό της MT της Α/Γ 4.4, ώστε να βρεθεί το μέγιστο ρεύμα το οποίο μπορεί να περάσει από το καλώδιο, το οποίο θα είναι ίσο με 11769 A. Φαίνεται από τα damage curve αυτών ότι ακόμα και στην χειρότερη περίπτωση, αντέχουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης χωρίς να καταστρέφονται. Επίσης και σε αυτήν την περίπτωση βλέπουμε ότι η ρύθμιση του σταδίου ορισμένου χρόνου προστατεύει και για σφάλμα με αντίσταση.



Εικόνα 5-16: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM A/Π 1.

Για το στοιχείο γης του H/N της IPPM το οποίο αποτελείται από ένα στάδιο ορισμένου χρόνου η καμπύλη του οποίου φαίνεται παρακάτω (**Εικόνα 5-17**). Επίσης, στην εικόνα αυτή παρουσιάζονται με κάθετες το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N της IPPM, καθώς και το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και με αντίσταση σφάλματος για μια τυπική τιμή $R_f = 10 \Omega$. Από τη χαρακτηριστική καμπύλη αποδεικνύεται πως με τη ρύθμιση της definite time στο 50% του ελαχίστου ρεύματος βραχυκύκλωσης, προβλέπουμε και την περίπτωση του βραχυκυκλώματος με αντίσταση σφάλματος.



Εικόνα 5-17: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM A/Π 1.

5.3.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 2

Το αιολικό πάρκο 2 διαθέτει έναν H/N σε κάθε μετασχηματιστή ανύψωσης των ανεμογεννητριών, ο οποίος αποτελεί την κύρια προστασία των μετασχηματιστών, αλλά λειτουργεί και σαν backup προστασία σε περίπτωση σφάλματος στον ζυγό χαμηλής τάσης της ανεμογεννήτριας. Διαθέτει επίσης δύο H/N για κάθε έναν από τους δύο feeder των δύο κλάδων των Α/Γ του Α/Π 2 και οι οποίοι αποτελούν την κύρια προστασία των καλωδίων και των ζυγών από την πιο απομακρυσμένη Α/Γ κάθε κλάδου έως τον ζυγό των feeder. Στους incomer από τις 2 IPPM διαθέτει δύο H/N κατευθυντικούς, οι οποίοι είναι ρυθμισμένοι να βλέπουν σφάλματα προς τον υποσταθμό. Τέλος, διαθέτει δύο, H/N, έναν για κάθε μια από τις 2 IPPM, οι οποίοι αποτελούν την κύρια προστασία των 2 καλωδίων MT της IPPM και του ζυγού των feeder.

Οι H/N των Μ/Σ ανύψωσης όλων των Α/Γ 2.1-2.9 είναι υπερέντασης και πιο συγκεκριμένα ο τύπος τους είναι ο REF 630 της ABB. Τα στοιχεία φάσης τους ρυθμίστηκαν με ένα στάδιο αντίστροφου χρόνου (IDMT) ενώ τα στοιχεία γης ρυθμίστηκε με ένα στάδιο ορισμένου χρόνου (definite time). Η ρύθμιση της IDMT για το στοιχείο φάσης έγινε με τέτοιον τρόπο, ώστε ο Μ/Σ ανύψωσης να αντέχει 20% υπερφόρτιση. Η ρύθμιση της IDMT, δηλαδή, έγινε στο 120% του ονομαστικού ρεύματος του Μ/Σ ανύψωσης στην πλευρά της MT, το οποίο είναι ίσο με 61,85 A και το οποίο υπολογίστηκε από την εξίσωση 6-4. Όσον αφορά τώρα το στοιχείο γης των H/N, το οποίο αποτελείται από ένα στάδιο definite time, ρυθμίστηκε με βάση το ελάχιστο ρεύμα από τα ελάχιστα βραχυκυκλώματα προς γη, που παρουσιάζεται σε μια από τις δύο πιο απομακρυσμένες Α/Γ (2.1 και 2.8). Το ελάχιστο αυτό ρεύμα το ανιχνεύει ο H/N της Α/Γ 2.8 κατά την διάρκεια

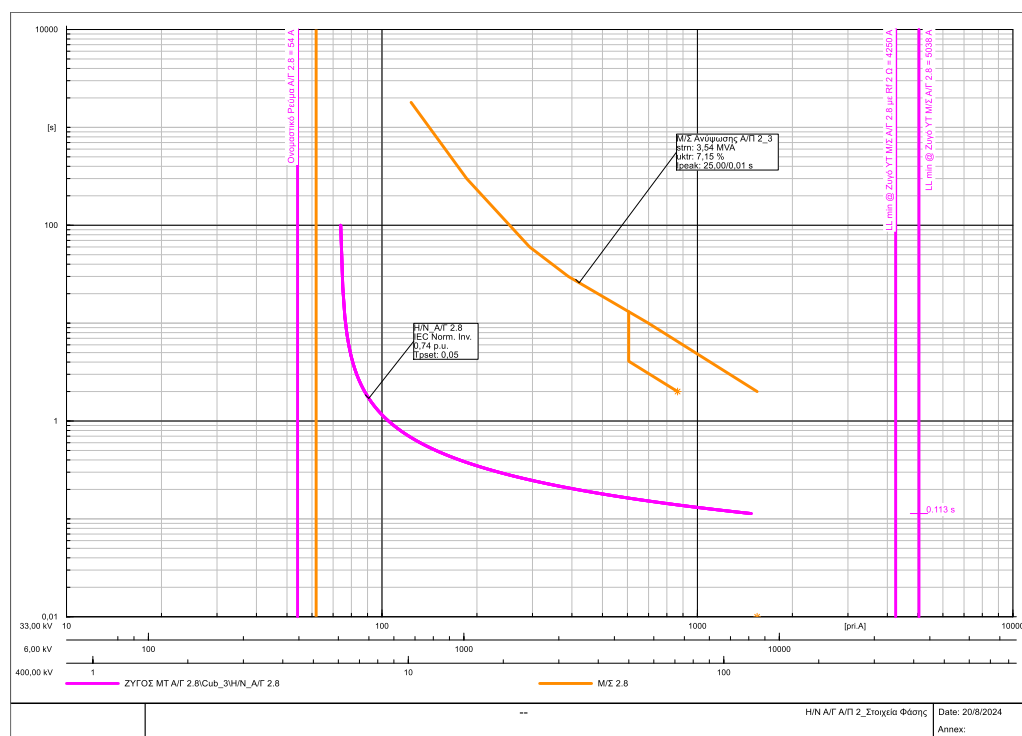
διαφασικού βραχυκυκλώματος προς γη. Το ρεύμα σφάλματος ισούται με $3 \cdot I_0 = 564 \text{ A}$ και το στοιχείο της definite time το ορίσαμε στο 50% αυτού. Οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται και αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα (

Πίνακας 5-16).

Πίνακας 5-16: Ρυθμίσεις H/N M/Σ ανύψωσης A/G 2.1-2.9.

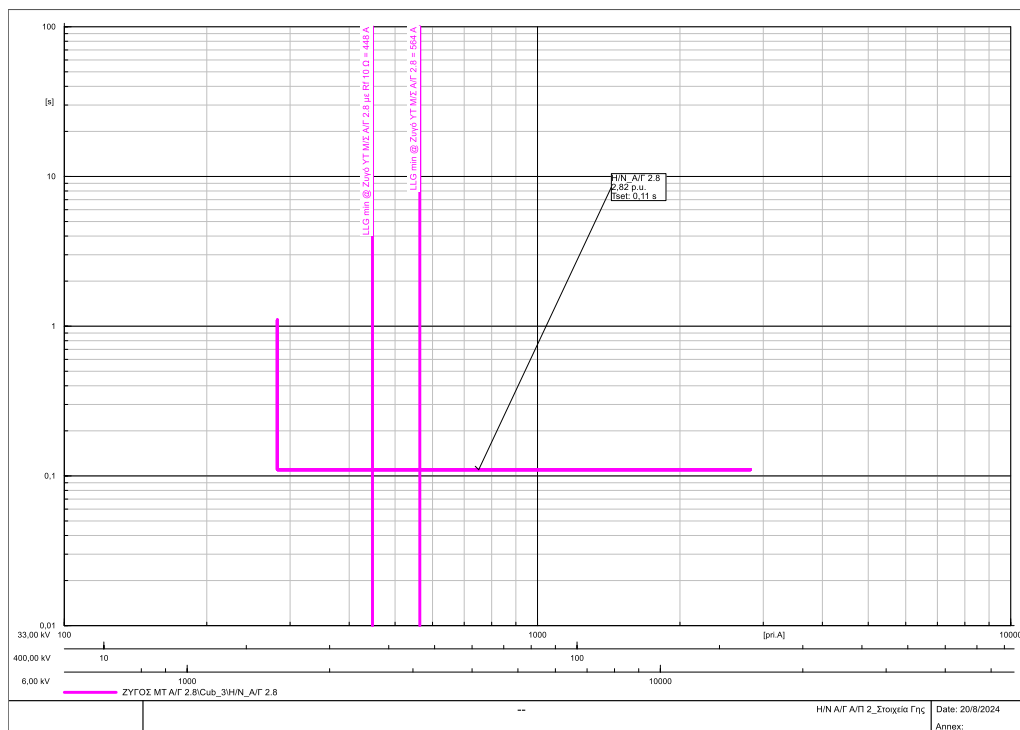
Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			100A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	$I_{pick-up}$	74 A (πρωτ)
		Time dial	0,05
Στοιχείο Γης	DT	$I_{pick-up}$	288 A (πρωτ)
		Time dial	0,11 s

Παρακάτω φαίνεται το στάδιο της IDMT του H/N της A/G 2.8 για τα στοιχεία φάσης και το damage curve του M/Σ ανύψωσής της (**Εικόνα 5-18**). Από το damage curve του M/Σ καταλαβαίνουμε ότι αυτός προστατεύεται καλά, καθώς η χαρακτηριστική καμπύλη βρίσκεται πολύ πιο κάτω χρονικά από τα ρεύματα τα οποία αντέχει. Τέλος, οι κάθετες που παρουσιάζονται είναι το ελάχιστο διαφασικό σφάλμα χωρίς γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N που είναι 5083 A και το ελάχιστο διαφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη με μια τυπική αντίσταση σφάλματος για διαφασικό σφάλμα χωρίς γη $R_f = 2 \Omega$ που είναι 4250 A.



Εικόνα 5-18: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/G 2.8.

Για το στοιχείο γης του H/N της A/Γ 2.8 το οποίο αποτελείται από ένα στάδιο ορισμένου χρόνου, φαίνεται παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 5-19**), στην οποία παρουσιάζονται με κάθετες το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N της IPPM, καθώς και το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και με αντίσταση σφάλματος για μια τυπική τιμή $R_f = 10 \Omega$.



Εικόνα 5-19: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/Γ 2.8.

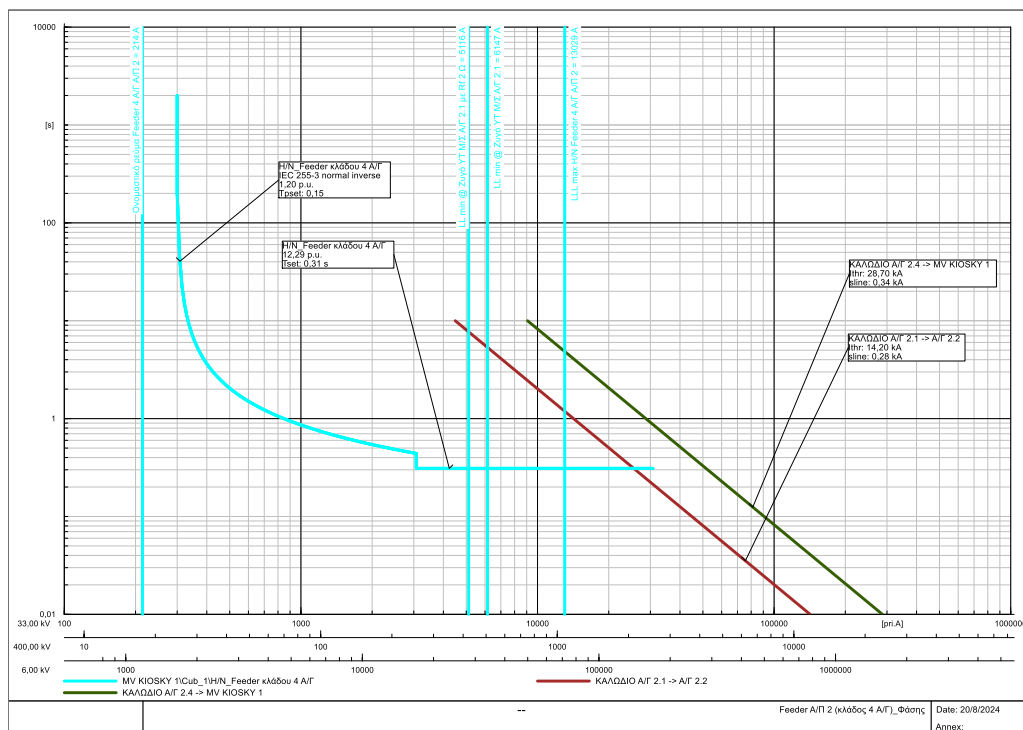
Ο H/N του Feeder του κλάδου με τις 4 A/Γ είναι της Siemens ο 7SJ80 και για τα στοιχεία φάσης έχει ρυθμιστεί με έναν συνδυασμό αντιστρόφου και ορισμένου χρόνου και το στοιχείο γης του με μια καμπύλη ορισμένου χρόνου. Για τα στοιχεία φάσης, το στάδιο της αντιστρόφου χρόνου ρυθμίστηκε στο 140% του ονομαστικού ρεύματος που διαρρέει το καλώδιο A/Γ 2.4 -> MV KIOSKY 1 το οποίο είναι 214 A. Ομοίως και σε αυτό το A/Π 2 για τα καλώδια που συνδέουν τις ανεμογεννήτριες μεταξύ τους, ο H/N δεν θα ανιχνεύει το 40% της υπερφόρτισης τους, γιατί αυτό το ρεύμα θα είναι μικρότερο και από το ονομαστικό του καλωδίου για το οποίο έχει ρυθμιστεί και το οποίο είναι η παραγωγή όλων των A/Γ του A/Π 2. Ωστόσο, οι H/N που βρίσκονται στην YT των Μ/Σ ανύψωσης έχουν ρυθμιστεί ώστε να επιτρέπουν μέχρι 20% φόρτιση του Μ/Σ, το οποίο μεταφράζεται περίπου στο 140% του ονομαστικού ρεύματος κανονικής λειτουργίας, το οποίο είναι 54 A, αποτρέποντας έτσι να περάσουν ρεύματα πάνω από αυτό το όριο. Για το στάδιο της definite time εκτελέσαμε ελάχιστο διφασικό σφάλμα, το οποίο παρουσιάζει το ελάχιστο ρεύμα από τα ελάχιστα βραχυκυκλώματα φάσης στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 2.1 τον οποίο θα πρέπει να προστατεύει. Το ελάχιστο αυτό βραχυκύκλωμα που ανιχνεύει ο H/N είναι 6147 A και το στάδιο της definite ορίστηκε στο 50% αυτού.

Για το στοιχείο γης του H/N της IPPM αποτελείται από ένα στάδιο definite. Το ρεύμα που ανιχνεύει ο H/N για ελάχιστο διφασικό βραχυκύκλωμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό της A/G 2.1, είναι $3 \cdot I_0 = 574 \text{ A}$ και το στάδιο ορισμένου χρόνου γης ορίζεται στο 50% αυτού.

Πίνακας 5-17: Ρυθμίσεις H/N feeder των 4 A/G του A/Π 2.

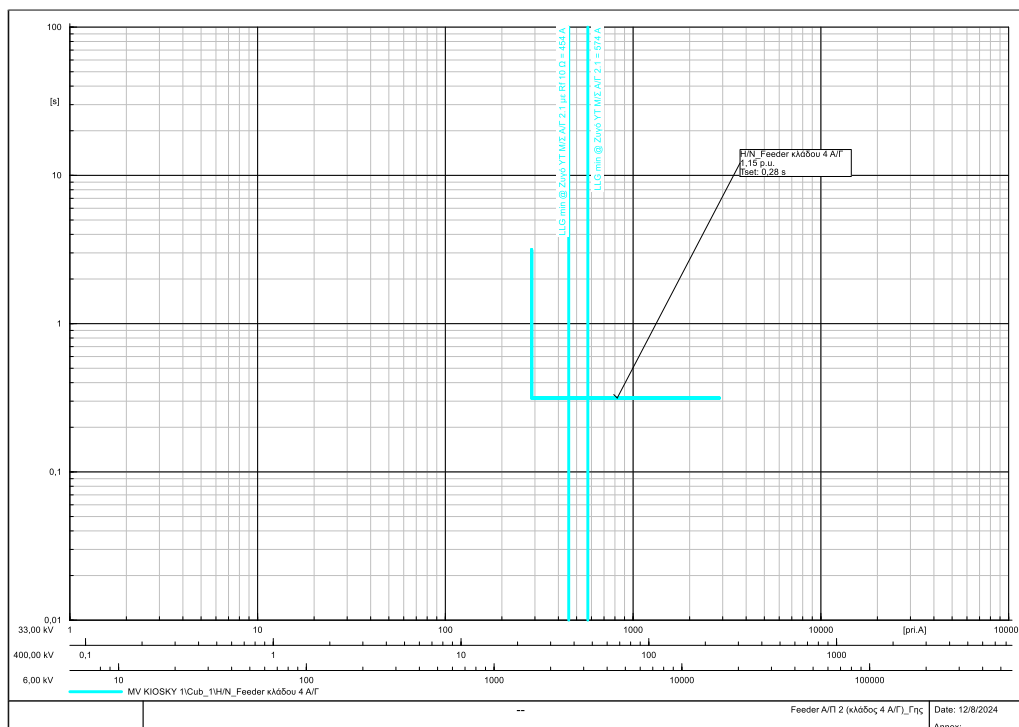
Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			250A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I_{pick-up}	300 A (πρωτ)
		Time dial	0,15
	DT (Stage 1, I>)	I_{pick-up}	3073,5 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I_{pick-up}	282 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s

Παρακάτω φαίνονται τα στοιχεία φάσης του H/N του feeder του A/Π 2 καθώς και τα damage curve των καλωδίων του κλάδου με τις 4 A/G (**Εικόνα 5-20**). Οι κάθετες που παρουσιάζονται είναι: α) το ελάχιστο διφασικό σφάλμα χωρίς γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N το οποίο είναι 6147 A, β) το ελάχιστο διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη με μια τυπική αντίσταση σφάλματος για διφασικό σφάλμα χωρίς γη $R_f = 2 \Omega$ το οποίο είναι ίσο με 5116 A, και γ) το μέγιστο τριφασικό σφάλμα που μπορεί να ανιχνεύσει ο H/N το οποίο είναι 13029 A. Φαίνεται από τα damage curve αυτών ότι προστατεύονται ακόμα και στην χειρότερη των περιπτώσεων και αντέχουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης χωρίς να υποστούν σοβαρές ζημιές ή και στη χειρότερη να καταστραφούν.



Εικόνα 5-20: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Feeder 4 A/Γ A/Π 2.

Για το στοιχείο γης του H/N του feeder του κλάδου των 4 A/Γ του A/Π 2 το οποίο αποτελείται από ένα στάδιο ορισμένου χρόνου φαίνεται παρακάτω (**Εικόνα 5-21**). Παρουσιάζονται με κάθετες το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N της ΙΡΡΜ το οποίο είναι $3 \cdot I_0 = 574 \text{ A}$, καθώς και το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και με αντίσταση σφάλματος για μια τυπική τιμή $R_f = 10 \Omega$ το οποίο είναι $3 \cdot I_0 = 454 \text{ A}$.



Εικόνα 5-21: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Feeder 4 A/Γ A/Π 2.

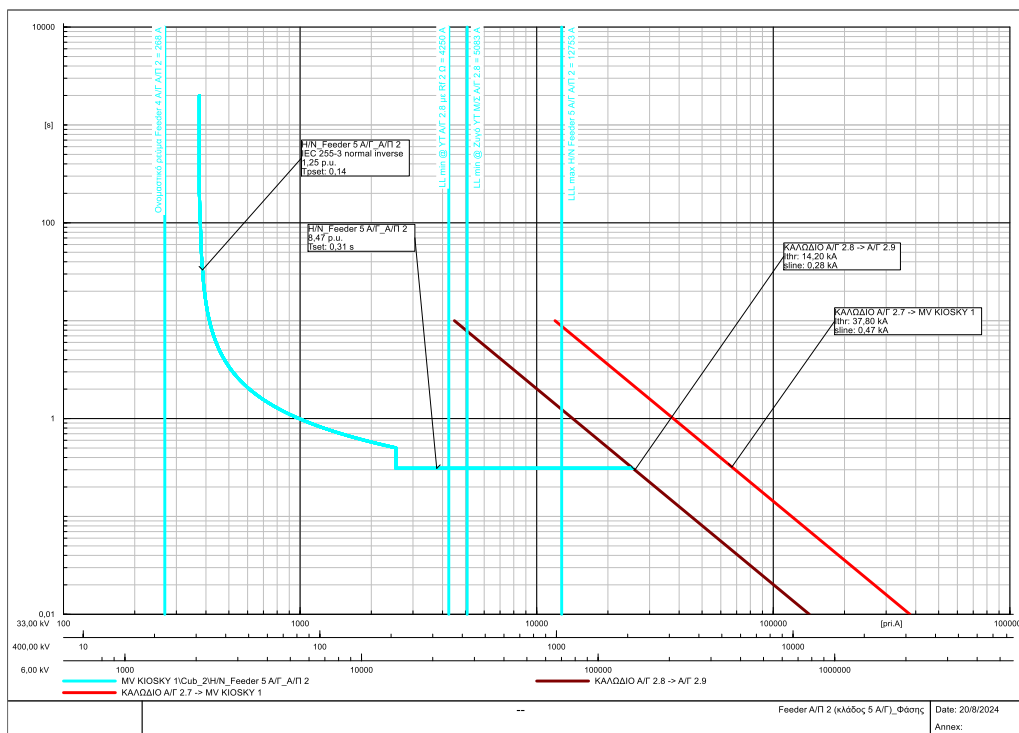
Ο H/N του Feeder του κλάδου με τις πέντε A/Γ είναι κι αυτός της Siemens, ο 7SJ80, και για τα στοιχεία φάσης έχει ρυθμιστεί με έναν συνδυασμό αντιστρόφου και ορισμένου χρόνου και το στοιχείο γης του με μία καμπύλη ορισμένου χρόνου. Στα στοιχεία φάσης, το στάδιο του αντιστρόφου χρόνου ρυθμίστηκε στο 140% του ονομαστικού ρεύματος που διαρρέει το καλώδιο A/Γ 2.7 -> MV KIOSKY 1, το οποίο είναι 268 A. Ομοίως και σε αυτόν τον κλάδο για τα καλώδια που συνδέουν τις ανεμογεννήτριες μεταξύ τους, ο H/N δεν θα ανιχνεύει το 40% της υπερφόρτισης τους. Οι H/N που βρίσκονται στην YT των M/Σ ανύψωσης έχουν ρυθμιστεί έτσι, ώστε να επιτρέπουν μέχρι 20% φόρτιση του M/Σ, το οποίο μεταφράζεται περίπου στο 140% του ονομαστικού ρεύματος κανονικής λειτουργίας και το οποίο είναι 54 A, αποτρέποντας έτσι να περάσουν ρεύματα πάνω από αυτό το όριο. Για το στάδιο της definite time εκτελέσαμε ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 2.8 τον οποίο θα πρέπει να προστατεύει. Το ελάχιστο αυτό βραχυκύκλωμα που ανιχνεύει ο H/N είναι 5083 A και το pickup ρεύμα λειτουργίας της definite ορίστηκε στο 50% αυτού.

Όσον αφορά το στοιχείο γης του H/N του feeder των 5 A/Γ αυτό αποτελείται από ένα στάδιο definite. Το ρεύμα που ανιχνεύει ο H/N για ελάχιστο διαφασικό βραχυκύκλωμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό της A/Γ 2.8, είναι $3 \cdot I_0 = 567 \text{ A}$ και το pick up ρεύμα ορίζεται στο 50% αυτού.

Πίνακας 5-18: Ρυθμίσεις H/N feeder των 5 A/Γ του Α/Π 2.

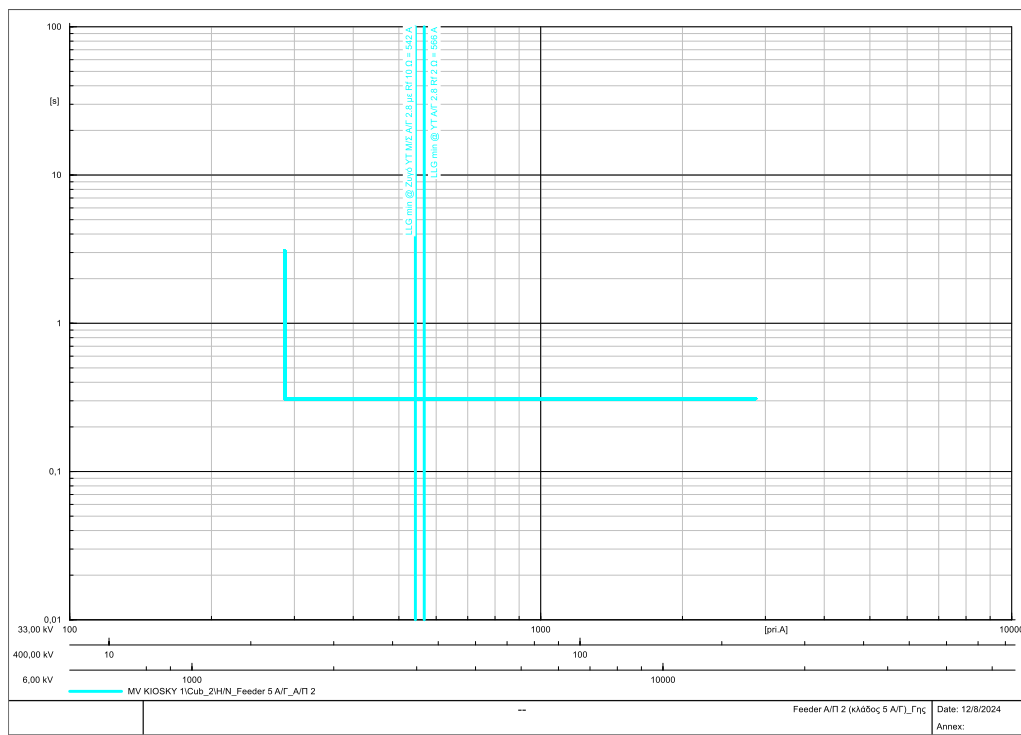
Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	375 A (πρωτ)
		Time dial	0,14
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2541,6 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	286,2 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s

Παρακάτω, (Εικόνα 5-22), φαίνονται τα στοιχεία φάσης του H/N του Feeder του Α/Π 2 καθώς και τα damage curve των καλωδίων του κλάδου με τις 4 Α/Γ. Οι κάθετες που παρουσιάζονται είναι το ελάχιστο διαφασικό σφάλμα χωρίς γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N, το οποίο είναι 5083 A, το ελάχιστο διαφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη με μία τυπική αντίσταση σφάλματος για διαφασικό σφάλμα χωρίς γη $R_f = 2 \Omega$, το οποίο είναι ίσο με 4250 A, καθώς και το μέγιστο τριφασικό σφάλμα που μπορεί να ανιχνεύσει ο H/N το οποίο είναι 12753 A, το οποίο, ωστόσο, δεν πρόκειται να περάσει σε κανένα από τα δύο καλώδιο που προστατεύει ο feeder, αλλά ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση που θεωρούμε ότι ανιχνεύει το μέγιστο που μπορεί, προστατεύονται και τα δύο όπως φαίνεται από το damage curve των καλωδίων.



Εικόνα 5-22: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Feeder 5 A/Γ Α/Π 2.

Για το στοιχείο γης του H/N του feeder του κλάδου των 5 A/Γ του A/Π 2, το οποίο αποτελείται από ένα στάδιο ορισμένου χρόνου, φαίνεται παρακάτω (**Εικόνα 5-23**). Παρουσιάζονται με κάθετες το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και χωρίς αντίσταση σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N της IPPM το οποίοι είναι $3 \cdot I_0 = 567 \text{ A}$, καθώς και το ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη και με αντίσταση σφάλματος για μια τυπική τιμή $R_f = 10 \text{ } \Omega$ το οποίο είναι $3 \cdot I_0 = 542 \text{ A}$.



Εικόνα 5-23: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Feeder 5 A/Γ A/Π 2.

Οι H/N των incomer από τις IPPM είναι κατευθυντικοί και για τα στοιχεία φάσης και για τα στοιχεία γης και είναι και οι δύο τύπου REF 615 της ABB. Οι κατευθυντικοί έχουν ρυθμιστεί έτσι, ώστε να βλέπουν σφάλματα που γίνονται προς την πλευρά του υποσταθμού, αντίθετα δηλαδή από τα ρεύματα που ανιχνεύει ο H/N της IPPM. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται κατευθυντικοί, είναι πως σε περίπτωση σφάλματος στην μια γραμμή, έστω στο τέλος της γραμμής λίγο κάτω από την IPPM, ο κατευθυντικός σε συνεργασία με τον H/N της IPPM θα απομονώσουν την μια γραμμή καθαρίζοντας το σφάλμα, χωρίς να θέσουν εκτός λειτουργίας όλο το A/Π 2, αφού η παραγωγή θα περνάει από την άλλη γραμμή. Το στοιχείο φάσης αποτελείται από μία definite time για τη ρύθμιση της οποίας εκτελέσαμε τριφασικό μέγιστο βραχυκύκλωμα στον ζυγό της TM, καθώς γι' αυτό το σφάλμα παρουσιάζεται το ελάχιστο ρεύμα που βλέπουν οι H/N των incomer και το οποίο θα είναι το μισό του συνολικού ρεύματος των συμβολών όλων των A/Γ. Το ρεύμα αυτό υπολογίστηκε 1148 A, επομένως το ρεύμα λειτουργίας του H/N ρυθμίστηκε περίπου στο 50% αυτού. Αν και το μέγιστο διφασικό ρεύμα σφάλματος που ανιχνεύει ο H/N του incomer στο τέλος της γραμμής λίγο πριν τον ζυγό της TM είναι 373 A, δηλαδή λίγο μεγαλύτερο από το ονομαστικό (214 A), δεν μπορεί να ρυθμιστεί σύμφωνα με αυτό, γιατί ο H/N του incomer μπορεί

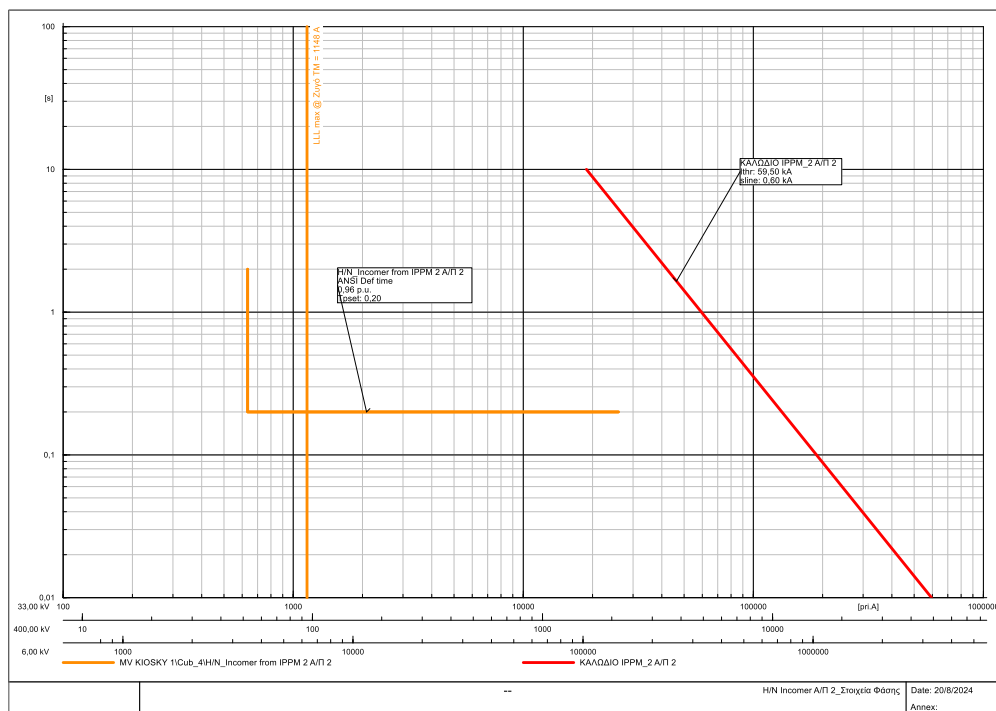
να ενεργοποιηθεί για ρεύμα κοντά στο ονομαστικό. Για τον λόγο αυτό θα θέσουμε και μια λειτουργία intertrip στον H/N της IPPM ούτως ώστε στην περίπτωση διφασικού μέγιστου σφάλματος στην γραμμή όπου το threshold του κατευθυντικού δεν ανιχνεύει το ρεύμα σφάλματος, να ενεργοποιηθεί ο H/N της IPPM στον χρόνο τον οποίο έχει οριστεί και με τη βοήθεια του intertrip να παρασύρει και τον H/N του incomer να λειτουργήσει απομονώνοντας έτσι τη γραμμή. Η συνεργασία αυτή των ηλεκτρονόμων θα δειχτεί και πιο αναλυτικά στην **υποενότητα 5.4**.

Για τον H/N του incomer επιλέγουμε να μην βάλουμε στάδιο γης, καθώς οι μετασχηματιστές ανύψωσης των ανεμογεννητριών στην πλευρά της YT τους (33 kV) είναι συνδεσμολογίας τριγώνου, δηλαδή είναι αγειώτοι. Επομένως ο H/N δεν θα ανιχνεύει κάποια σημαντική συμβολή ρεύματος μηδενικής ακολουθίας. Αν τον ρυθμίσουμε να ενεργοποιείται για μικρό ρεύμα μηδενικής ακολουθίας, μπορεί να δημιουργηθεί σύγχυση και να ενεργοποιηθεί για σφάλμα εκτός της ζώνης προστασίας του .

Πίνακας 5-19: Ρυθμίσεις κατευθυντικών incomer 1-2 A/Π 2.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			600A/5A
Μετασχηματιστής Τάσης (VT)			33000V/100V
Στοιχείο Φάσης	DT (κατεύθυνση προς Y/Σ)	I_{pick-up}	576 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,2 s
		Χρόνος	0,2 s

Παρακάτω (**Εικόνα 5-24**) φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη του incomer 2 (θα είναι ίδια με αυτή του incomer 1). Στις κάθετες παρουσιάζεται το ρεύμα με το οποίο ρυθμίστηκε η definite (για μέγιστο τριφασικό βραχυκύκλωμα στον ζυγό της TM), καθώς επίσης φαίνεται και το μέγιστο ρεύμα το οποίο μπορεί να ανιχνεύσει ο H/N του incomer, κι έτσι καταλαβαίνουμε ότι προστατεύει το καλώδιο του οποίου είναι υπεύθυνος.



Εικόνα 5-24: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης κατευθυντικού H/N incomer 1-2 A/Π 2.

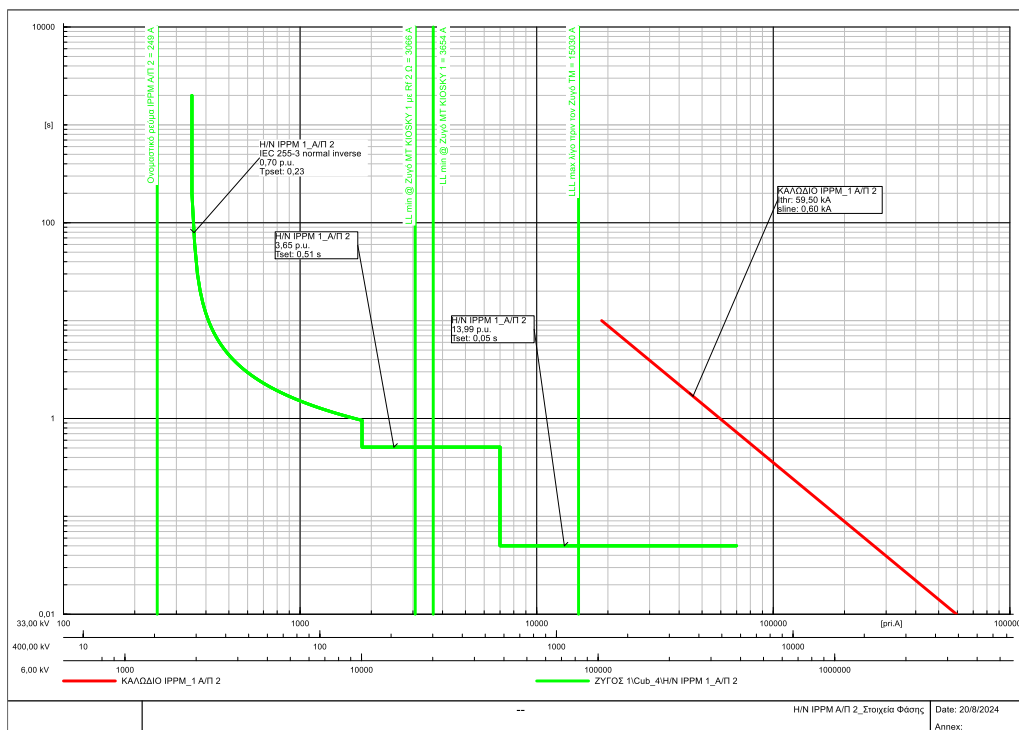
Οι δύο H/N των IPPM είναι τύπου Siemens 7SJ80 κι έχουν τις ίδιες ρυθμίσεις μεταξύ τους. Τα στοιχεία φάσης τους αποτελούνται από ένα στάδιο αντιστρόφου χρόνου και δύο στάδια definite. Το στάδιο της αντιστρόφου χρόνου ρυθμίστηκε στο 140% του ονομαστικού ρεύματος που διαρρέει το καλώδιο (ΚΑΛΩΔΙΟ IPPM_2 A/Π 2) το οποίο είναι 250 A. Για τη ρύθμιση του ενός σταδίου της definite time (stage 1, I>), εκτελέσαμε ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό MT στο KIOSKY 1 τον οποίο θα πρέπει να προστατεύει. Το ελάχιστο αυτό βραχυκύκλωμα που ανιχνεύει ο H/N είναι 3.654 A και το ρεύμα λειτουργίας του H/N της definite ορίστηκε στο 50% αυτού. Για τη ρύθμιση του δεύτερου σταδίου εκτελέσαμε μέγιστα βραχυκυκλώματα στην αρχή της γραμμής των 2 feeder όπου βρίσκονται οι δυο H/N και βρήκαμε ποιος από τους δύο ανιχνεύει μεγαλύτερο ρεύμα. Το ρεύμα αυτό προέκυψε 13.029 A, το μεγαλύτερο ποσοστό του οποίου έρχεται απ' όλο το υπόλοιπο δίκτυο όπως είναι λογικό. Ωστόσο, το ρεύμα αυτό που έρχεται από το υπόλοιπο δίκτυο χωρίζεται στο μισό, καθώς περνάει από τις 2 παράλληλες γραμμές των IPPM κι έτσι ο H/N γι' αυτό το σφάλμα στην αρχή του feeder θα ανιχνεύει ένα ρεύμα ίσο με 5830 A. Ρυθμίζουμε, λοιπόν, το δεύτερο στάδιο του ορισμένου χρόνου στο 120% του ρεύματος που ανιχνεύει ο H/N της IPPM, αφήνοντας και ένα περιθώριο ασφαλείας της τάξης των 20%.

Για το στοιχείο γης του H/N του feeder των 5 A/Γ αποτελείται από ένα στάδιο definite. Το ρεύμα που ανιχνεύει ο H/N για ελάχιστο διαφασικό βραχυκύκλωμα με γη στον ζυγό MT το KIOSKY 1, είναι $3 \cdot I_0 = 252$ A και το στάδιο ορισμένου χρόνου για γη ορίζεται στο 50% αυτού.

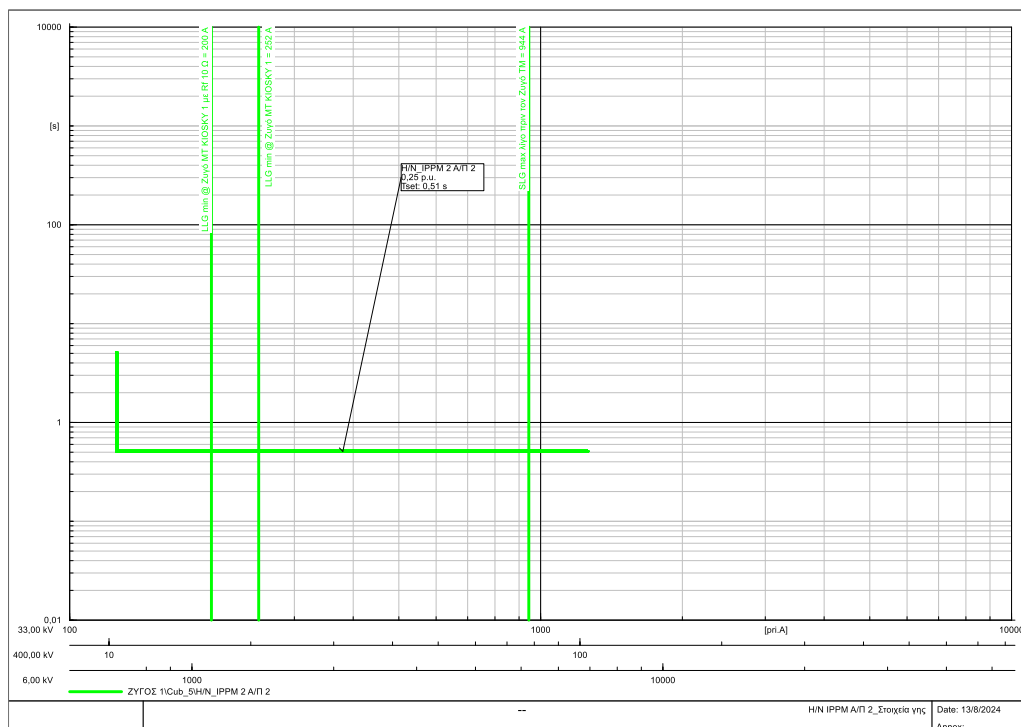
Πίνακας 5-20: Ρυθμίσεις H/N IPPM 1-2 του Α/Π 2.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	349 A (πρωτ)
		Time dial	0,23
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	1827 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s
	DT (Stage 2, I>>)	I _{pick-up}	6996 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,05 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	126 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s

Οι χαρακτηριστικές των στοιχείων φάσης και γης των H/N των δύο IPPM είναι ίδιες και παρακάτω φαίνεται η μία εκ των δύο.



Εικόνα 5-25: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM 1-2 Α/Π 2.



Εικόνα 5-26: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 A/Π 2.

Οι ίδιες τεχνικές εξαγωγής ρυθμίσεων, όπως με τα 2 αιολικά πάρκα που αναφέραμε παραπάνω, ακολουθήθηκαν και για τους αντίστοιχους H/N των υπόλοιπων αιολικών και φωτοβολταϊκών πάρκων, τόσο του υποσταθμού 1, όσο και του υποσταθμού 2, καθώς οι διατάξεις των σχημάτων προστασίας των πάρκων είναι παρόμοιες.

Οι τεχνικές αυτές είναι οι εξής:

- I. Για τα στοιχεία φάσης, το στάδιο της αντιστροφής χρόνου ορίζεται να λειτουργεί στο 140% του ονομαστικού ρεύματος, αν ο H/N αυτός είναι κύριο μέσο προστασίας καλωδίου. Αν ο H/N προστατεύει μετασχηματιστή ανύψωσης, τότε επιτρέπουμε μια υπερφόρτιση του Μ/Σ της τάξης των 20% και ρυθμίζουμε την αντιστροφή χρόνου στο 120% του ονομαστικού του ρεύματος.
- II. Για τα στοιχεία φάσης τώρα που διαθέτουν και στάδιο ορισμένου χρόνου, οι ρυθμίσεις των σταδίων αυτών ορίζονται σύμφωνα με το 50% του ελάχιστου ρεύματος που ανιχνεύει ο H/N για σφάλμα στον πιο απομακρυσμένο ζυγό για τον οποίο είναι υπεύθυνος.
- III. Για τα στοιχεία γης όπου έχει επιλεχθεί να χρησιμοποιείται για όλους του H/N μόνο στάδια ορισμένου χρόνου, τα οποία ρυθμίζονται σύμφωνα με το 50% του ελάχιστου ρεύματος βραχυκυκλώματος με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό, για τον οποίο είναι υπεύθυνοι να προστατεύουν.
- IV. Όσον αφορά τους κατευθυντικούς που παρουσιάζονται σε σχήματα προστασίας πάρκων παρόμοια με του αιολικού πάρκου 2, αυτοί έχουν ρυθμιστεί όλοι να βλέπουν σφάλματα προς τον υποσταθμό. Επίσης αποτελούνται από ένα στάδιο definite στο στοιχείο φάσης, το οποίο

ρυθμίζεται στο 50% του ρεύματος των συμβολών που ανιχνεύει ο αντίστοιχος H/N για 3φασικό μέγιστο σφάλμα στον ζυγό της TM. Τέλος, το στοιχείο γης για τους συγκεκριμένους H/N παραμένει απενεργοποιημένο και δεν ρυθμίζεται, καθώς δεν προσφέρει κάποιο πλεονέκτημα στο σχήμα προστασίας.

Εν συνεχεία θα δείξουμε αναλυτικά τις χαρακτηριστικές των H/N και τις ρυθμίσεις αυτών.

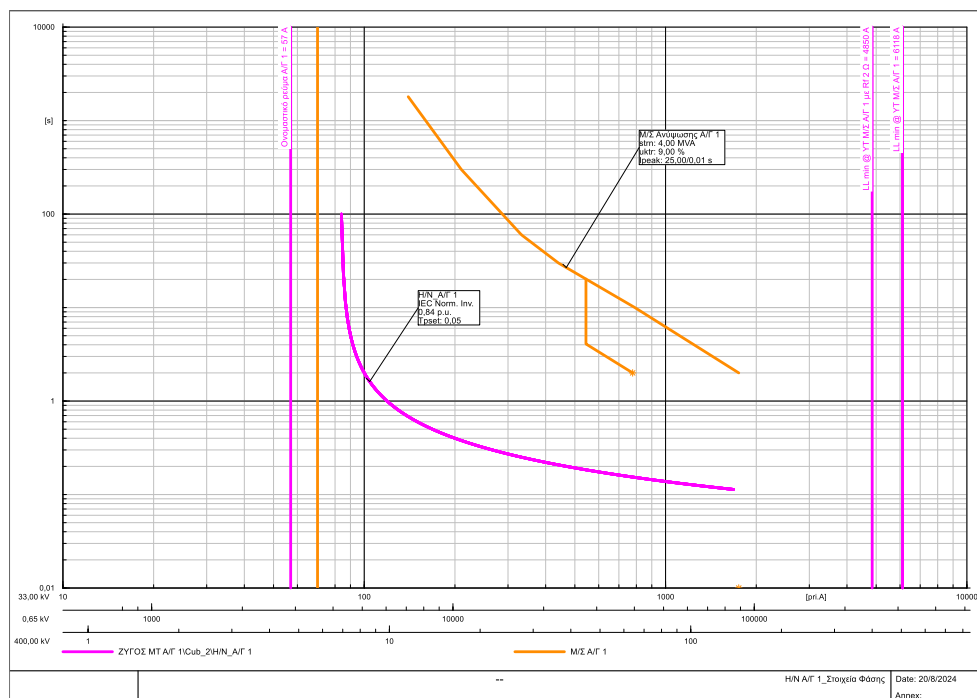
5.3.3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 1

Το σχήμα προστασίας της ανεμογεννήτριας 1 είναι παρόμοιο με αυτό του αιολικού πάρκου 1, δηλαδή ένας H/N υπερέντασης στον ζυγό YT της A/Γ για την προστασία του μετασχηματιστή ανύψωσης κι ένας H/N υπερέντασης στην πύλη παραγωγού. Οι ρυθμίσεις των 2 H/N φαίνονται παρακάτω στους δύο πίνακες αντίστοιχα (**Πίνακας 5-21, Πίνακας 5-22**).

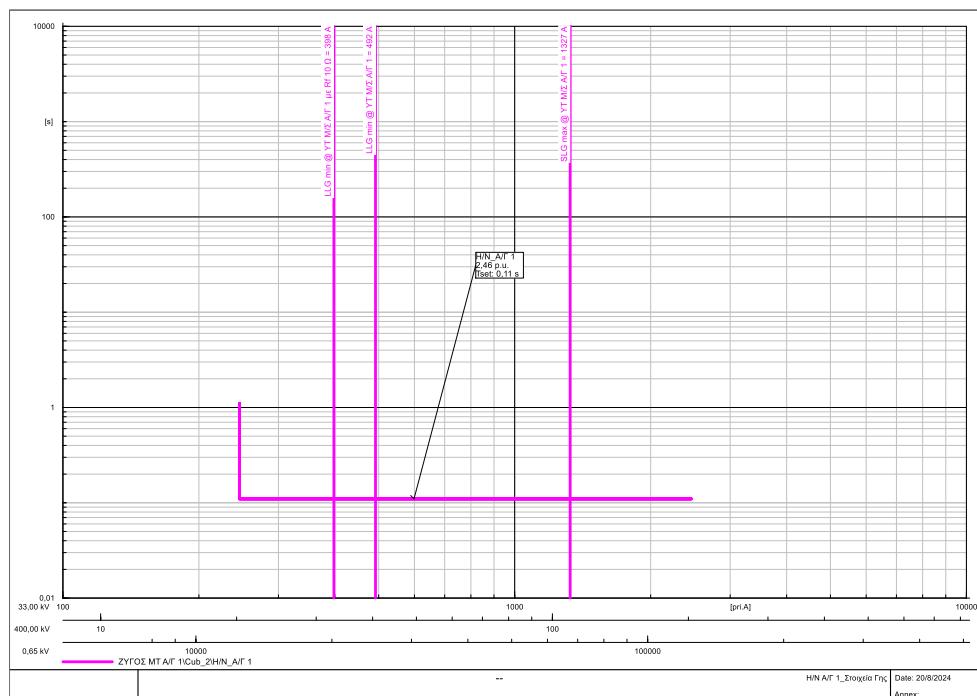
– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N A/Γ 1:

Πίνακας 5-21: Ρυθμίσεις H/N A/Γ 1.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			100A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	84 A (πρωτ)
		Time dial	0,05
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	246 A (πρωτ)
		Time dial	0,11 s



Εικόνα 5-27: Χαρακτηριστική καμπυλή στοιχείου φάσης H/N A/Γ 1.



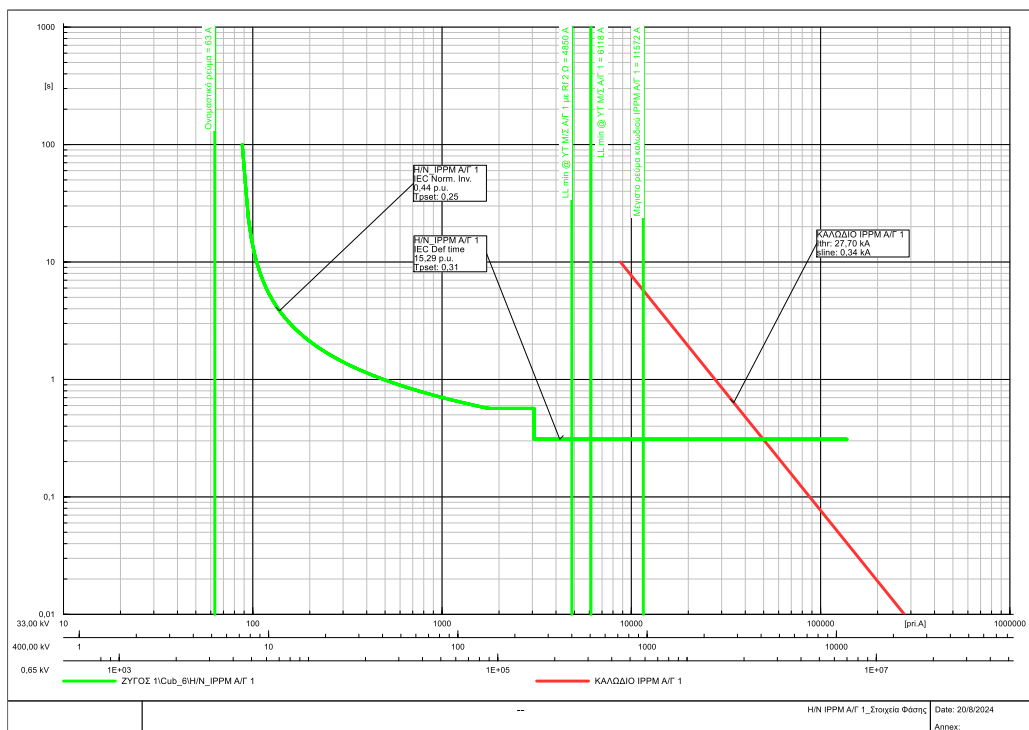
Εικόνα 5-28: Χαρακτηριστική καμπυλή στοιχείου γης H/N A/G 1.

– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N IPPM A/G 1:

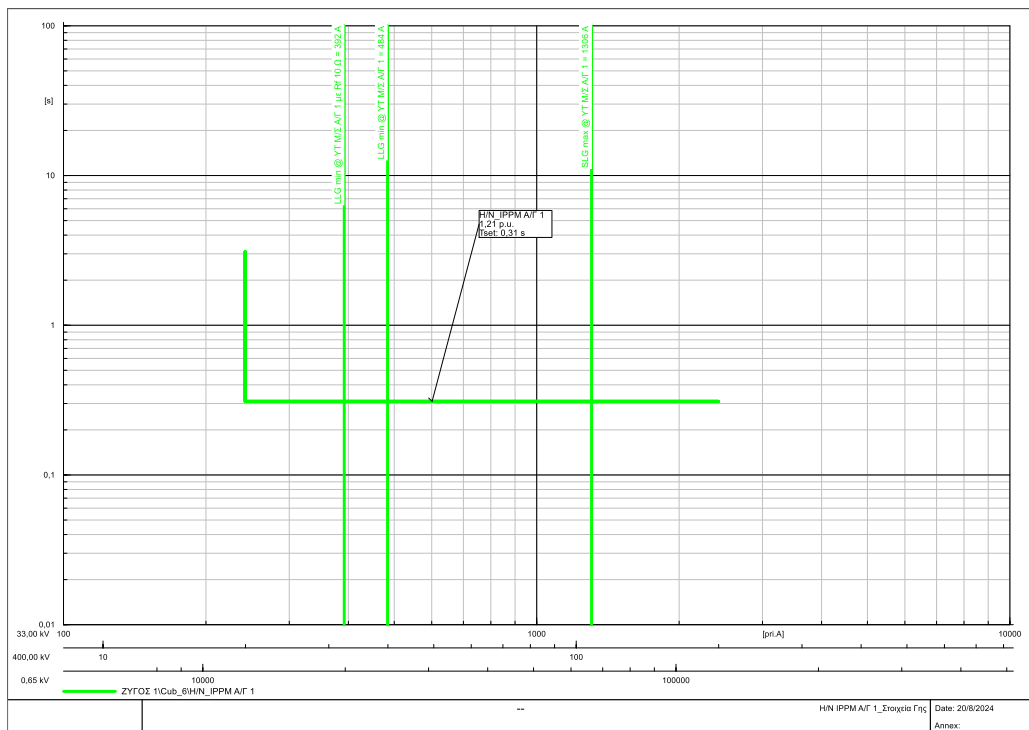
Πίνακας 5-22: Ρυθμίσεις H/N IPPM A/G 1.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			200A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	88 A (πρωτ)
		Time dial	0,25
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	3059 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	242 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s

Στην **Εικόνα 5-29** παρουσιάζεται και το damage curve του καλωδίου της IPPM της A/G 1. Το μέγιστο ρεύμα το οποίο μπορεί να περάσει από το καλώδιο, προφανώς, θα εμφανίζεται σε ένα σφάλμα το οποίο θα γίνεται σε τέτοιο σημείο, ώστε να τροφοδοτείται από το δίκτυο και το ρεύμα να διαπερνά όλο το καλώδιο. Το σημείο αυτό που εκτελείται το σφάλμα (το οποίο είναι τριφασικό μέγιστο), είναι ο Ζυγός MT της A/G 1 και το ρεύμα που περνά από το καλώδιο είναι 10 kA. Ο H/N, όπως φαίνεται παρακάτω, προστατεύει το καλώδιο αυτό.



Εικόνα 5-29: Χαρακτηριστική καμπυλή στοιχείου φάσης H/N IPPM A/Γ 1.



Εικόνα 5-30: Χαρακτηριστική καμπυλή στοιχείου γης H/N IPPM A/Γ 1.

5.3.4 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 3

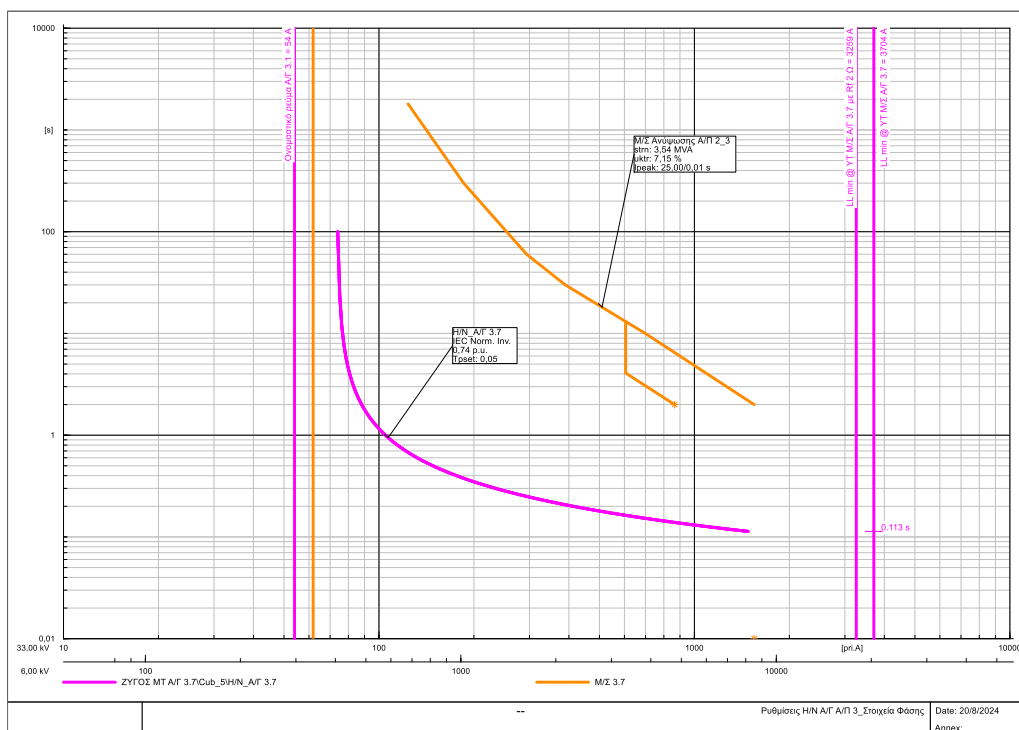
Το σχήμα προστασίας του αιολικού πάρκου 3 είναι παρόμοιο με αυτό του αιολικού πάρκου 2. Η μόνη διαφορά που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι πως διαθέτει έναν παραπάνω feeder και επομένως έναν επιπλέον Η/Ν. Οι ρυθμίσεις Η/Ν φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 5-23 – Πίνακας 5-28**).

– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές Η/Ν IPPM Α/Γ 3.1-3.9:

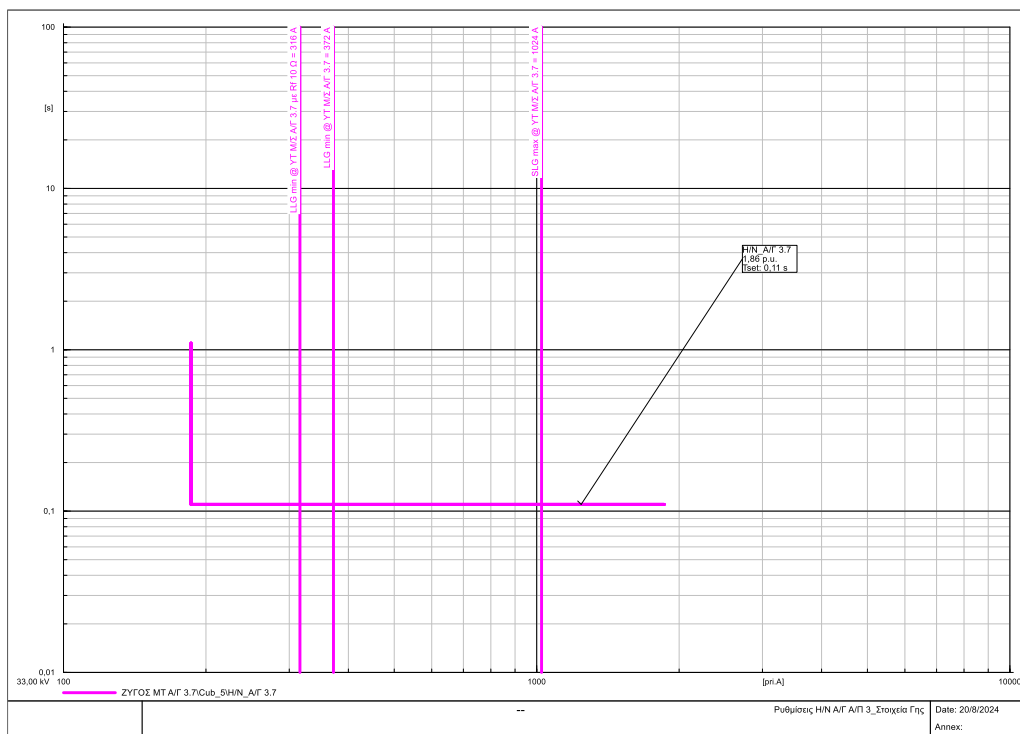
Όλοι οι Η/Ν των Α/Γ του Α/Π 3 έχουν τις ίδιες ρυθμίσεις για την προστασία του Μ/Σ ανύψωσης αυτών κι έχουν ρυθμιστεί σύμφωνα με τα σφάλματα στον ζυγό της Α/Γ 3.7, όπου παρουσιάζονται τα ελάχιστα ρεύματα των ελαχίστων σφαλμάτων τόσο στην γη όσο και στη φάση.

Πίνακας 5-23: Ρυθμίσεις Η/Ν Α/Γ 3.1-3.9.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			100A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	74 A (πρωτ)
		Time dial	0,05
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	186 A (πρωτ)
		Time dial	0,11 s



Εικόνα 5-31: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης Η/Ν Α/Γ 3.1-3.9.



Εικόνα 5-32: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων γης H/N A/G 3.1-3.9.

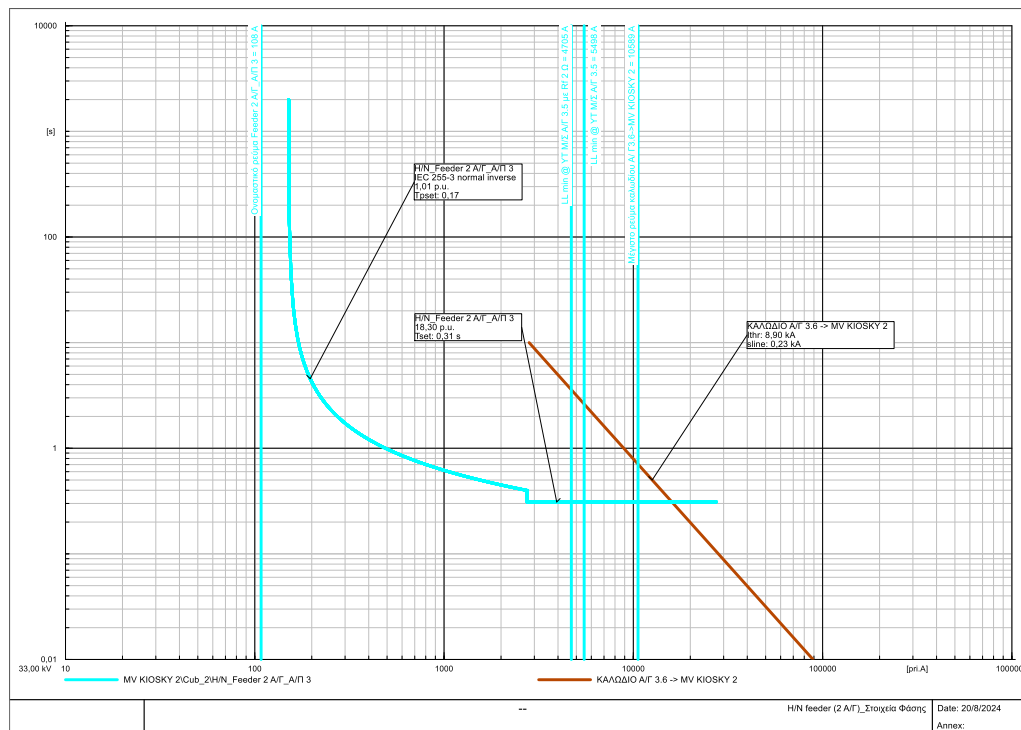
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder κλάδου 2 A/G:

Πίνακας 5-24: Ρυθμίσεις H/N feeder κλάδου 2 A/G A/Π 3.

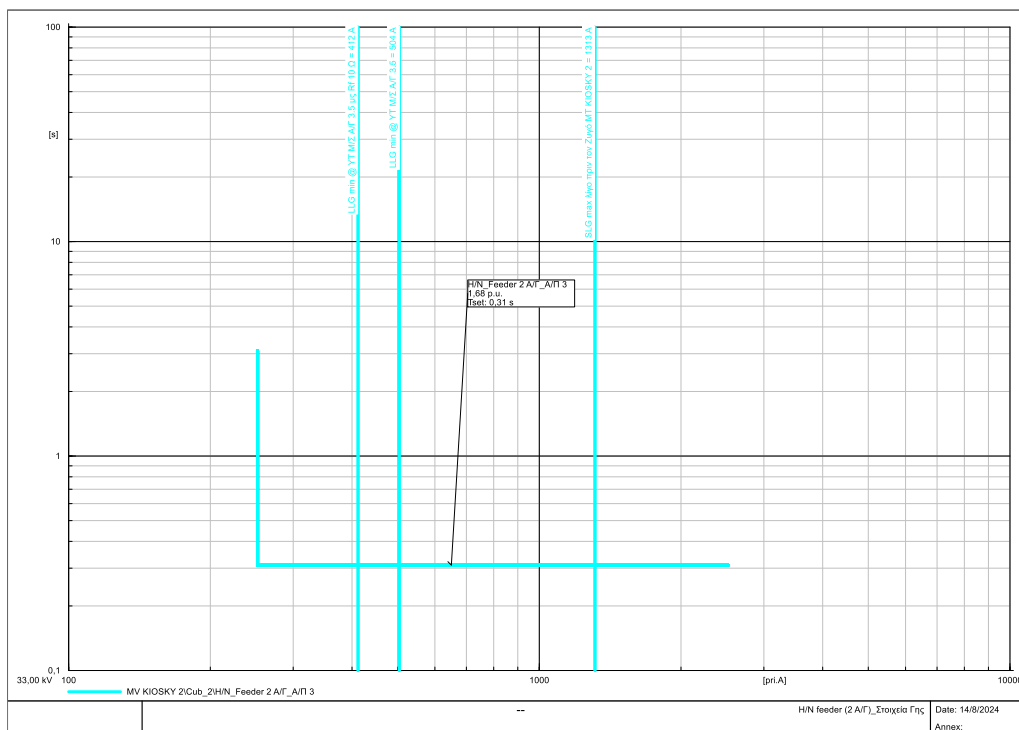
Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			150A/5A
Στοιχείο Φάσης	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	151,2 A (πρωτ)
		Time dial	0,17
	DT (Stage 2, I>)	I _{pick-up}	2744,4 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	252 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s

Στις παρακάτω εικόνες για τις χαρακτηριστικές των H/N των feeder (**Εικόνα 5-33, Εικόνα 5-35, Εικόνα 5-37**) παρουσιάζεται και το damage curve των αντίστοιχων καλωδίων των οποίων η προστασία είναι υπό την ευθύνη τους. Στην χαρακτηριστικές παρουσιάζεται (σε κάθετη) το μέγιστο ρεύμα που περνά από το μικρό καλώδιο του κλάδου, το οποίο πρέπει να προστατεύουν, και το οποίο θα είναι λίγο μεγαλύτερο από το ρεύμα που θα διαπερνά το μεγάλο καλώδιο του αντίστοιχου κλάδου, καθώς στο σημείο όπου γίνεται το σφάλμα για τη μέτρηση αυτή του ρεύματος (Ζυγό YT M/Σ A/G), από το καλώδιο θα περνάνε και οι συμβολές των άλλων A/G του

κλάδου. Επίσης, το μικρότερο καλώδιο παρουσιάζει μικρότερη αντοχή σε ρεύμα βραχυκυκλώματος, επομένως αν αυτό προστατεύεται καλά, τότε σίγουρα θα προστατεύεται και το καλώδιο του feeder, το οποίο θα είναι μεγαλύτερο ώστε να μεταφέρει την παραγωγή όλων των Α/Γ (ο όρος «μικρότερο/μεγαλύτερο» αναφέρεται στη διατομή των καλωδίων).



Εικόνα 5-33: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder κλάδου 2 Α/Γ Α/Π 3.

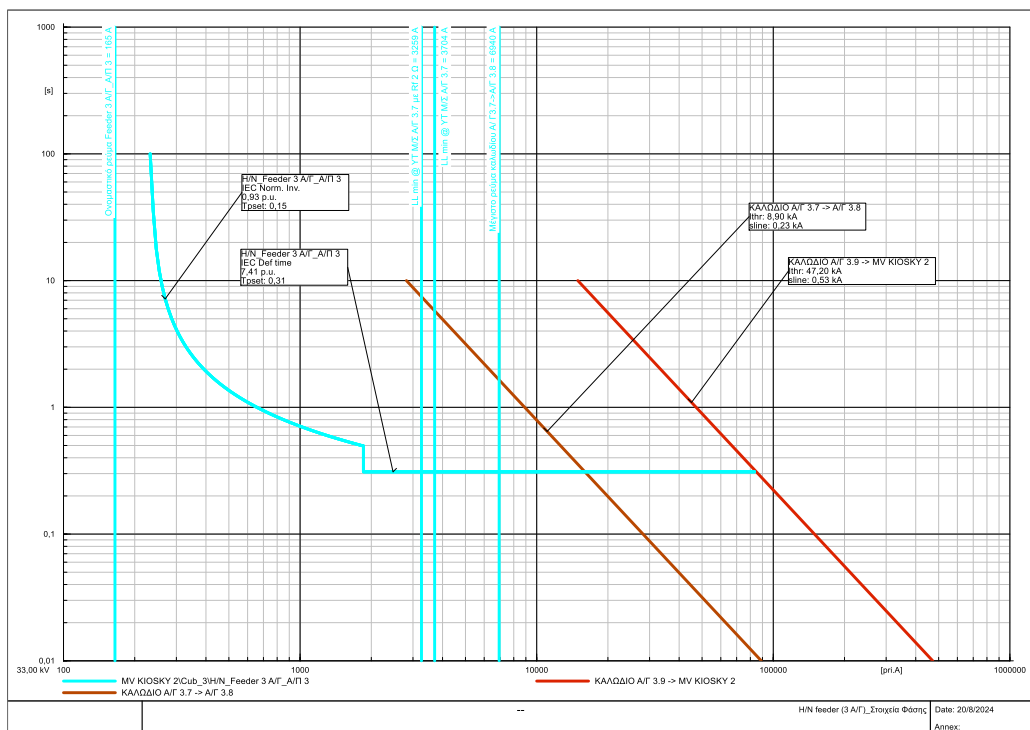


Εικόνα 5-34: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder κλάδου 2 A/Γ A/Π 3.

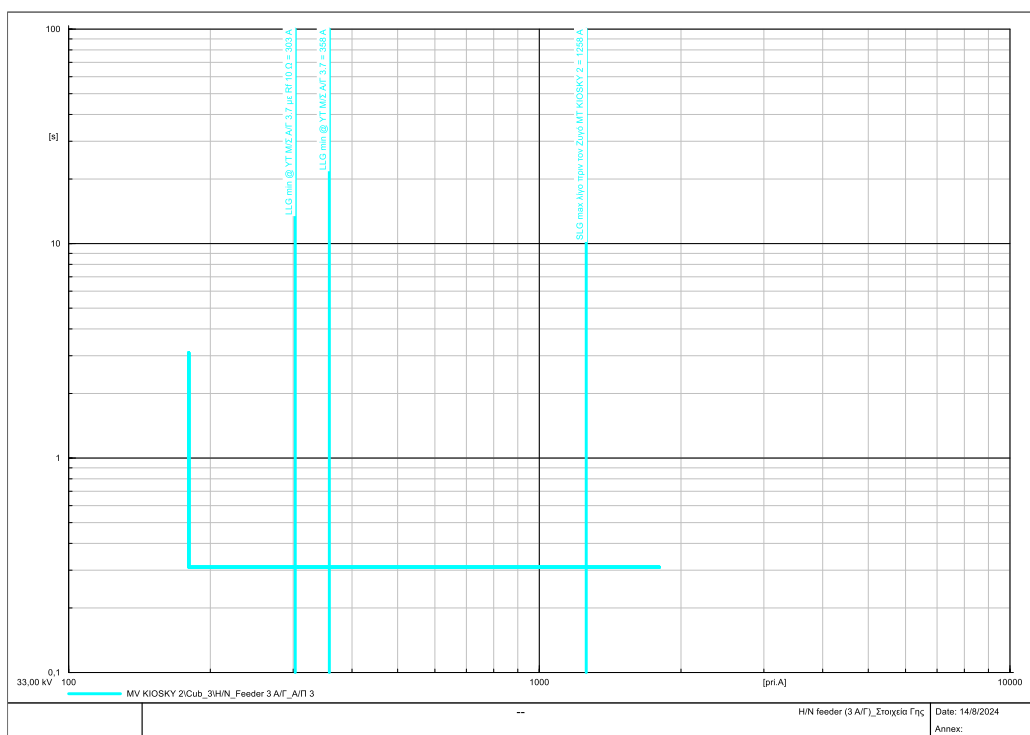
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder κλάδου 3 A/Γ:

Πίνακας 5-25: Ρυθμίσεις H/N feeder κλάδου 3 A/Γ A/Π 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			250A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	232,5 A (πρωτ)
		Time dial	0,15
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	1852 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	180 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-35: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder κλάδου 3 A/G A/Π 3.

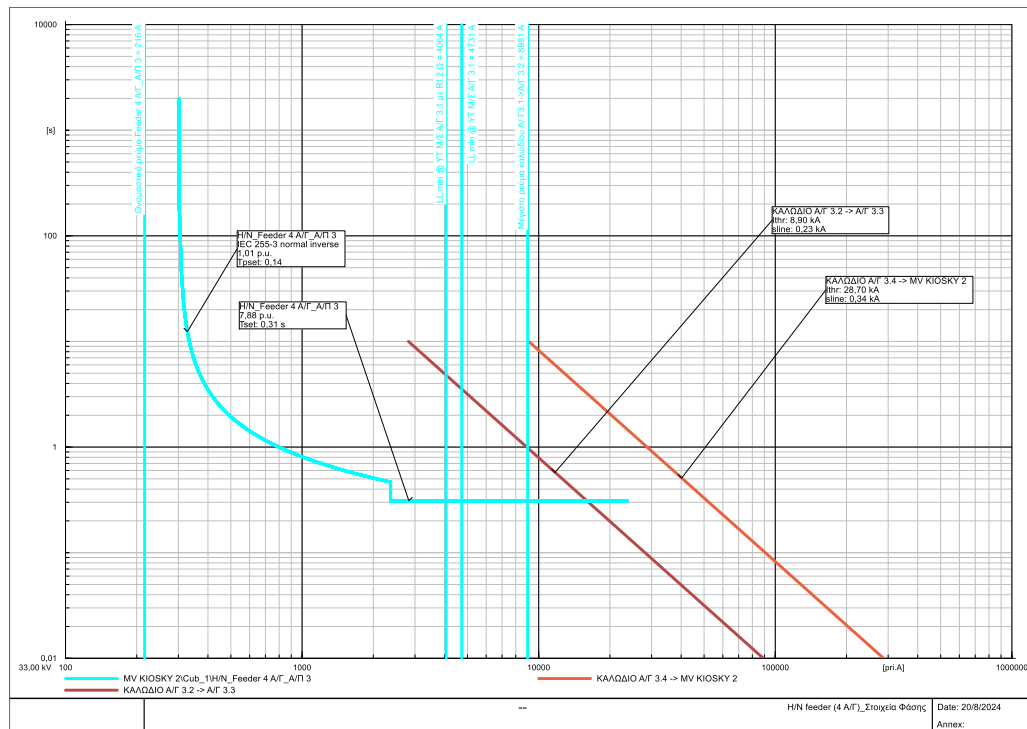


Εικόνα 5-36: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder κλάδου 3 A/G A/Π 3.

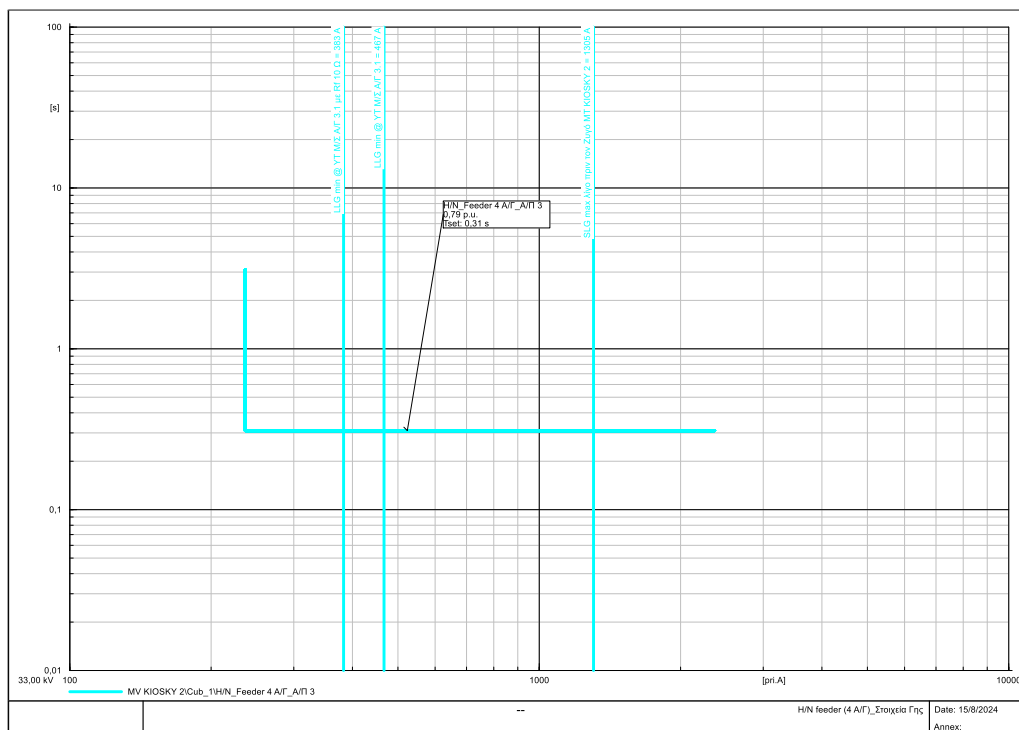
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder κλάδου 4 Α/Γ:

Πίνακας 5-26: Ρυθμίσεις H/N feeder κλάδου 4 Α/Γ Α/Π 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	302,4 A (πρωτ)
		Time dial	0,14
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2365,2 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	236,4 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-37: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder κλάδου 4 Α/Γ Α/Π 3.

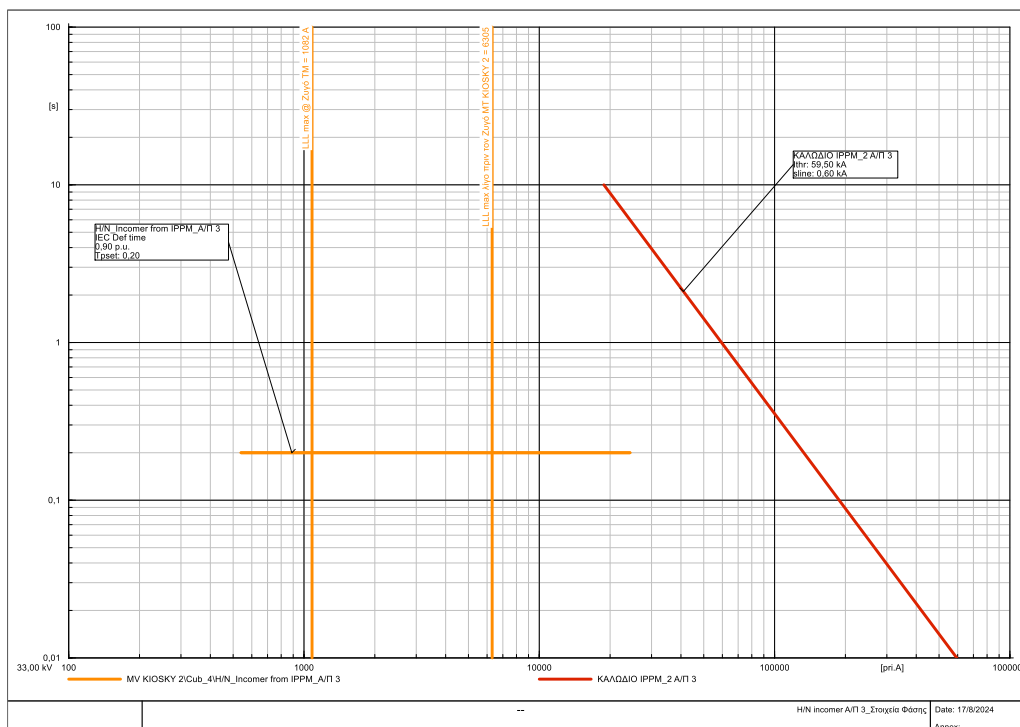


Εικόνα 5-38: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder κλάδου 4 A/Γ A/Π 3.

- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές κατευθυντικών H/N incomer 1-2 A/Π 3:

Πίνακας 5-27: Ρυθμίσεις κατευθυντικών incomer 1-2 A/Π 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			600A/5A
Μετασχηματιστής Τάσης (VT)			33000V/100V
Στοιχείο Φάσης	DT (κατεύθυνση προς Υ/Σ)	I _{pick-up}	540 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,2 s



Εικόνα 5-39: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N incomer 1-2 A/Π 3.

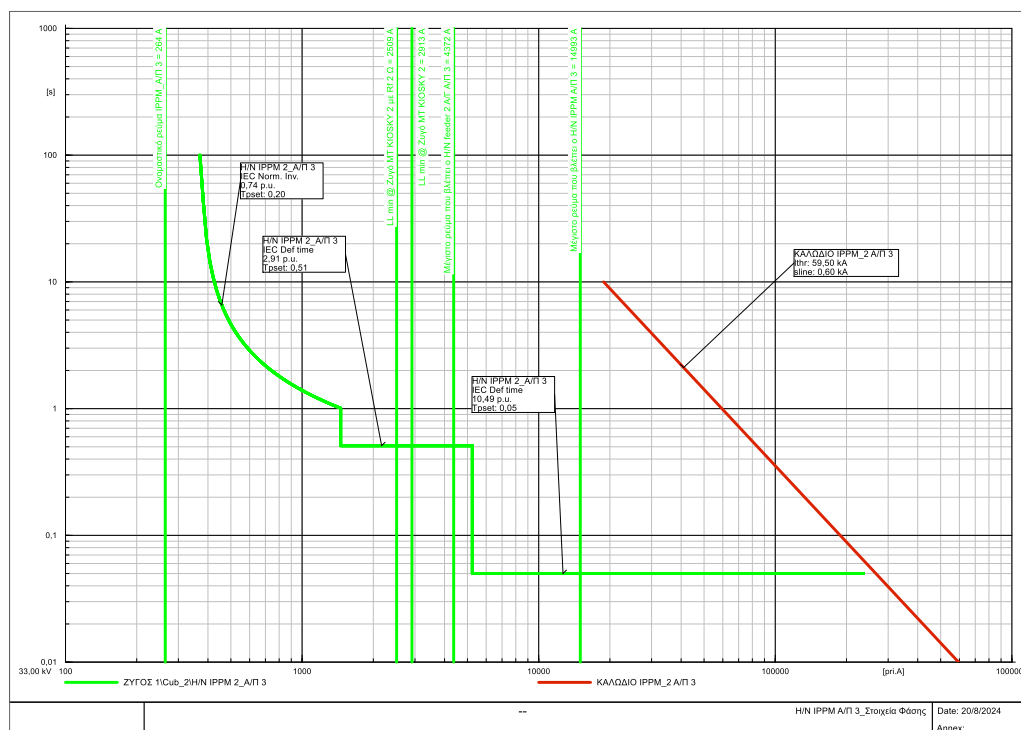
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N IPPM 1-2 A/Π 3:

Πίνακας 5-28: Ρυθμίσεις H/N IPPM 1-2 A/Π 3.

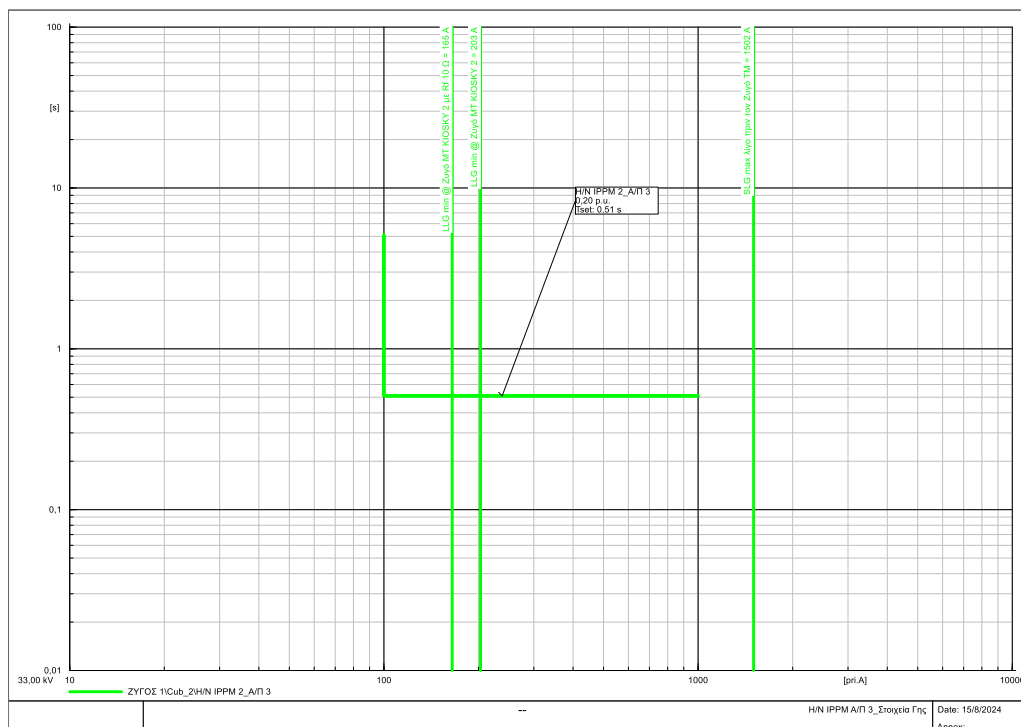
Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	370 A (πρωτ)
		Time dial	0,20
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	1455 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s
	DT (Stage 2, I>>)	I _{pick-up}	5245 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,05 s (instant)
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	100 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s

Στις ρυθμίσεις των στοιχείων φάσης έχουμε θέσει και ένα τρίτο στάδιο ορισμένου χρόνου το οποίο λειτουργεί σαν instant. Η ρύθμιση αυτή δεν επηρεάζει την επιλογικότητα του H/N της IPPM με τους H/N των feeder, καθώς έγινε με βάση τα ρεύματα που βλέπουν κι αυτοί. Για τη ρύθμιση, λοιπόν, βρήκαμε το μεγαλύτερο από τα μέγιστα ρεύματα που βλέπουν οι H/N των feeder για σφάλμα τριφασικό μέγιστο (δεδομένου ότι αυτό παρουσιάζει το μεγαλύτερο ρεύμα σφάλματος)

στα αντίστοιχα σημεία όπου βρίσκονται (λίγο πριν τον ζυγό του KIOSKY 2 σε κάθε γραμμή feeder). Ο λόγος που βρίσκουμε το μεγαλύτερο ρεύμα που ανιχνεύει ένας H/N από τους τρεις είναι διότι, αν το τρίτο στάδιο του H/N της IPPM ρυθμιστεί με βάση αυτό το ρεύμα, τότε θα γνωρίζουμε με βεβαιότητα ότι δεν θα ενεργοποιηθεί πιο γρήγορα και από του άλλους H/N που θα παρουσιάζουν μικρότερο ρεύμα σφάλματος για αντίστοιχο σφάλμα λίγο πριν τον ζυγό τους. Το μέγιστο αυτό ρεύμα το ανιχνεύει ο H/N του feeder 2 A/Γ και είναι ίσο με 10.592 A. Ωστόσο, το ρεύμα που συμβάλλει το δίκτυο σε αυτό το σφάλμα είναι ίσο με 8.744 A και χωρίζεται στις δύο IPPM. Επομένως ο κάθε H/N της IPPM θα ανιχνεύει σφάλμα 4.372 A. Άρα το τρίτο στάδιο μπορεί να ρυθμιστεί με ένα ασφαλές περιθώριο της τάξης του 20%, ώστε να είμαστε ικανοί να προβλέψουμε και τα διάφορα σφάλματα των CT κι έτσι να οριστεί στο 120% του ρεύματος 4.372 A. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε οι IPPM να λειτουργούν και να απομονώνουν άμεσα τα μέγιστα σφάλματα στην ζώνη προστασίας τους.



Εικόνα 5-40: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM 1-2 A/Π 3.



Εικόνα 5-41: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 A/Π 3.

5.3.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 1-2

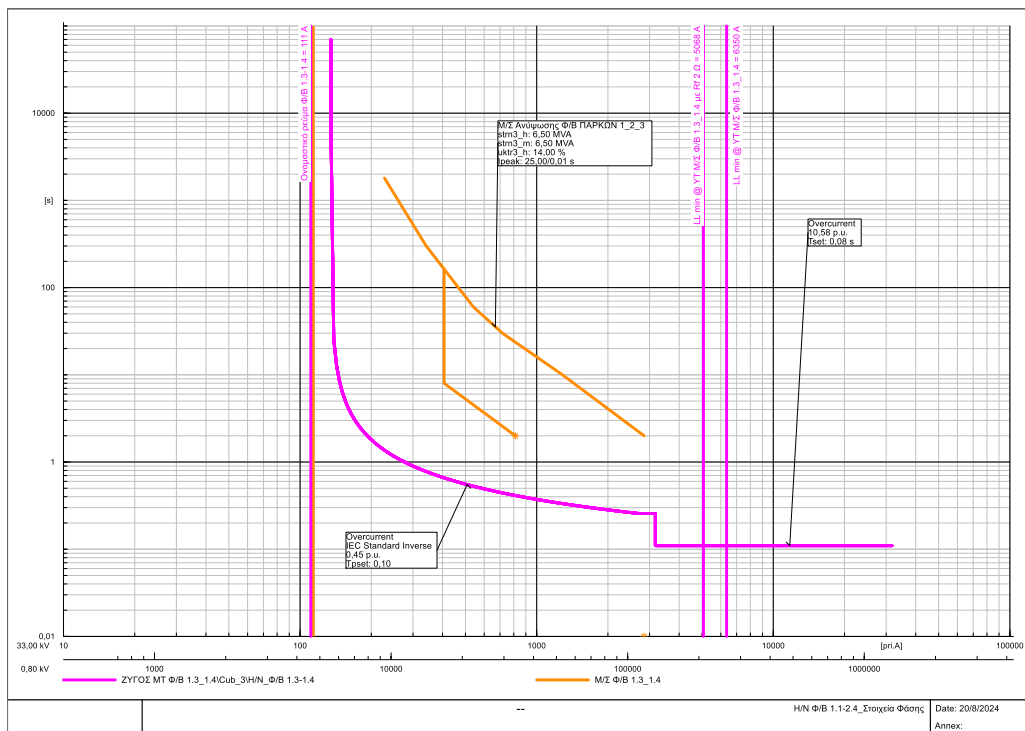
Τα σχήματα προστασίας των φωτοβολταϊκών πάρκων 1-2 είναι ίδια μεταξύ τους καθώς επίσης και οι ρυθμίσεις των αντίστοιχων H/N. Διαθέτει έναν H/N υπερέντασης στους ζυγούς YT των φωτοβολταϊκών για την προστασία του μετασχηματιστή ανύψωσης, έναν H/N υπερέντασης στον feeder των πάρκων και έναν στην πύλη παραγωγού. Οι ρυθμίσεις των δύο H/N φαίνονται αντίστοιχα στους παρακάτω δύο πίνακες.

– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N Φ/Β 1.1-1.4 & 2.1-2.4:

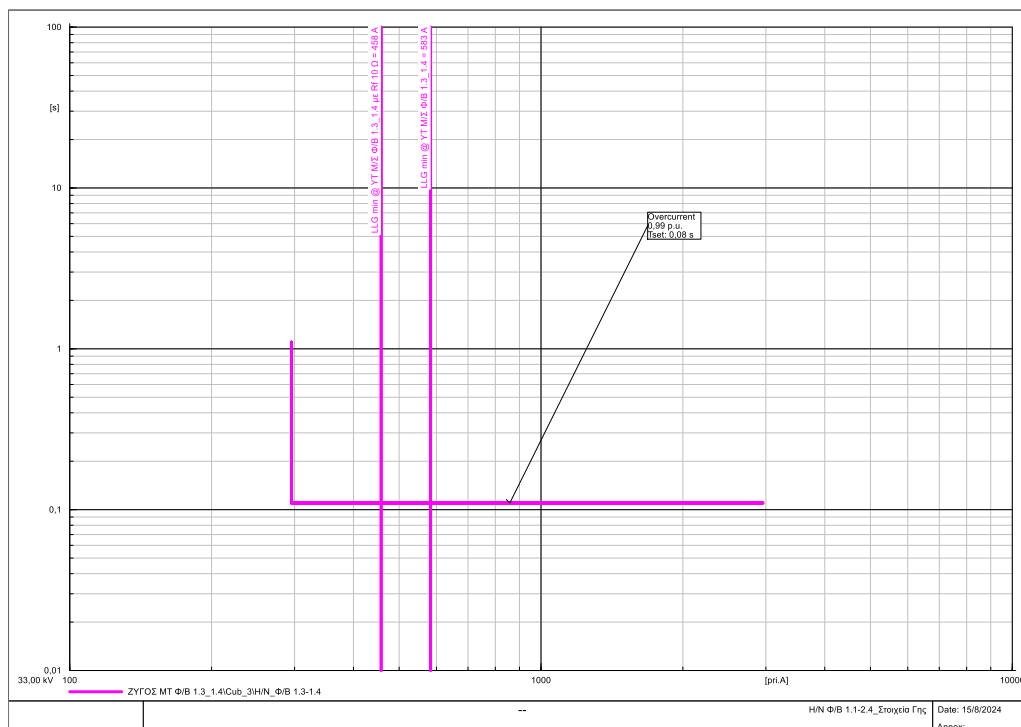
Οι H/N των φωτοβολταϊκών στα στοιχεία φάσης τους έχουν και μια χαρακτηριστική ορισμένου χρόνου πέρα από την χαρακτηριστική αντιστροφής χρόνου.

Πίνακας 5-29: Ρυθμίσεις H/N Φ/B 1.1-2.4.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	135 A (πρωτ)
		Time dial	0,08
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	3174 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,11 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	295,5 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,11 s



Εικόνα 5-42: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Φ/B 1.1-1.4/2.1-2.4.



Εικόνα 5-43: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Φ/B 1.1-1.4/2.1-2.4.

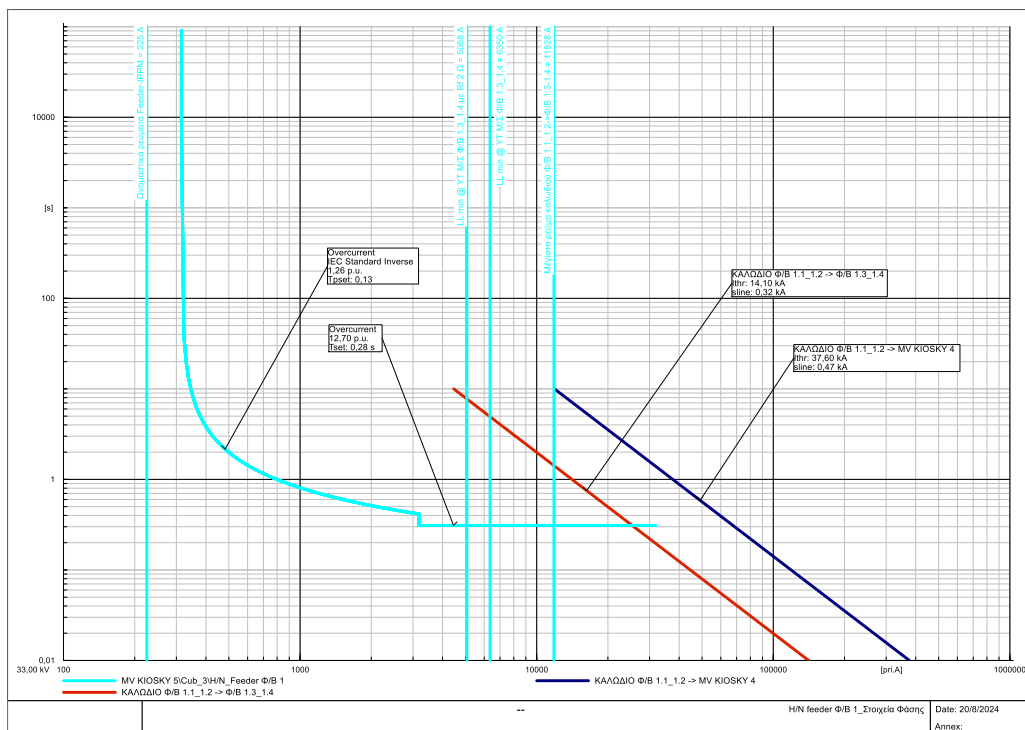
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder Φ/B πάρκων 1-2:

Πίνακας 5-30: Ρυθμίσεις H/N feeder Φ/B πάρκων 1-2.

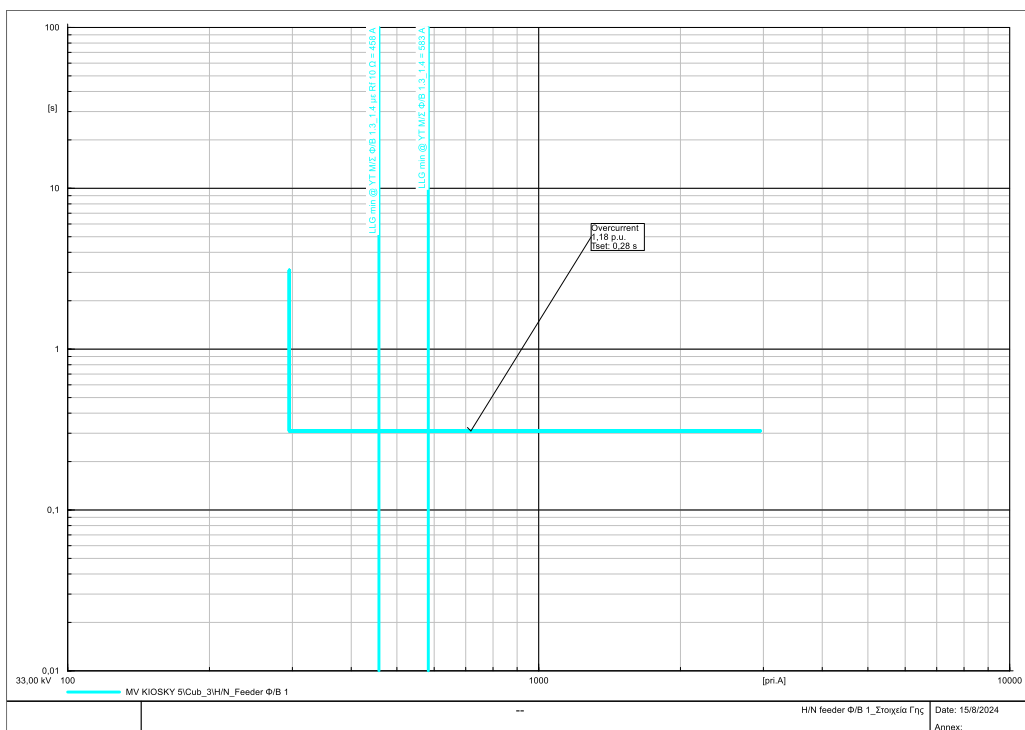
Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			250A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	315 A (πρωτ)
		Time dial	0,13
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	3175 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	295,5 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s

Στην **Εικόνα 5-44** παρουσιάζεται και το damage curve του καλωδίου του feeder του Φ/B 1. Το μέγιστο ρεύμα το οποίο μπορεί να περάσει από το καλώδιο, είναι προφανές ότι θα εμφανίζεται σε ένα σφάλμα, το οποίο θα γίνεται σε τέτοιο σημείο, ώστε να τροφοδοτείται από το δίκτυο και το ρεύμα να διαπερνά όλο το καλώδιο. Το ρεύμα που διαπερνά το μικρό καλώδιο, το οποίο συνδέει τα Φ/B 1.1-1.2 με τα Φ/B 1.3-1.4 (φαίνεται στην παρακάτω εικόνα) είναι το μέγιστο, 11.828 A, και το σημείο στο οποίο εκτελείται το σφάλμα, το οποίο σημειώνουμε ότι είναι τριφασικό μέγιστο, είναι ο Ζυγός YT του Μ/Σ ανύψωσης των Φ/B του πάρκου. Ο H/N, όπως

φαίνεται καθαρά στην παρακάτω εικόνα, προστατεύει ασφαλώς το καλώδιο αυτό, κατά συνέπεια, και για τους λόγους που προαναφέραμε, θα προστατεύσει και το μεγαλύτερο καλώδιο του πάρκου.



Εικόνα 5-44: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder Φ/B 1.

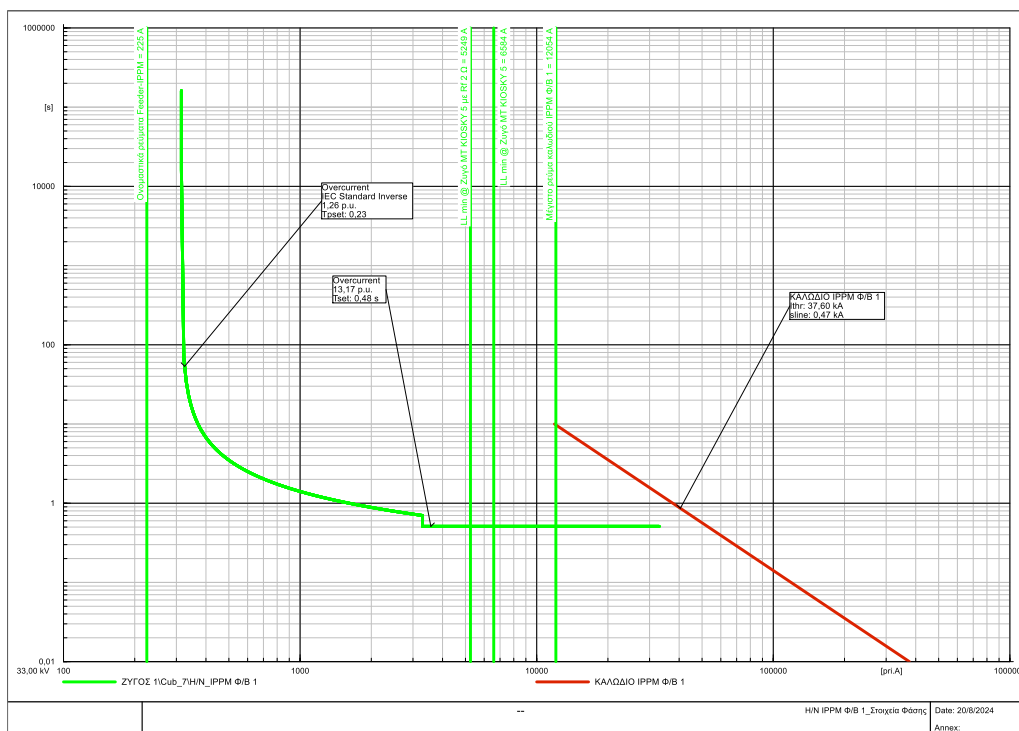


Εικόνα 5-45: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder Φ/B 1.

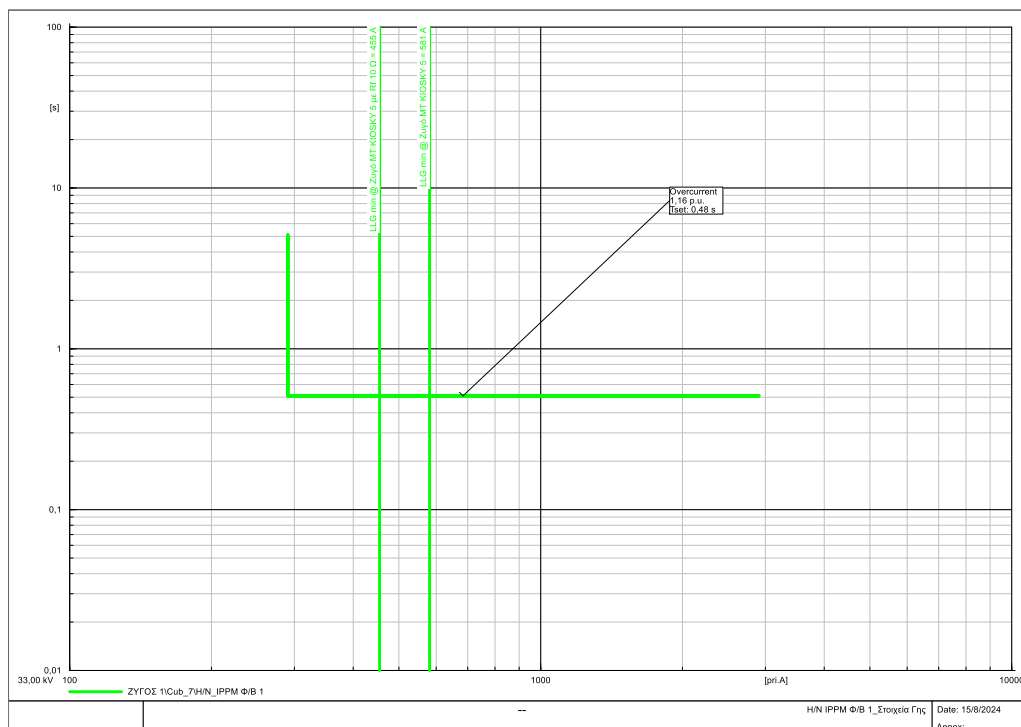
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N IPPM Φ/Β πάρκων 1-2:

Πίνακας 5-31: Ρυθμίσεις H/N IPPM Φ/Β πάρκων 1-2.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			250A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	315 A (πρωτ)
		Time dial	0,23
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	3292,5 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	290,5 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s



Εικόνα 5-46: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM Φ/Β 1.



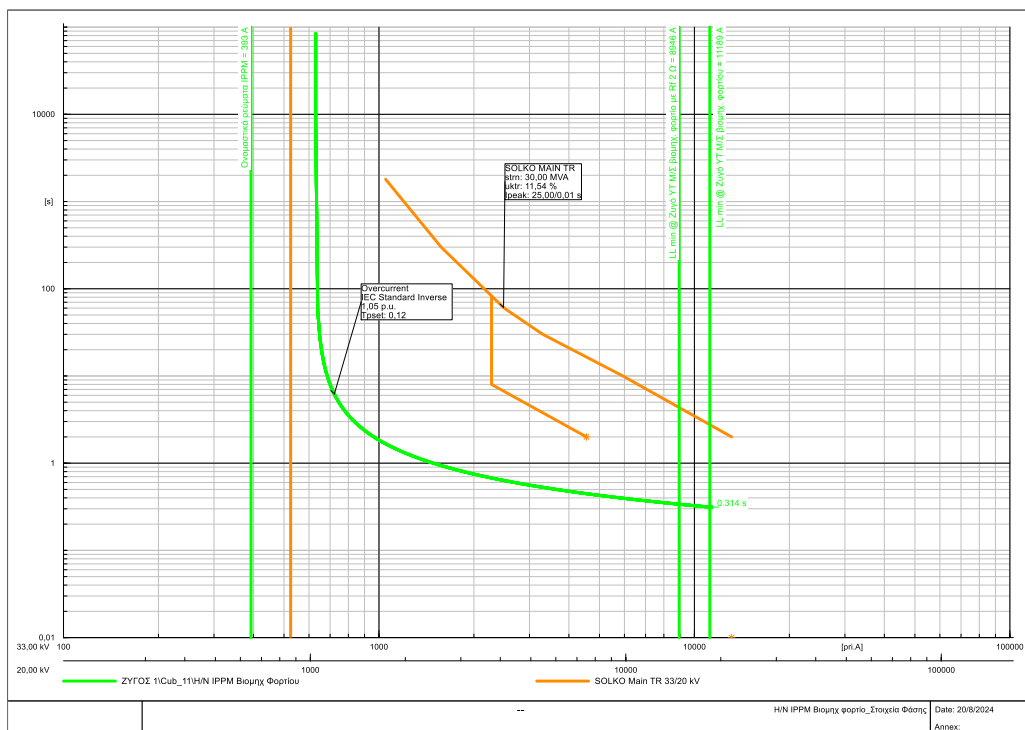
Εικόνα 5-47: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM Φ/B 1.

5.3.6 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

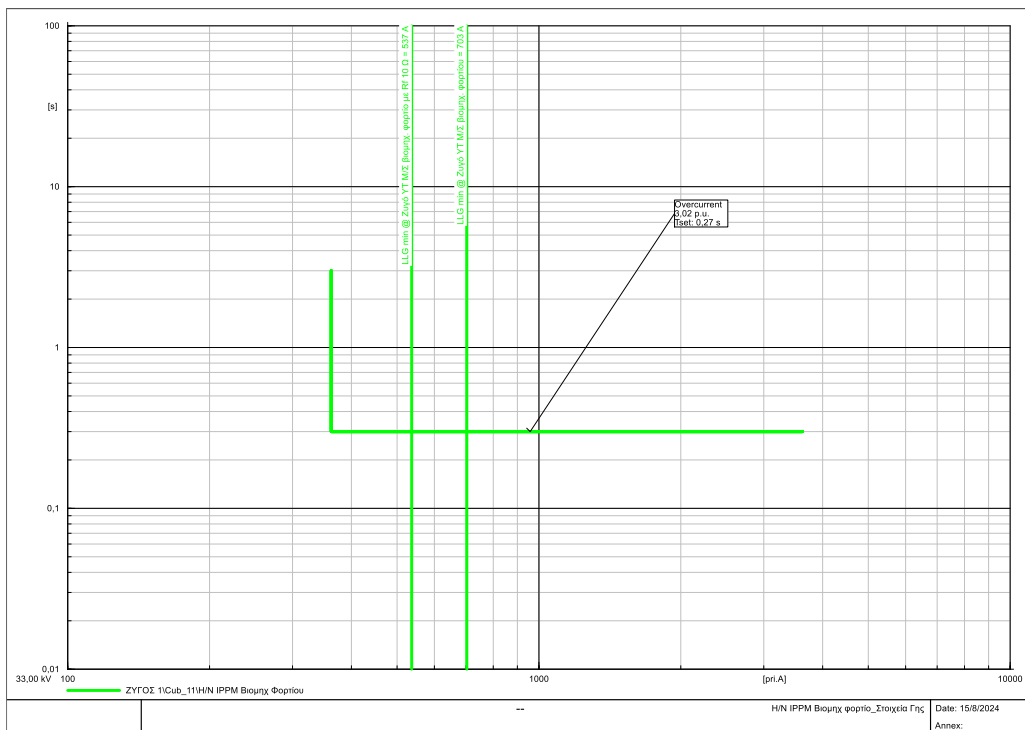
Το σχήμα του βιομηχανικού φορτίου αποτελείται από έναν H/N ο οποίος βρίσκεται στην IPPM και το κύριο μέσο προστασίας του είναι ο Μ/Σ υποβιβασμού, ο οποίος τροφοδοτεί τα φορτία. Παρακάτω φαίνονται οι ρυθμίσεις και οι χαρακτηριστικές του H/N αυτού του πάρκου.

Πίνακας 5-32: Ρυθμίσεις H/N IPPM βιομηχανικού φορτίου.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			600A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	630 A (πρωτ)
		Time dial	0,12
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	362,52 A (πρωτ)
		Time dial	0,3 s



Εικόνα 5-48: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM Βιομηχανικού Φορτίου.



Εικόνα 5-49: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM Βιομηχανικού Φορτίου.

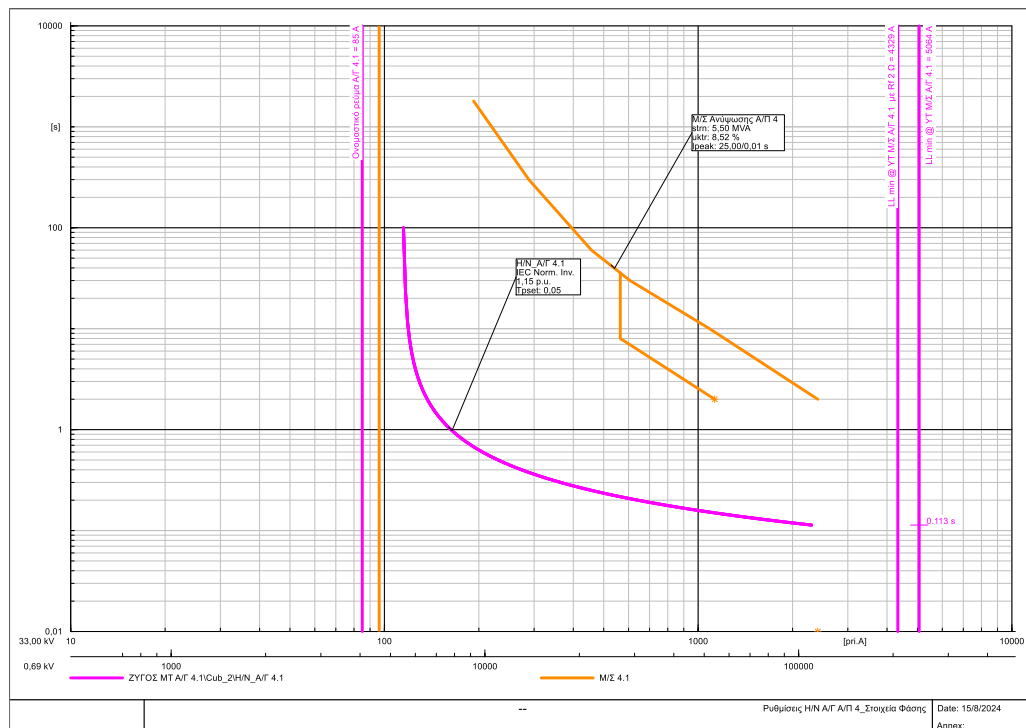
5.3.7 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 4

Για την εξαγωγή των ρυθμίσεων των H/N του αιολικού πάρκου 4 ακολουθούμε τους κανόνες που ορίσαμε στο τέλος της περιγραφής του αιολικού πάρκου 2 (σελίδες 114-114). Το εν προκειμένω αιολικό πάρκο έχει μόνο μια IPPM και όχι 2 παράλληλες, επομένως ο H/N του incoher σε αυτή την περίπτωση δεν έχει κάποια ιδιαίτερη ουσία στο να είναι κατευθυντικός. Οι ρυθμίσεις H/N φαίνονται παρακάτω στους πίνακες (Πίνακας 5-33, Πίνακας 5-37).

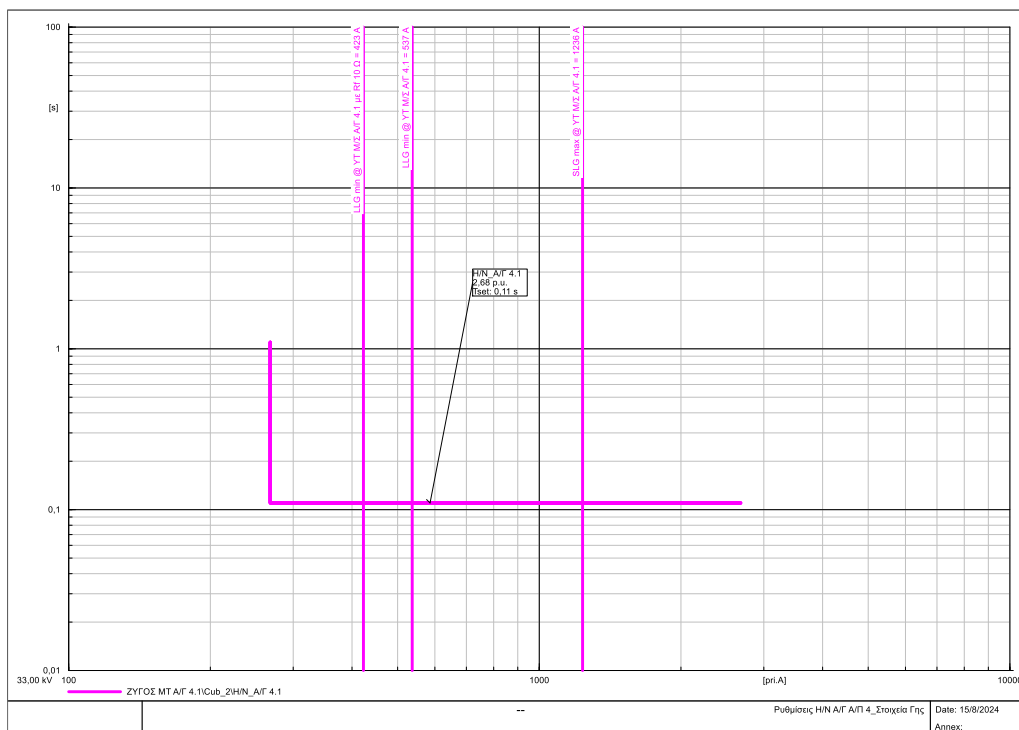
– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N A/Γ 4.1-4.7:

Πίνακας 5-33: Ρυθμίσεις H/N A/Γ 4.1-4.7.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			100A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	115 A (πρωτ)
		Time dial	0,05
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	268 A (πρωτ)
		Time dial	0,11 s



Εικόνα 5-50: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N A/Γ 4.1-4.7.

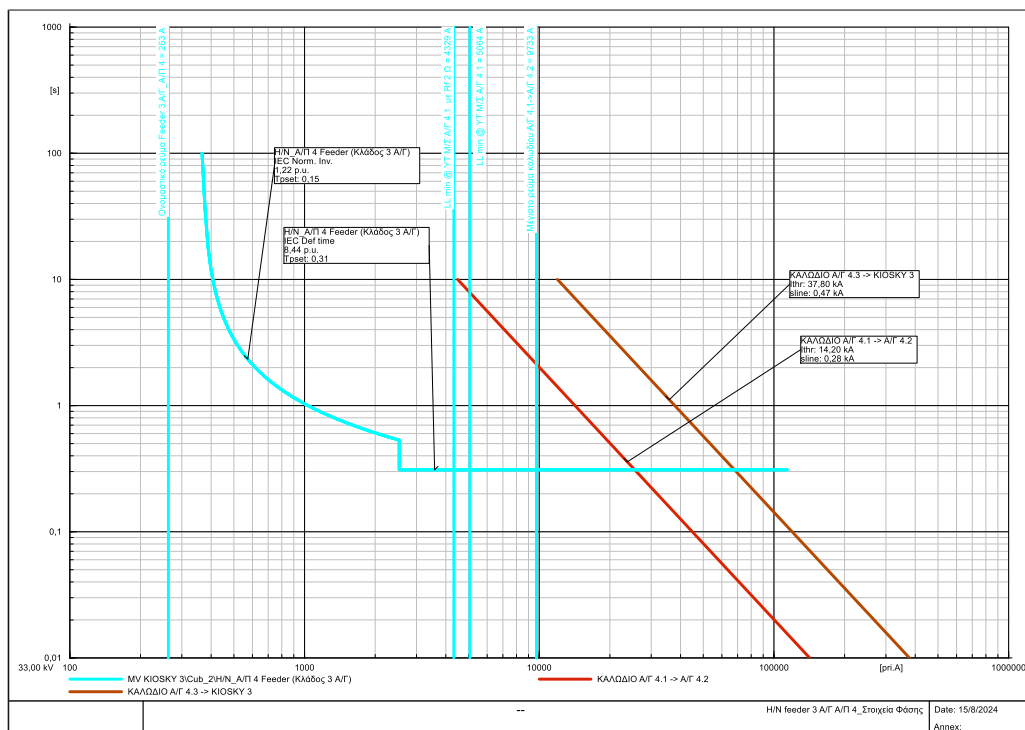


Εικόνα 5-51: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/G 4.1-4.7.

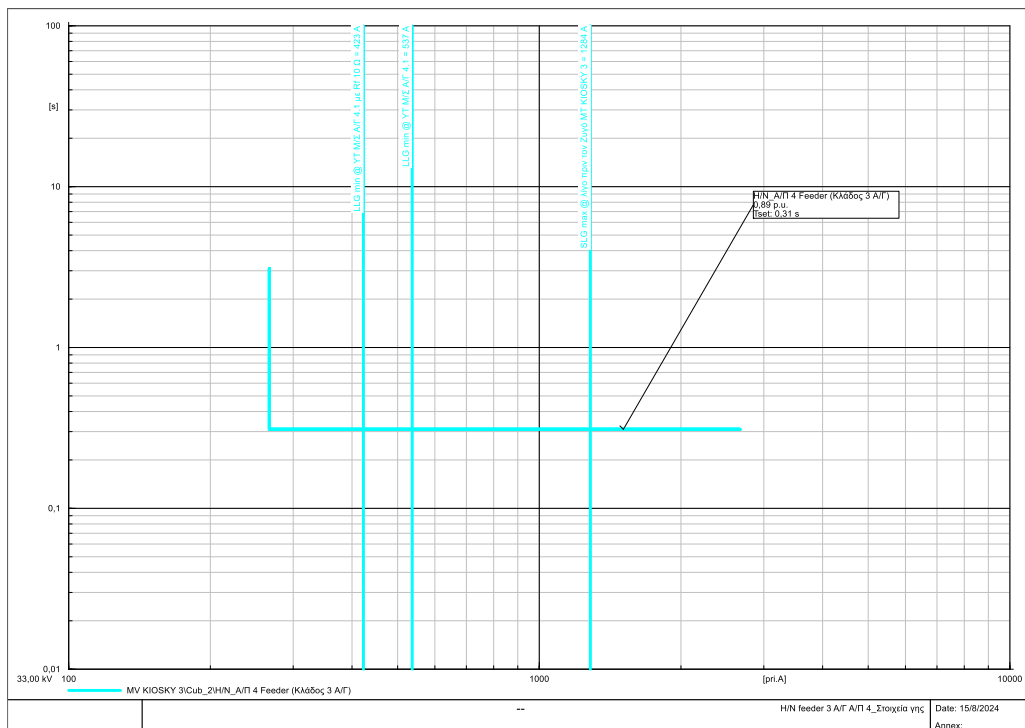
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder 3 A/G του A/Π 4:

Πίνακας 5-34: Ρυθμίσεις H/N feeder 3 A/G του A/Π 4.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	366 A (πρωτ)
		Time dial	0,15
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2532 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	267 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-52: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 3 A/Γ του A/Π 4.

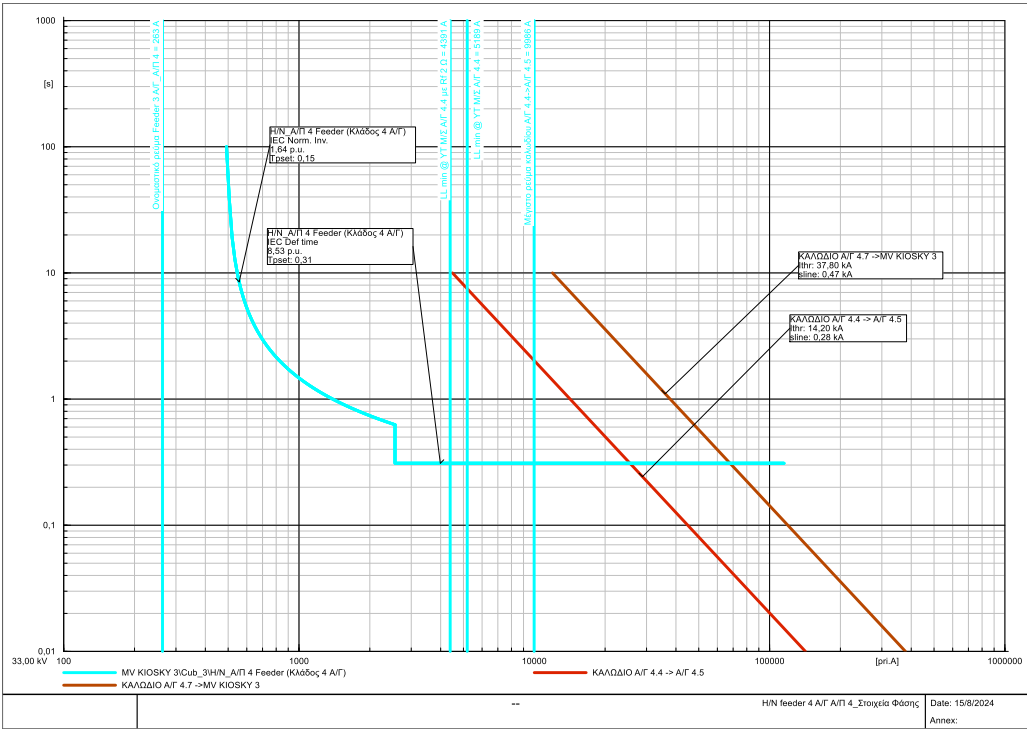


Εικόνα 5-53: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 3 A/Γ του A/Π 4.

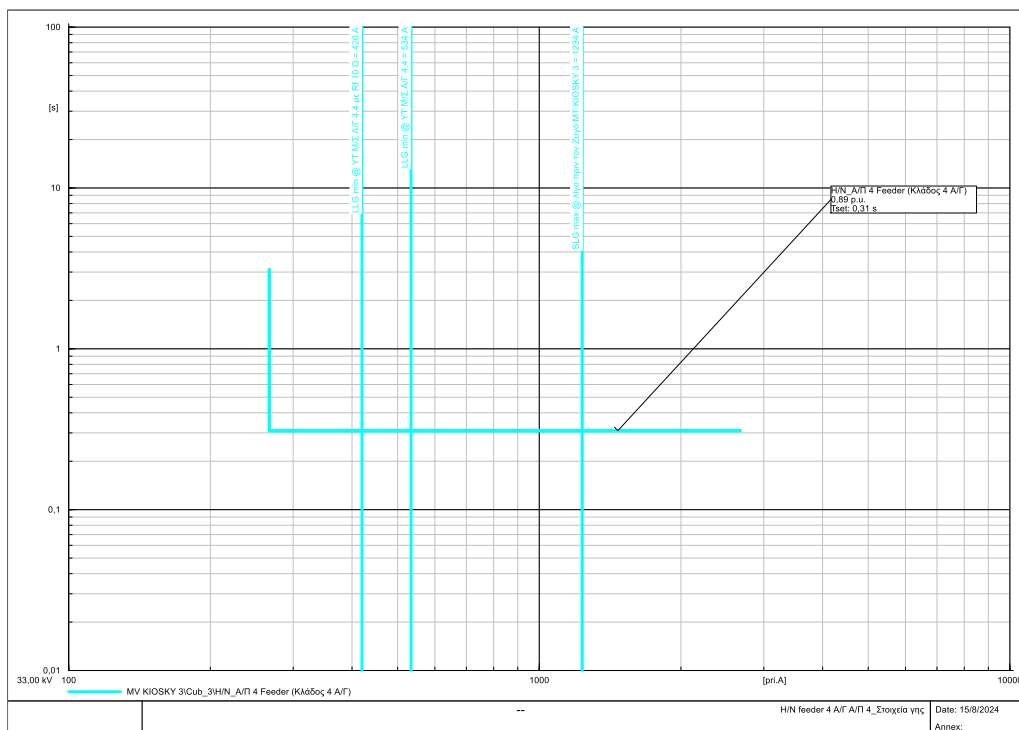
– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder 4 A/Γ του Α/Π 4:

Πίνακας 5-35: Ρυθμίσεις H/N feeder 4 A/Γ του Α/Π 4.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	492 A (πρωτ)
		Time dial	0,15
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2559 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	267 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-54: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 4 A/Γ του Α/Π 4.



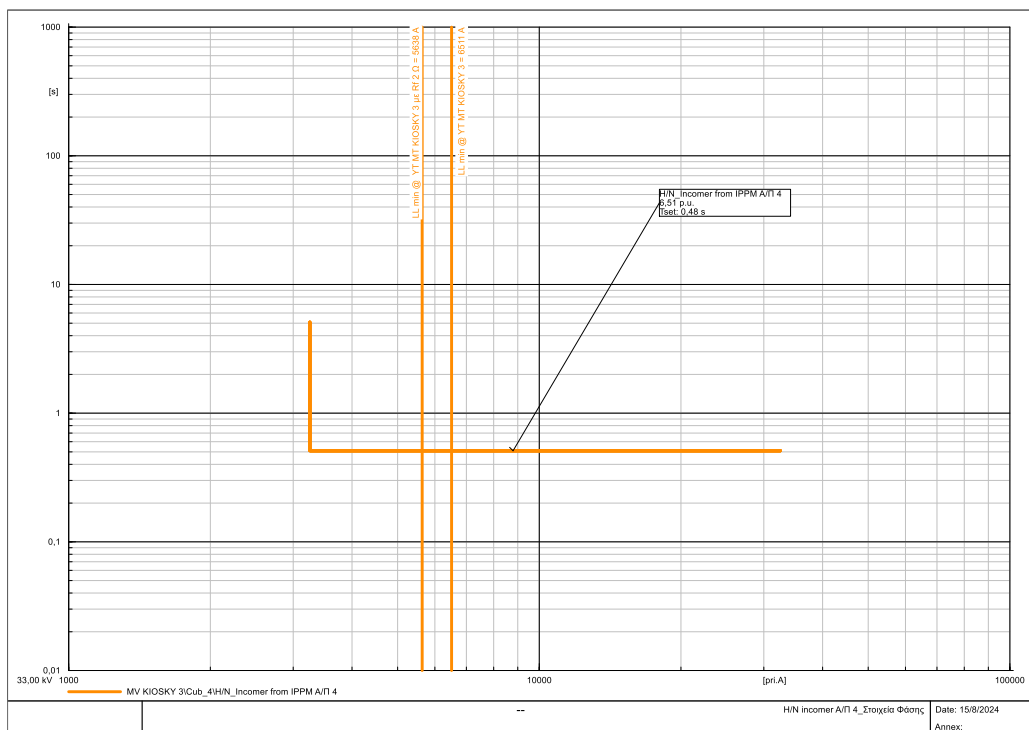
Εικόνα 5-55: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 4 A/Γ του A/Π 4.

- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N incomer του A/Π 4:

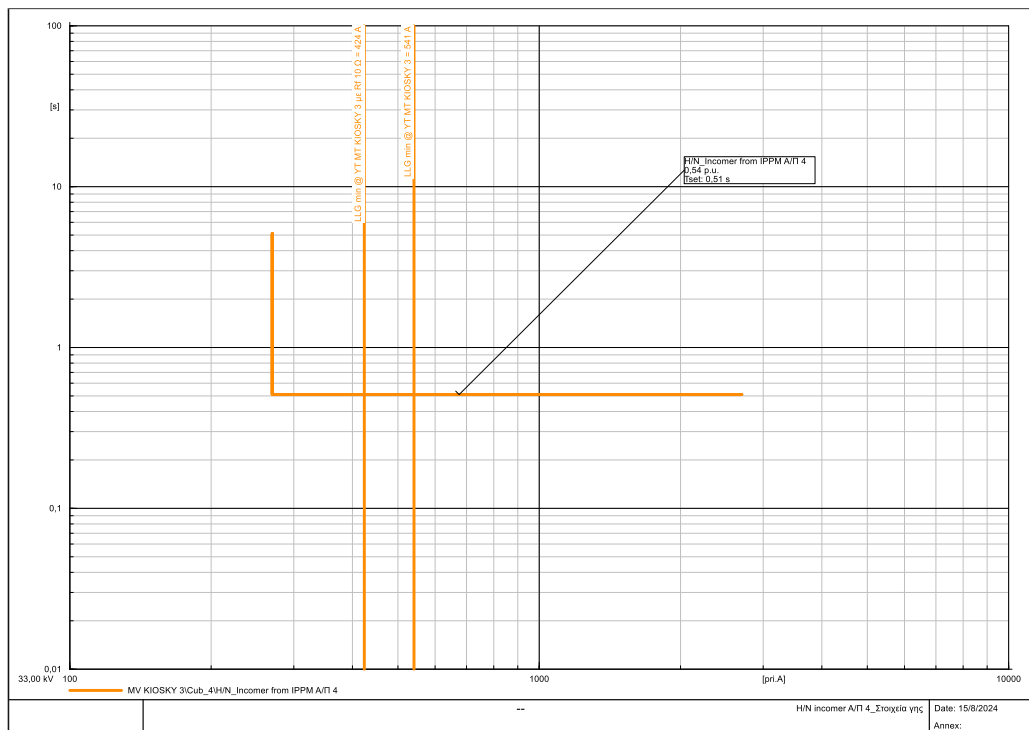
Οι H/N των incomer επιλέχθηκαν στα στοιχεία φάσης να έχουν ένα στάδιο ορισμένου χρόνου, ώστε να προστατεύουν τον ζυγό στο KIOSKY 3 από σφάλματα.

Πίνακας 5-36: Ρυθμίσεις H/N incomer του A/Π 4.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500A/5A
Στοιχείο Φάσης	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	3255 A (πρωτ)
		Time dial	0,51
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	270 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s



Εικόνα 5-56: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N inverter του Α/Π 4.



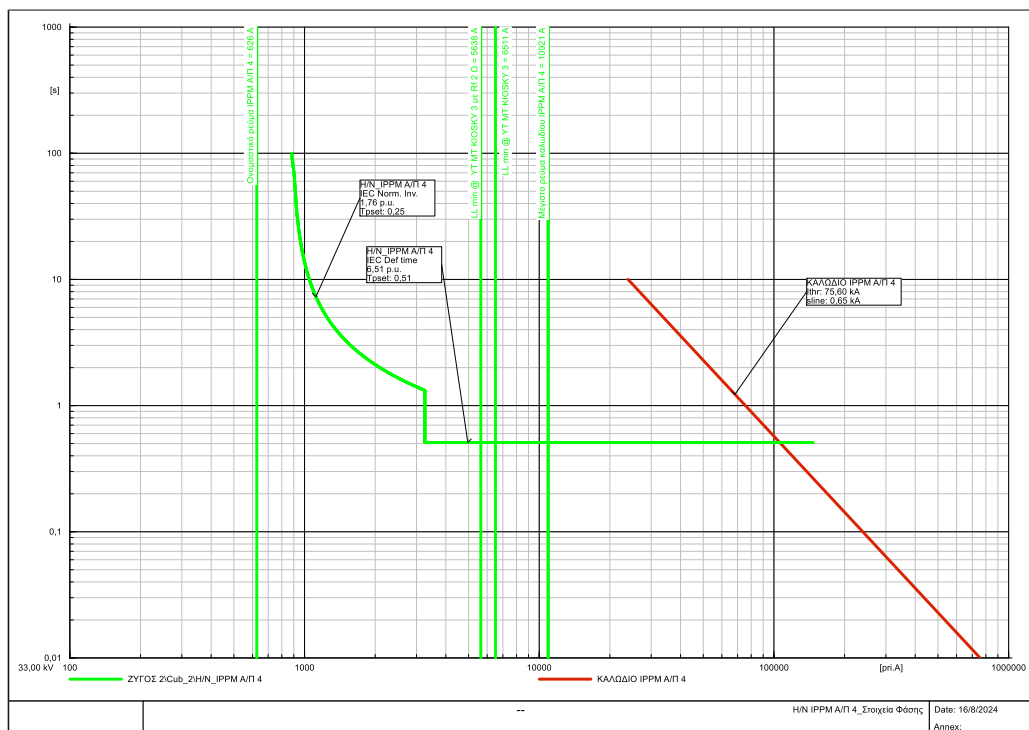
Εικόνα 5-57: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N inverter του Α/Π 4.

– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N IPPM του A/Π 4:4

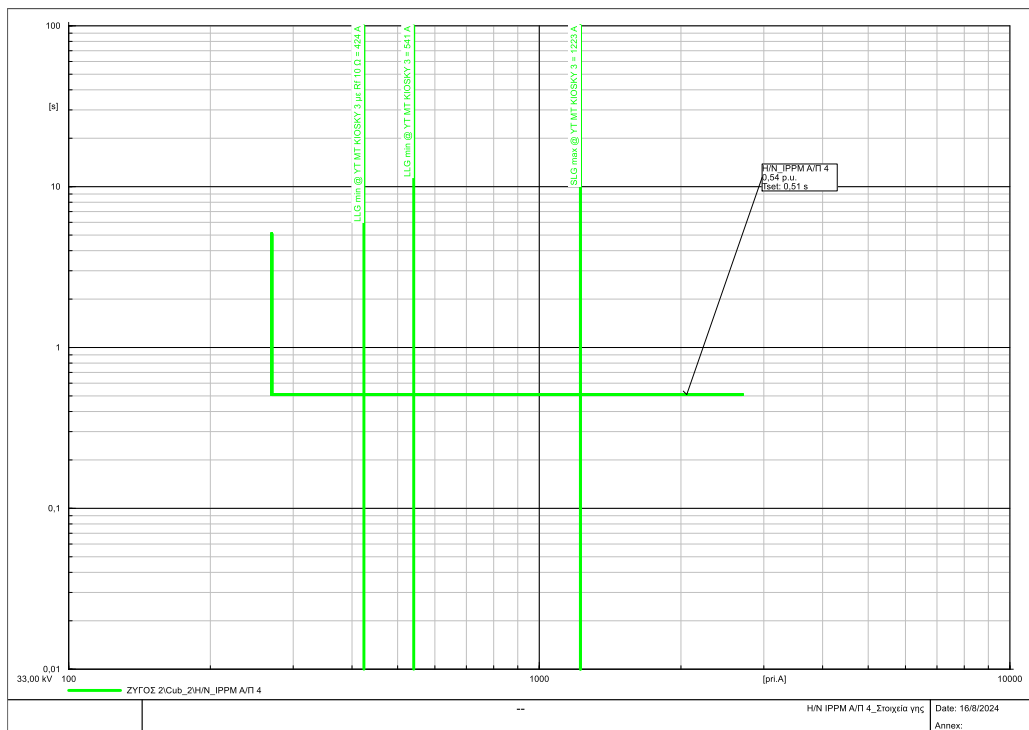
Τα στοιχεία φάσης του H/N της IPPM αποτελούνται και από ένα στάδιο αντιστρόφου χρόνου και από ένα στάδιο ορισμένου χρόνου. Αξίζει να σημειώσουμε εδώ πως τα στάδια ορισμένου χρόνου του H/N της IPPM και του H/N του incomer ρυθμίστηκαν στο ίδιο pick-up current, αλλά και να λειτουργούν στον ίδιο χρόνο και για το στοιχείο φάσης και για το στοιχείο γης. Αυτό δεν επηρεάζει κάπου τη λειτουργία του πάρκου και ας μην τηρείται η επιλογικότητα μεταξύ αυτών των δύο, καθώς με το να βγει η IPPM εκτός ταυτόχρονα με τον incomer για σφάλμα στο KIOSKY 3, δεν θα τεθεί εκτός κάποιο σύστημα, το οποίο θα μπορέσει να συνεχίσει να λειτουργεί γι' αυτό το σφάλμα. Επομένως, σε περίπτωση που για οποιονδήποτε λόγο δεν λειτουργήσει ο H/N του incomer για σφάλμα στο KIOSKY 3, τότε θα κόψει στον ίδιο χρόνο η IPPM.

Πίνακας 5-37: Ρυθμίσεις H/N IPPM A/Π 4.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	880 A (πρωτ)
		Time dial	0,25
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	3255 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	270 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s



Εικόνα 5-58: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM του Α/Π 4.



Εικόνα 5-59: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM του Α/Π 4.

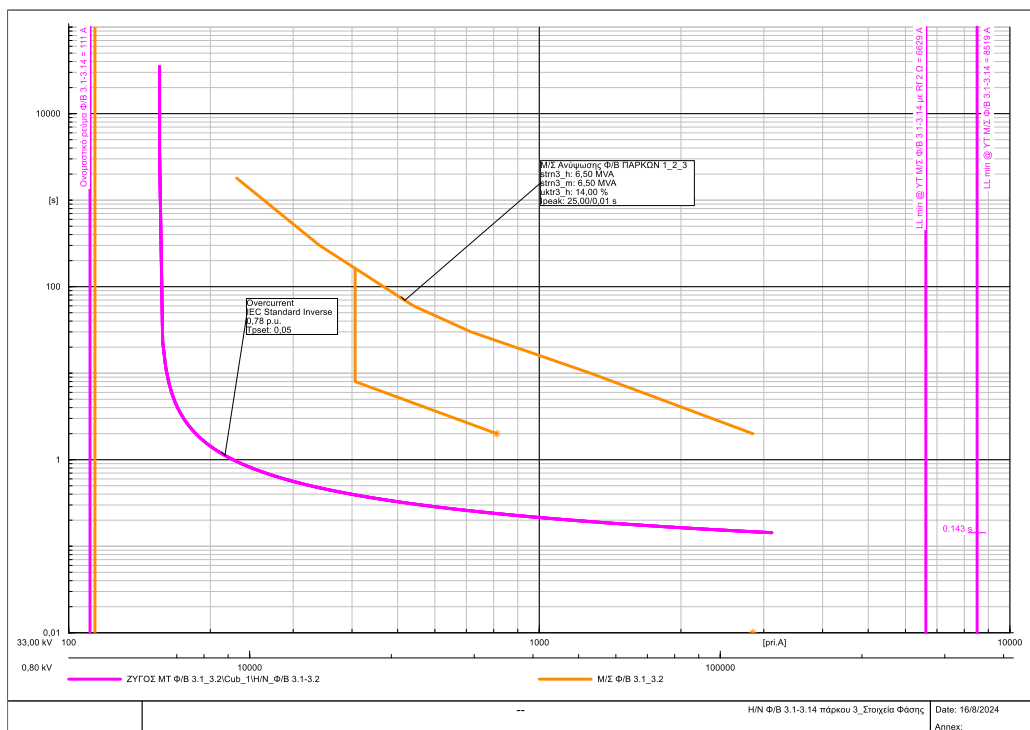
5.3.8 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ 3

Για την εξαγωγή των ρυθμίσεων των H/N του φωτοβολταϊκού πάρκου 3 ακολουθούμε τους κανόνες που ορίσαμε στο τέλος της περιγραφής του αιολικού πάρκου 2 (σελίδα 114). Το σχήμα προστασίας αυτού του φωτοβολταϊκού πάρκου μοιάζει με αυτό του αιολικού πάρκου 2. Διαθέτει δυο παράλληλες IPPM και οι H/N στους incomer του KIOSKY 7 είναι κατευθυντικοί και βλέπουν σφάλματα προς τον ζυγό. Σημειώνουμε ότι στο KIOSKY 7 έχουμε δύο ζυγούς, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με έναν διακόπτη φορτίου που είναι κλειστός. Επομένως, στην κανονική λειτουργία του πρόκειται για έναν ενιαίο ζυγό. Προφανώς και οι ρυθμίσεις των H/N των IPPM θα εξαχθούν με κλειστό τον διακόπτη φορτίου, διότι τότε είναι που βλέπουν και το μικρότερο ρεύμα για σφάλμα στους ζυγούς του KIOSKY 7, καθώς το ρεύμα που τροφοδοτείται από το δίκτυο με κλειστό διακόπτη φορτίου μοιράζεται και στις 2 IPPM. Οι ρυθμίσεις H/N φαίνονται παρακάτω στους πίνακες (**Πίνακας 5-38, Πίνακας 5-43**).

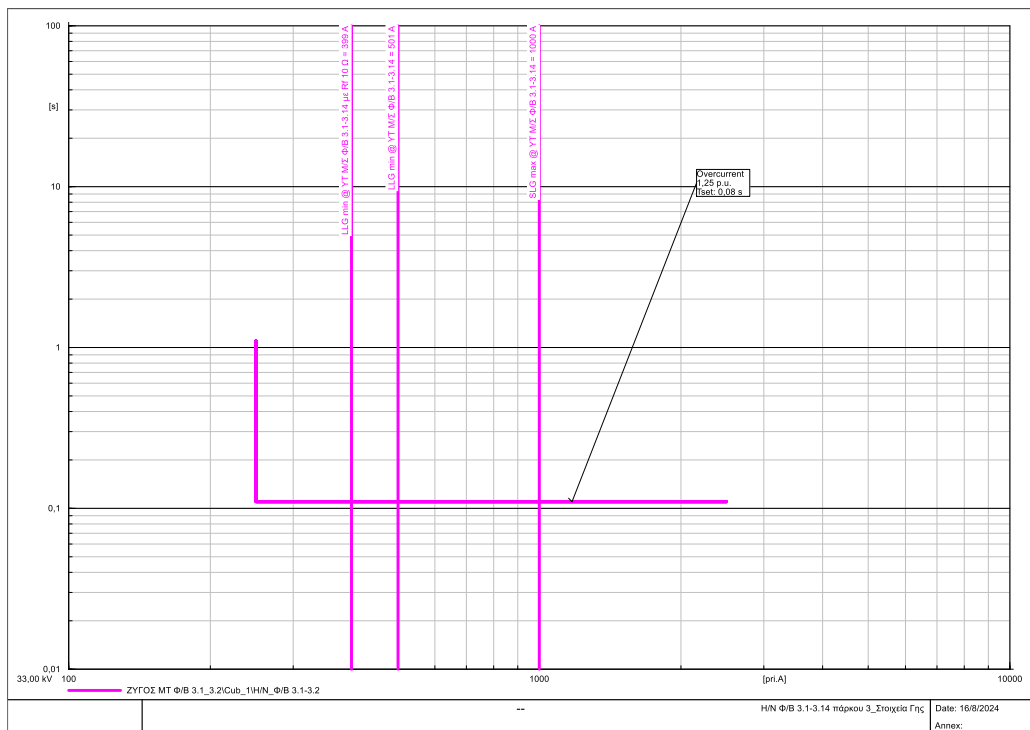
– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N Φ/B 3.1-3.14 του Φ/B πάρκου 3:

Πίνακας 5-38: Ρυθμίσεις H/N Φ/B 3.1-3.14.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			200A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	156 A (πρωτ)
		Time dial	0,05
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	250 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,11 s



Εικόνα 5-60: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N Φ/Β 3.1-3.14.

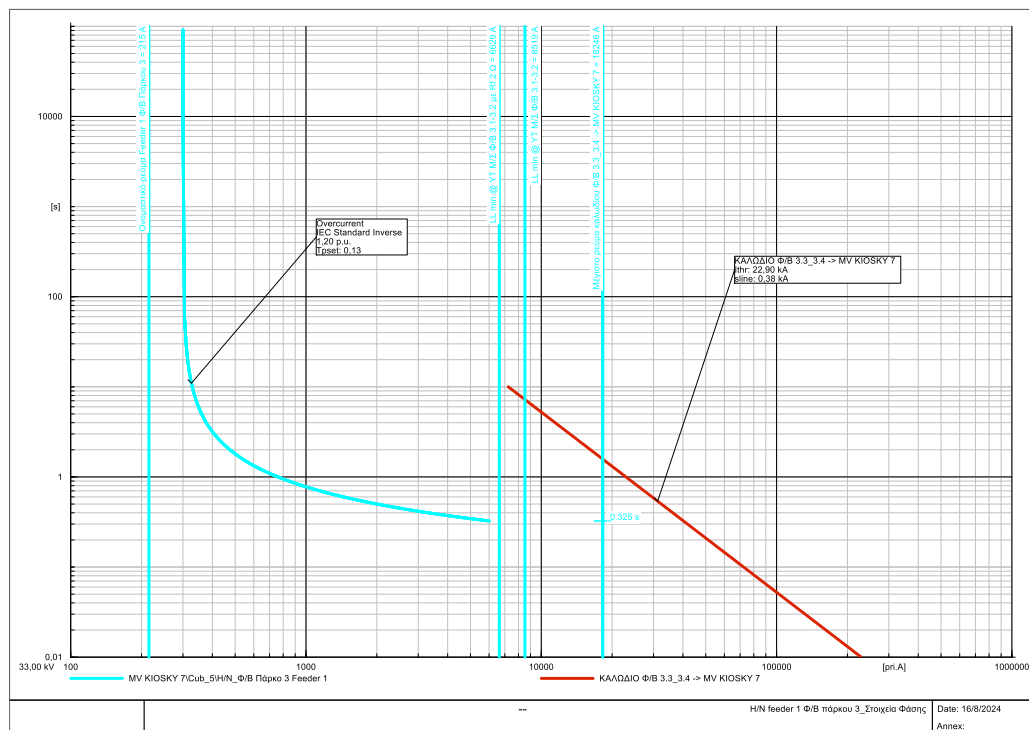


Εικόνα 5-61: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N Φ/Β 3.1-3.14.

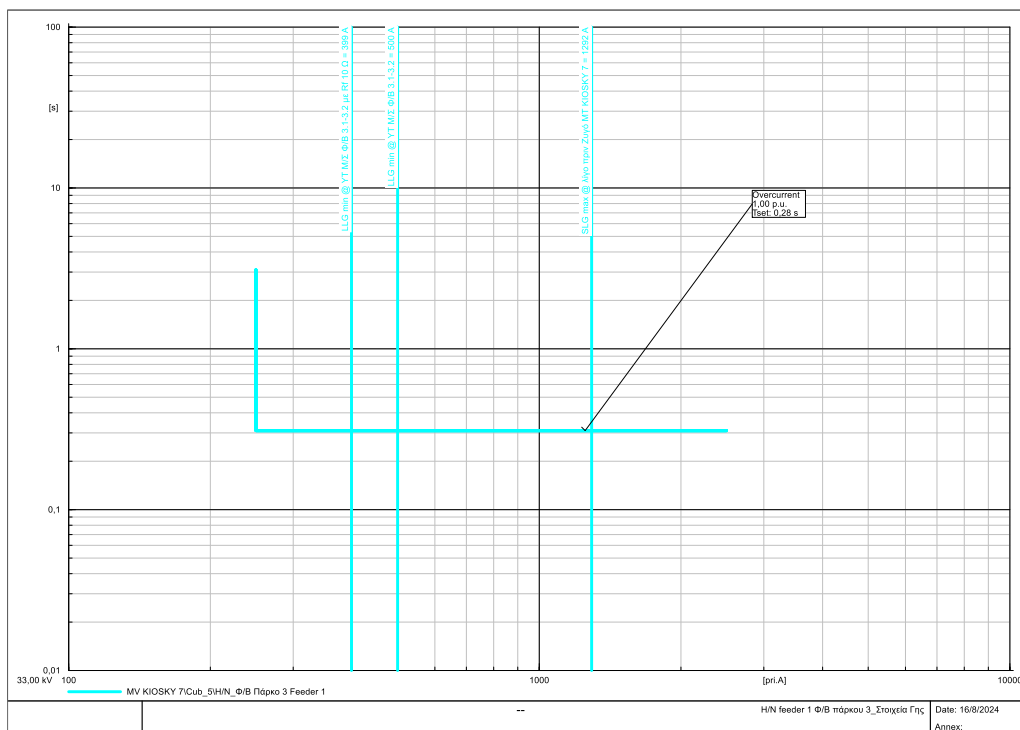
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder 1 Φ/Β πάρκου 3:

Πίνακας 5-39: Ρυθμίσεις H/N feeder 1 Φ/Β πάρκου 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			250A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	300 A (πρωτ)
		Time dial	0,13
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	250 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-62: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 1 Φ/Β πάρκου 3.

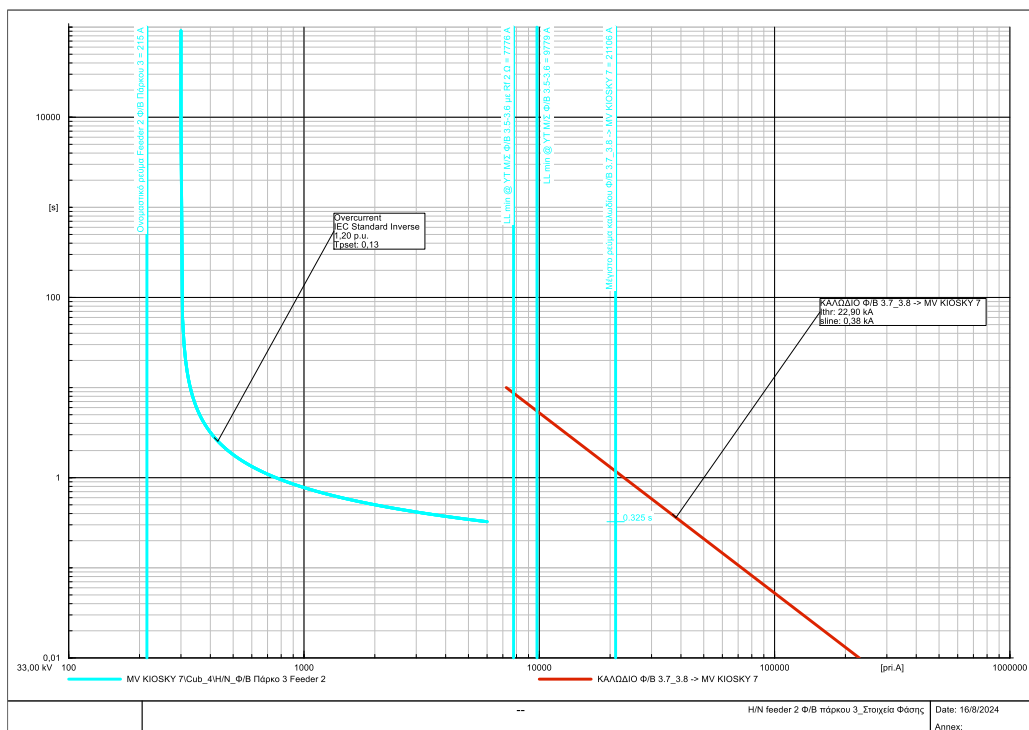


Εικόνα 5-63: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 1 Φ/B πάρκου 3.

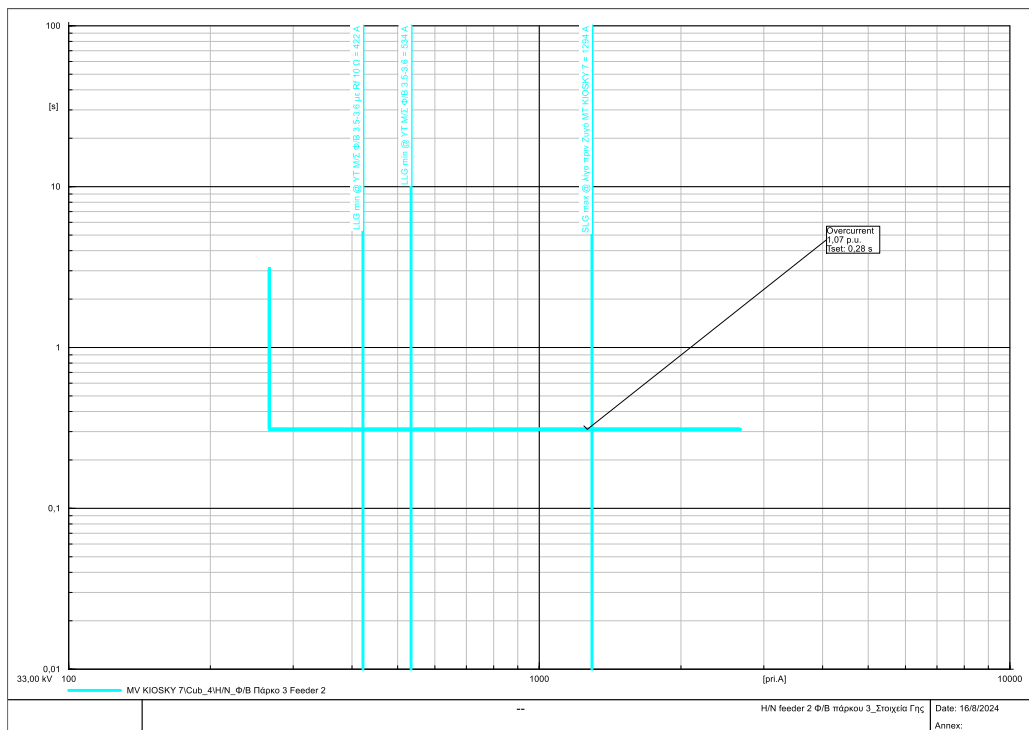
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder 2 Φ/B πάρκου 3:

Πίνακας 5-40: Ρυθμίσεις H/N feeder 2 Φ/B πάρκου 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			250A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	300 A (πρωτ)
		Time dial	0,13
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	267 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-64: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 2 Φ/Β πάρκου 3.

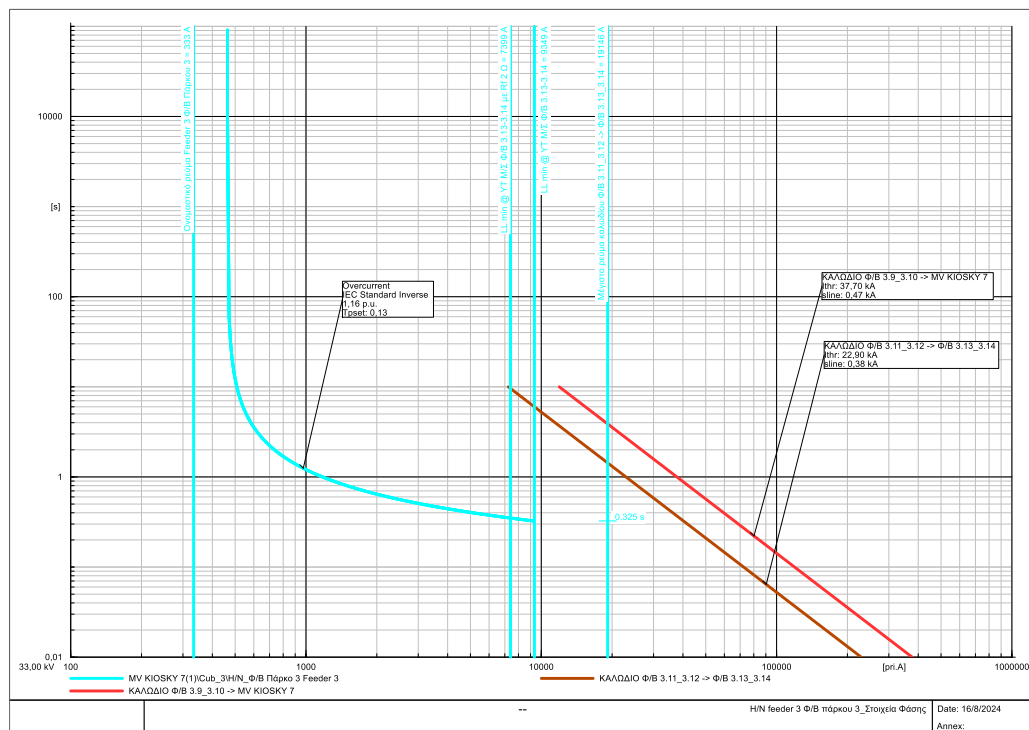


Εικόνα 5-65: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 2 Φ/Β πάρκου 3.

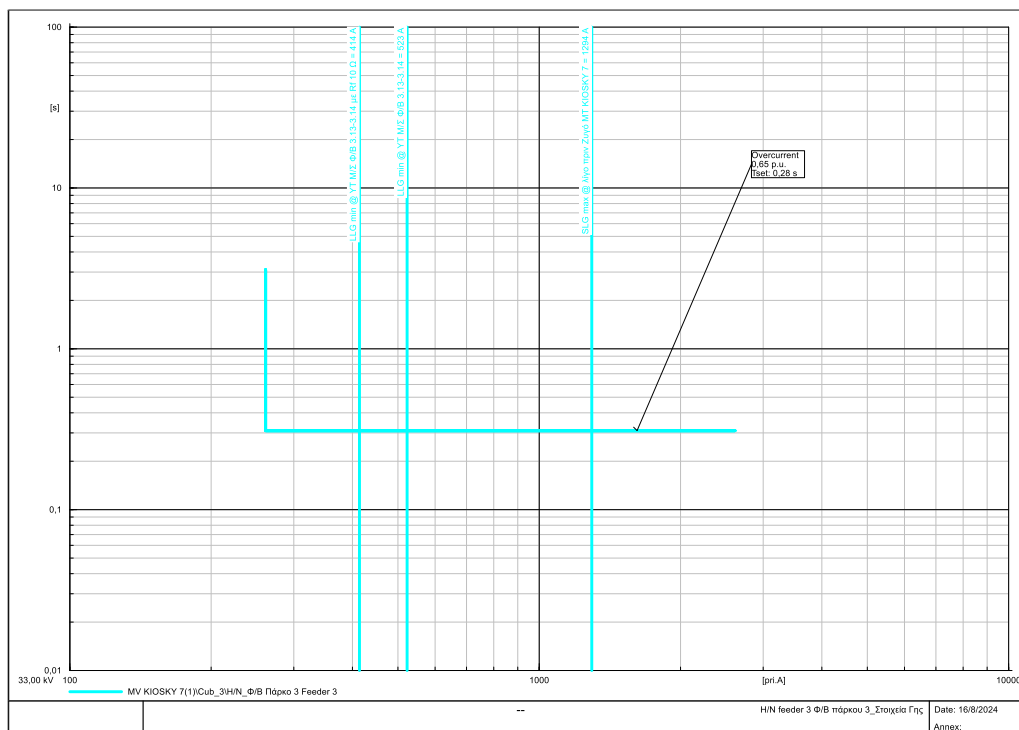
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder 3 Φ/Β πάρκου 3:

Πίνακας 5-41: Ρυθμίσεις H/N feeder 3 Φ/Β πάρκου 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			400A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	464 A (πρωτ)
		Time dial	0,13
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	261,2 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-66: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N feeder 3 Φ/Β πάρκου 3.

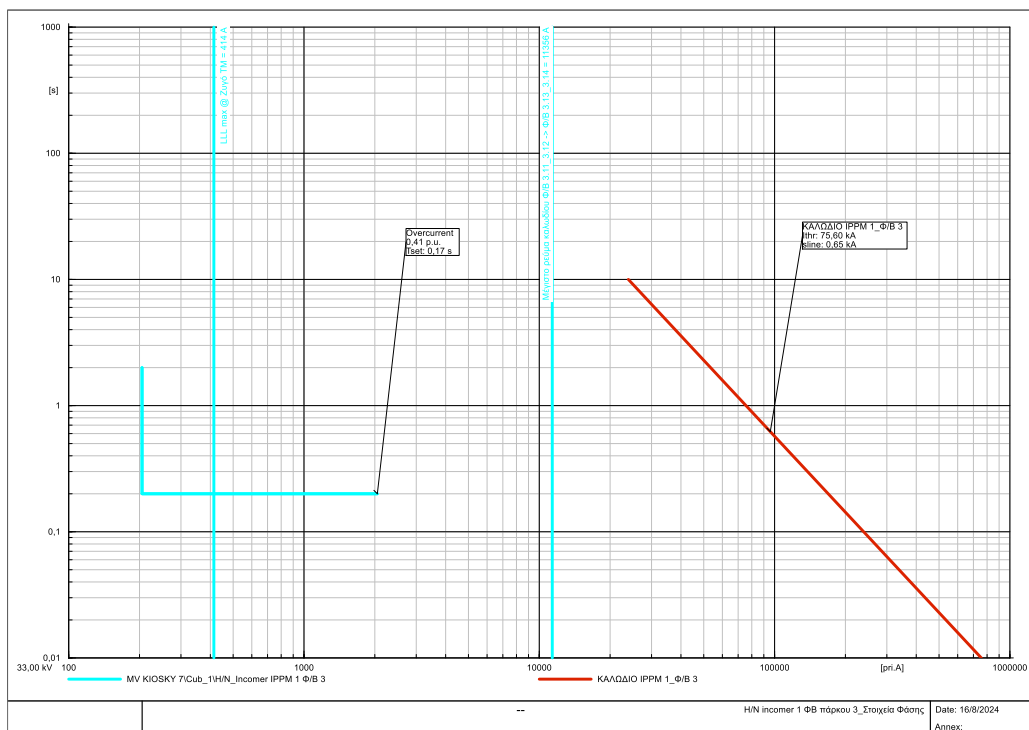


Εικόνα 5-67: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 3 Φ/B πάρκου 3.

- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές κατευθυντικών H/N incomer 1-2 Φ/B πάρκου 3:

Πίνακας 5-42: Ρυθμίσεις κατευθυντικών incomer 1-2 Φ/B πάρκου 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500A/1A
Μετασχηματιστής Τάσης (VT)			33000V/100V
Στοιχείο Φάσης	DT (κατεύθυνση προς Υ/Σ)	I _{pick-up}	205 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,2 s

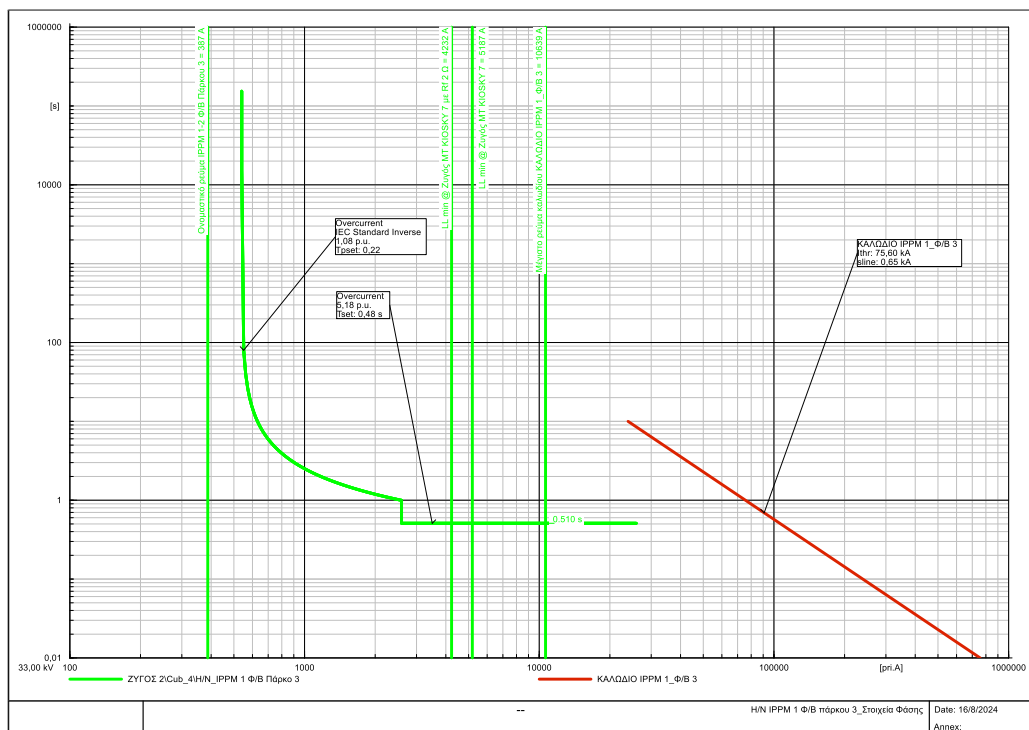


Εικόνα 5-68: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N incomer 1-2 Φ/B πάρκου 3.

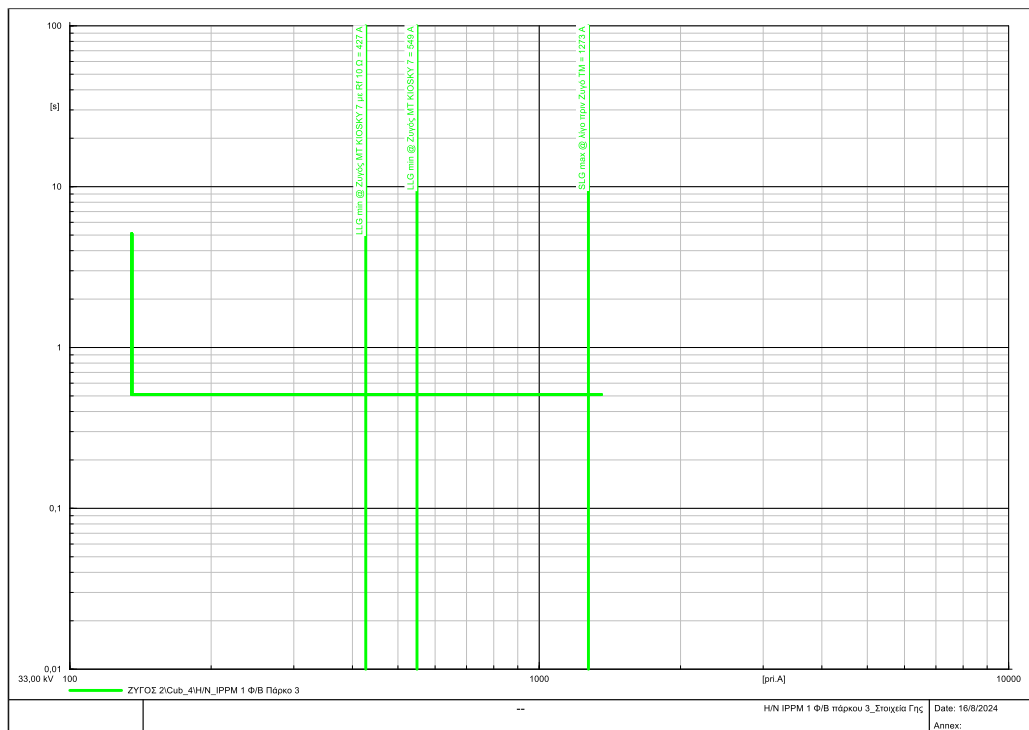
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N IPPM 1-2 Φ/B πάρκου 3:

Πίνακας 5-43: Ρυθμίσεις H/N IPPM 1-2 Φ/B πάρκου 3.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500/5
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	540 A (πρωτ)
		Time dial	0,22
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2590 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	135,5 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s



Εικόνα 5-69: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης H/N IPPM 1-2 Φ/Β πάρκου 3.



Εικόνα 5-70: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 Φ/Β πάρκου 3.

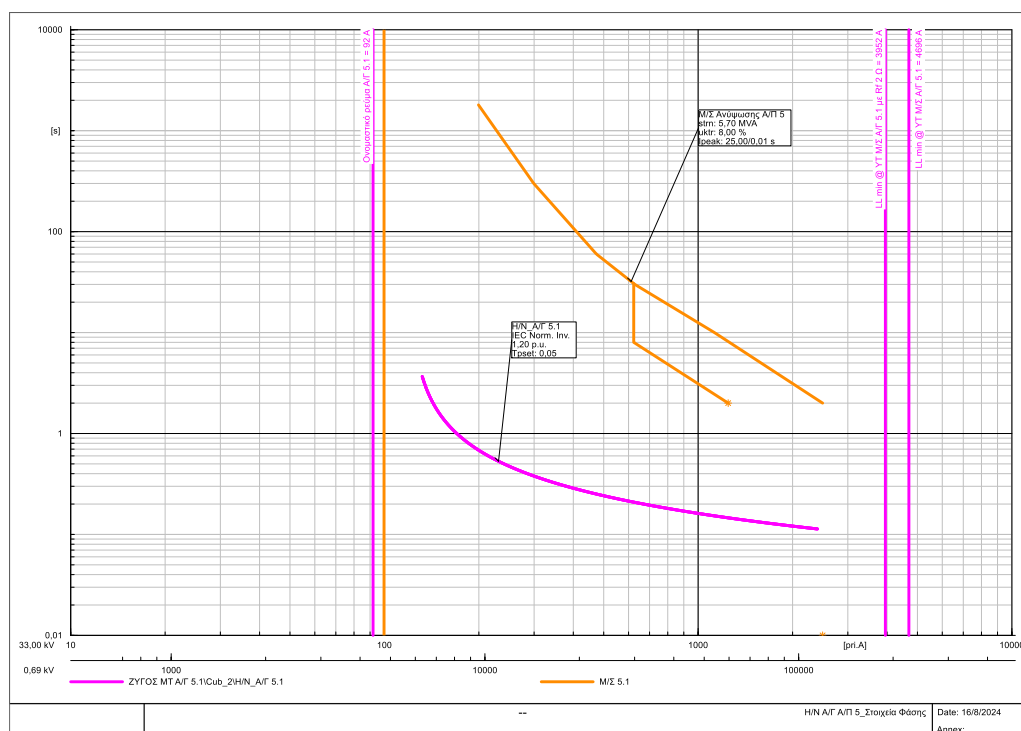
5.3.9 ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ 5

Για την εξαγωγή των ρυθμίσεων των Η/Ν του αιολικού πάρκου 5 ακολουθούμε τους κανόνες που ορίσαμε στο τέλος της περιγραφής του αιολικού πάρκου 2 (σελίδες 114-114). Το σχήμα προστασίας αυτού του φωτοβολταϊκού πάρκου μοιάζει με αυτό του αιολικού πάρκου 2, καθώς διαθέτει δυο παράλληλες IPPM όπως επίσης και οι Η/Ν στους incomer του KIOSKY 4 είναι κατευθυντικοί και βλέπουν σφάλματα προς τον ζυγό. Οι ρυθμίσεις Η/Ν φαίνονται παρακάτω στους πίνακες (**Πίνακας 5-44, Πίνακας 5-43**).

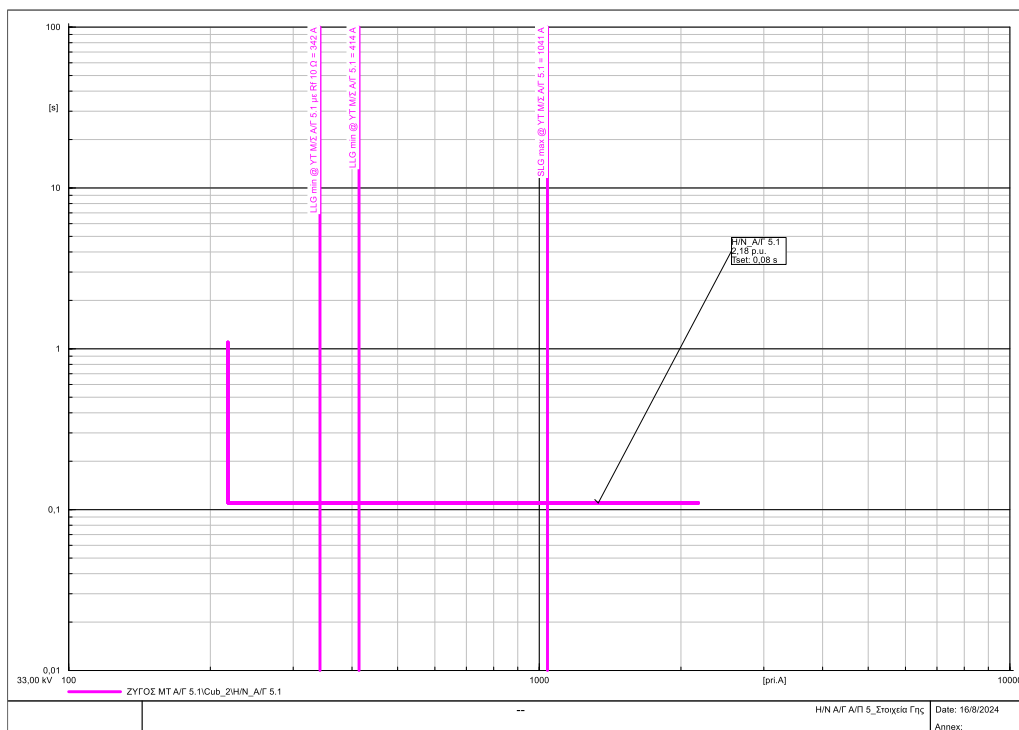
– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές Η/Ν Α/Γ 5.1-5.5 Α/Π 5:

Πίνακας 5-44: Ρυθμίσεις Η/Ν Α/Γ 5.1-5.5 Α/Π 5.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			100A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	120 A (πρωτ)
		Time dial	0,05
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	218 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,11 s



Εικόνα 5-71: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου φάσης Η/Ν Α/Γ 5.1-5.5 Α/Π 5.

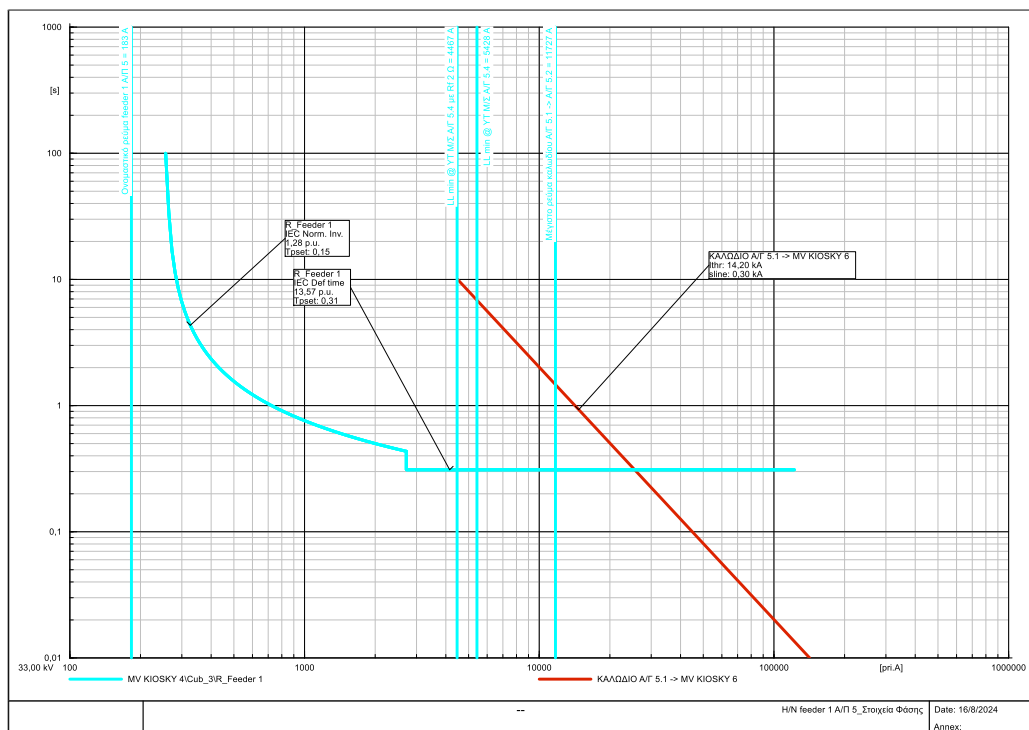


Εικόνα 5-72: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N A/Γ 5.1-5.5 A/Π 5.

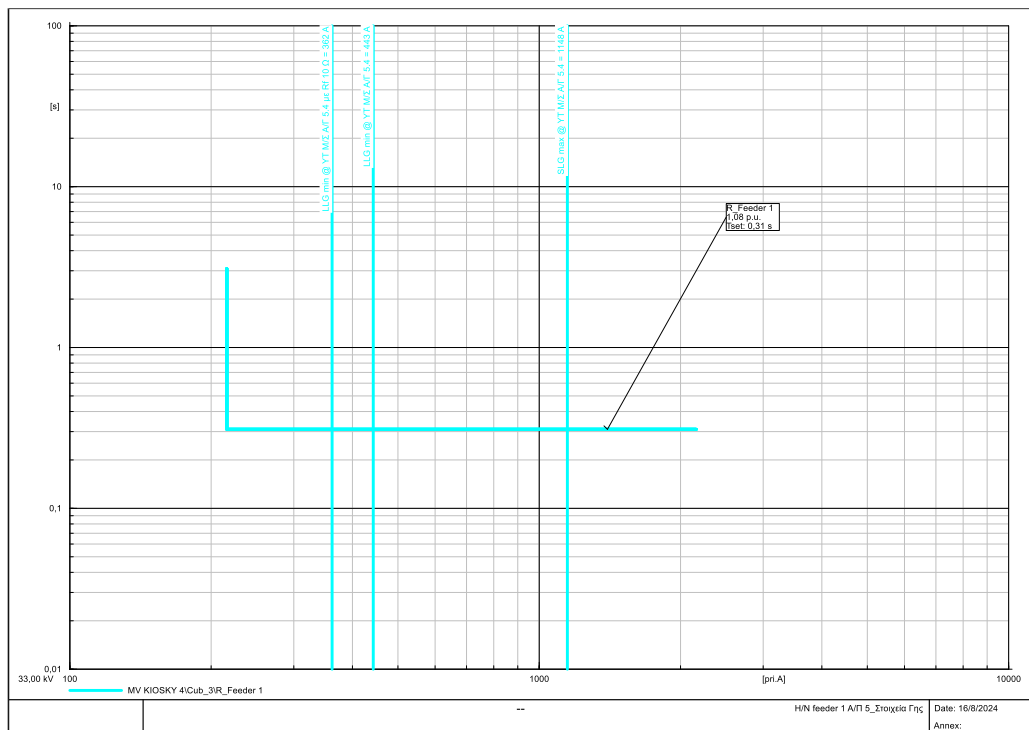
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder 1 A/Π 5:

Πίνακας 5-45: Ρυθμίσεις H/N feeder 1 A/Π 5.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			200A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	256 A (πρωτ)
		Time dial	0,15
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2714 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	216 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-73: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N feeder 1 A/Π 5.

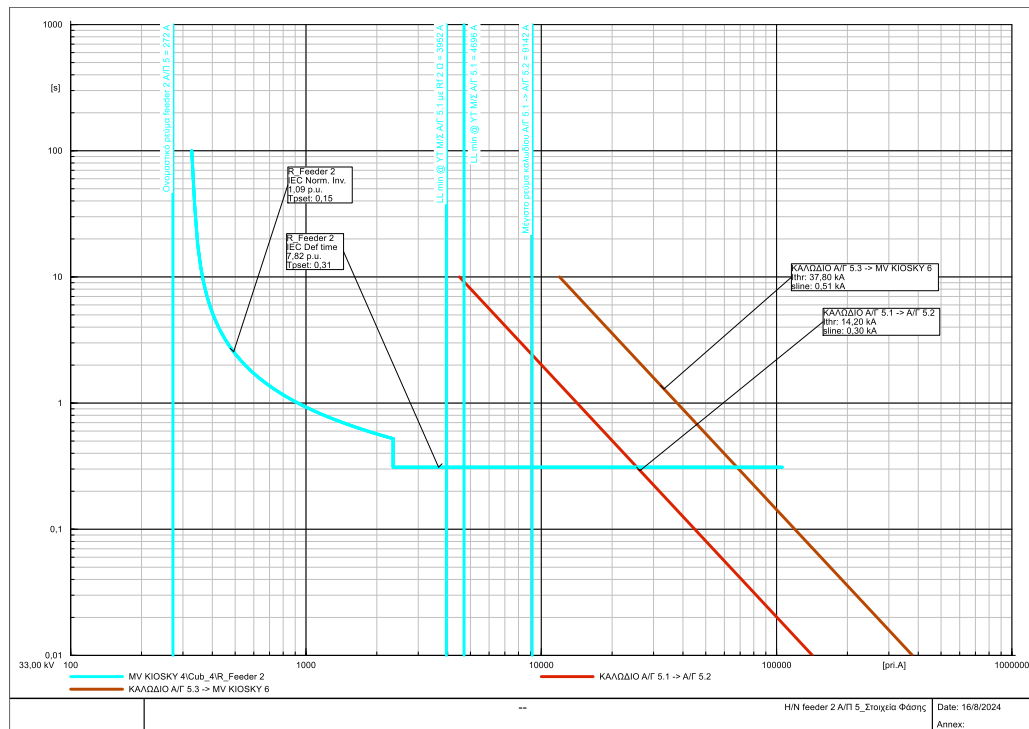


Εικόνα 5-74: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 1 A/Π 5.

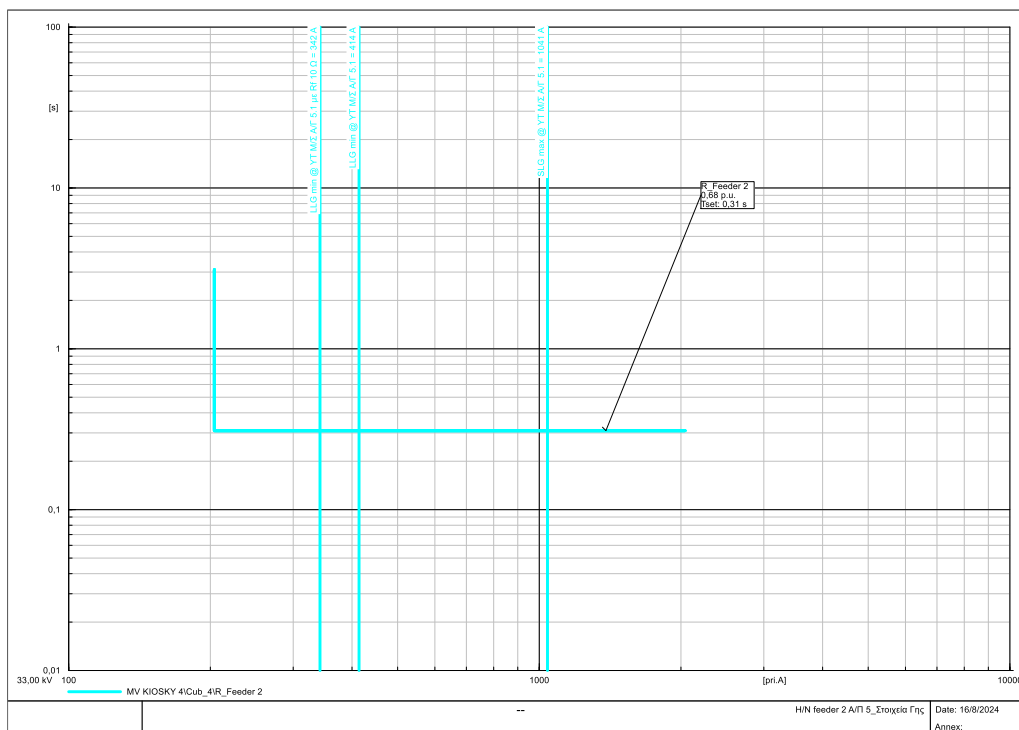
- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N feeder 2 A/Π 5:

Πίνακας 5-46: Ρυθμίσεις H/N feeder 2 A/Π 5.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	327 A (πρωτ)
		Time dial	0,15
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	2346 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	204 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,31 s



Εικόνα 5-75: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N feeder 2 A/Π 5.



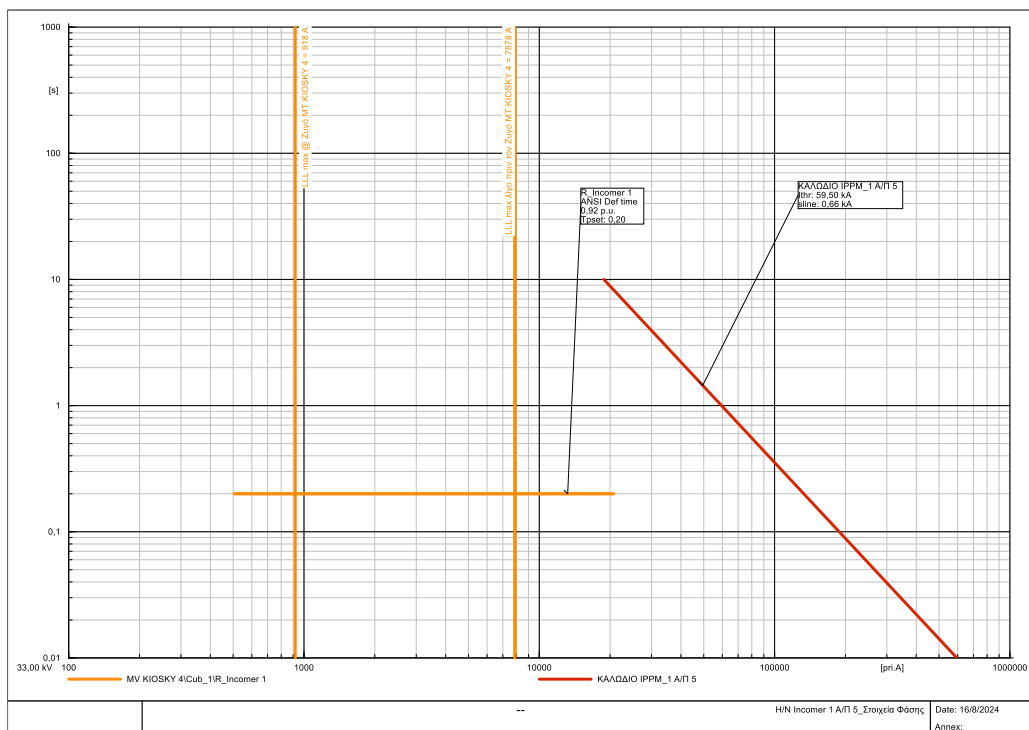
Εικόνα 5-76: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N feeder 1 A/Π 5.

- Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές κατευθυντικών H/N incomer 1-2 A/Π 5:

Οι ρυθμίσεις και των δύο κατευθυντικών των 2 incomer του A/Π 5 θα είναι ίδιες.

Πίνακας 5-47: Ρυθμίσεις κατευθυντικών H/N incomer 1-2 A/Π 5.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500A/5A
Μετασχηματιστής Τάσης (VT)			33000V/100V
Στοιχείο Φάσης	DT (κατεύθυνση προς Υ/Σ)	I _{pick-up}	460 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,2 s



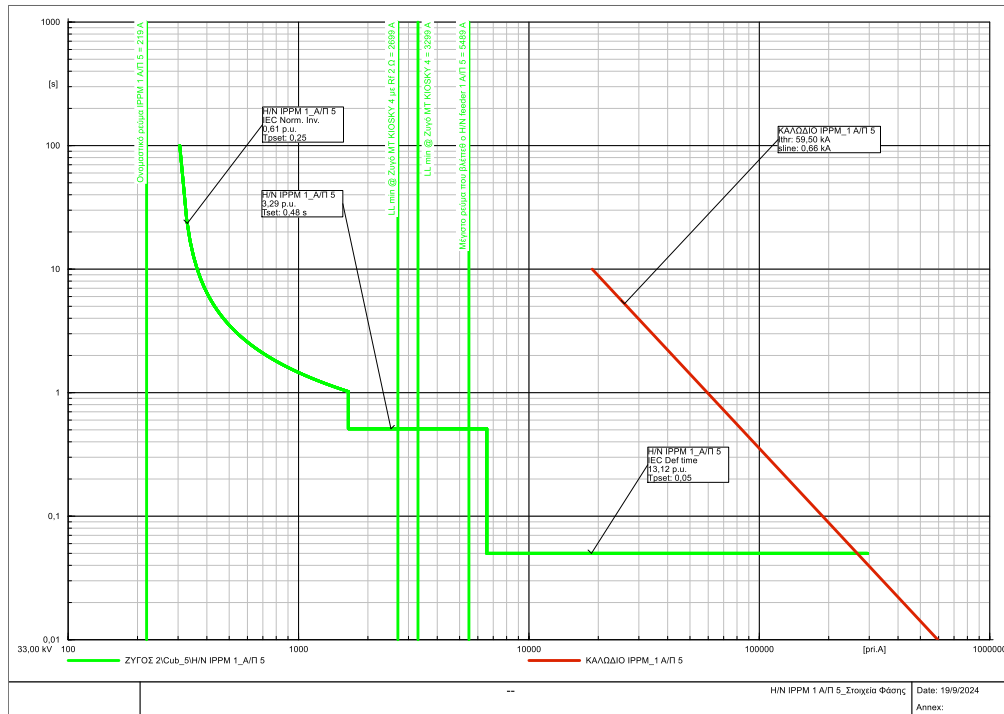
Εικόνα 5-77: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N incomer 1-2 A/Π 5.

– Ρυθμίσεις και χαρακτηριστικές H/N IPPM 1-2 A/Π 5:

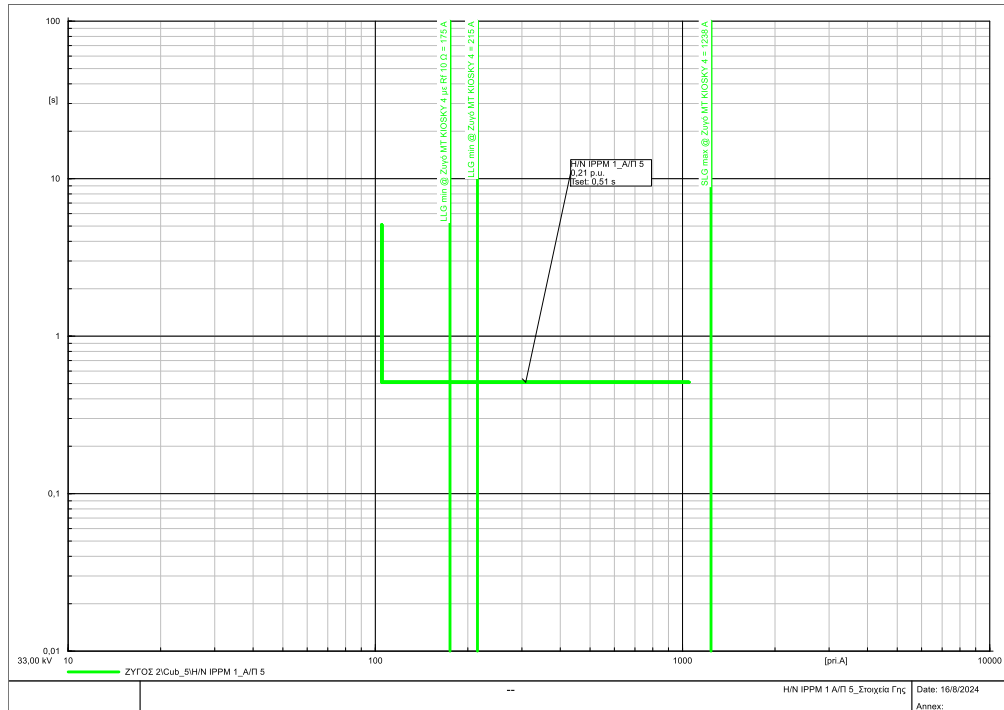
Στις ρυθμίσεις των H/N των IPPM του αιολικού πάρκου 5 έχει μπει και ένα τρίτο στάδιο στα στοιχεία φάσης με στάδιο ορισμένου χρόνου. Για τη ρύθμιση του σταδίου αυτού είδαμε ποιος H/N από τους δύο των feeder ανιχνεύει το μεγαλύτερο ρεύμα σφάλματος (για τριφασικό μέγιστο στο τέλος της γραμμής λίγο πριν το KIOSKY 4) και θέσαμε το $I_{pick-up}$ στο 120% του ρεύματος αυτού, αφήνοντας ένα περιθώριο ασφάλειας 20%.

Πίνακας 5-48: Ρυθμίσεις H/N IPPM 1-2 A/Π 5.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			500A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	$I_{pick-up}$	305 A (πρωτ)
		Time dial	0,25
	DT (Stage 1, I>)	$I_{pick-up}$	1645 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s
	DT (Stage 2, I>)	$I_{pick-up}$	6585 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,05 s
Στοιχείο Γης	DT	$I_{pick-up}$	105 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,51 s



Εικόνα 5-78: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N IPPM 1-2 Α/Π 5.



Εικόνα 5-79: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N IPPM 1-2 Α/Π 5.

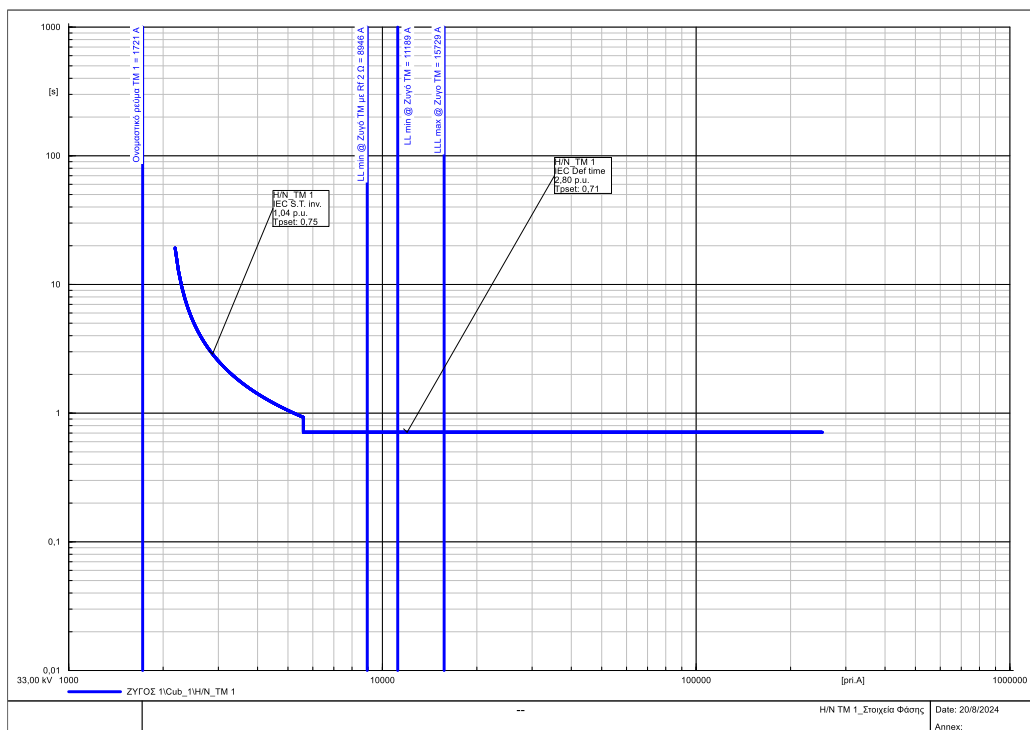
Αφού τελειώσαμε με τις ρυθμίσεις όλων των πάρκων του δικτύου, σειρά έχουν τώρα οι ρυθμίσεις των 2 TM και του H/N της YT του κύριου μετασχηματιστή ισχύος του δικτύου.

5.3.10 H/N TM 1

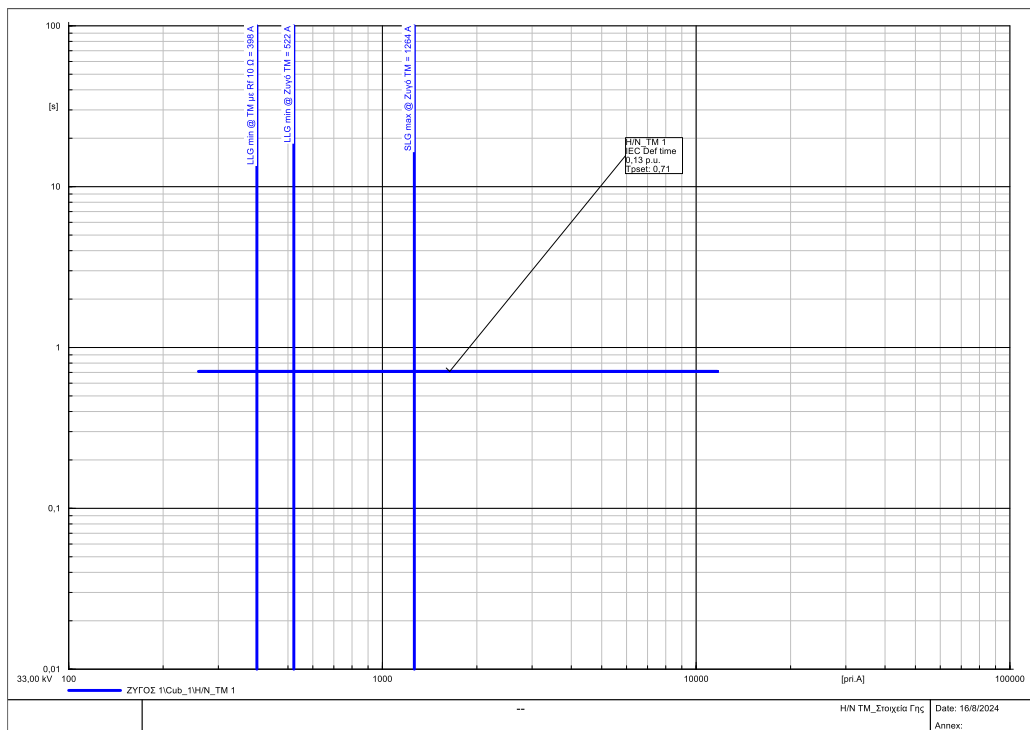
Το στοιχείο φάσης του H/N της TM 1 αποτελείται από δύο στάδια, ένα αντιστρόφου χρόνου κι ένα ορισμένου χρόνου. Η ρύθμιση της αντιστρόφου χρόνου έγινε με σκοπό να μην επιτρέπει να εισάγει υπερφόρτιση στο ένα τύλιγμα του Μ/Σ (αυτό των 100 MVA) της τάξης του 10%. Το 10% προέκυψε αφού στον συνολικό Μ/Σ επιτρέπουμε υπερφόρτιση ίση με 20% δηλαδή 10% από το ένα τύλιγμα και 10% από το άλλο. Για τη ρύθμιση του σταδίου ορισμένου χρόνου, εκτελέσαμε διφασικό ελάχιστο στον ζυγό της TM 1 και το ρυθμίσαμε στο 50% αυτού. Ομοίως έγινε και η ρύθμιση του σταδίου 1 ορισμένου χρόνου που διαθέτει το στοιχείο γης, εκτελώντας όμως διφασικό ελάχιστο με γη. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας ρυθμίσεων καθώς και οι χαρακτηριστικές καμπύλες του H/N.

Πίνακας 5-49: Ρυθμίσεις H/N TM 1.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			2000A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	2080 A (πρωτ)
		Time dial	0,75
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	5600 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,71 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	260 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,71 s



Εικόνα 5-80: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης H/N TM 1.



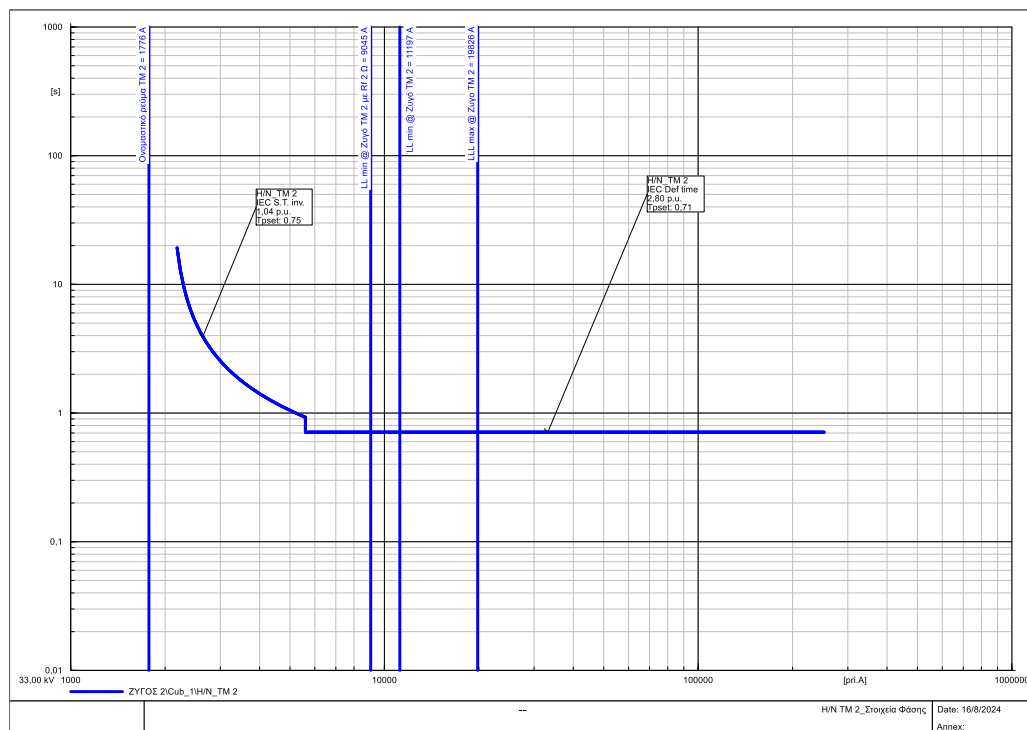
Εικόνα 5-81: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N TM 1.

5.3.11 H/N TM 2

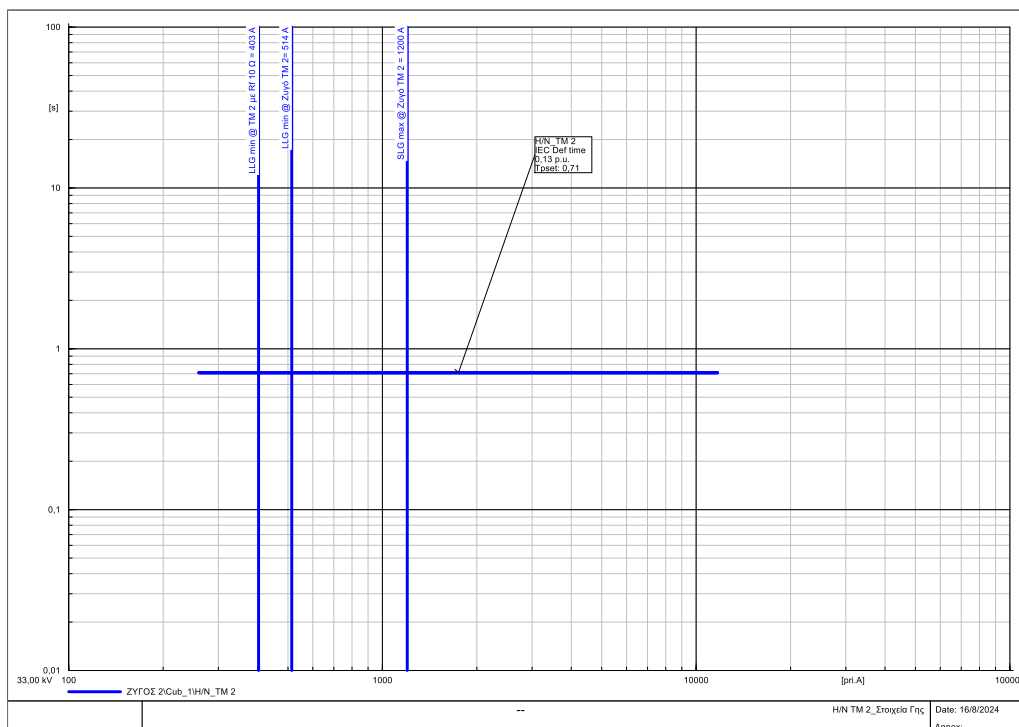
Ο Η/Ν της TM 2 ρυθμίστηκε ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως ο Η/Ν της TM 1 και οι ρυθμίσεις καθώς και οι χαρακτηριστικές της φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 5-50: Ρυθμίσεις Η/Ν TM 2.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			2000A/5A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	2080 A (πρωτ)
		Time dial	0,75
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	5600 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,71 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	260 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,71 s



Εικόνα 5-82: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείων φάσης Η/Ν TM 2.



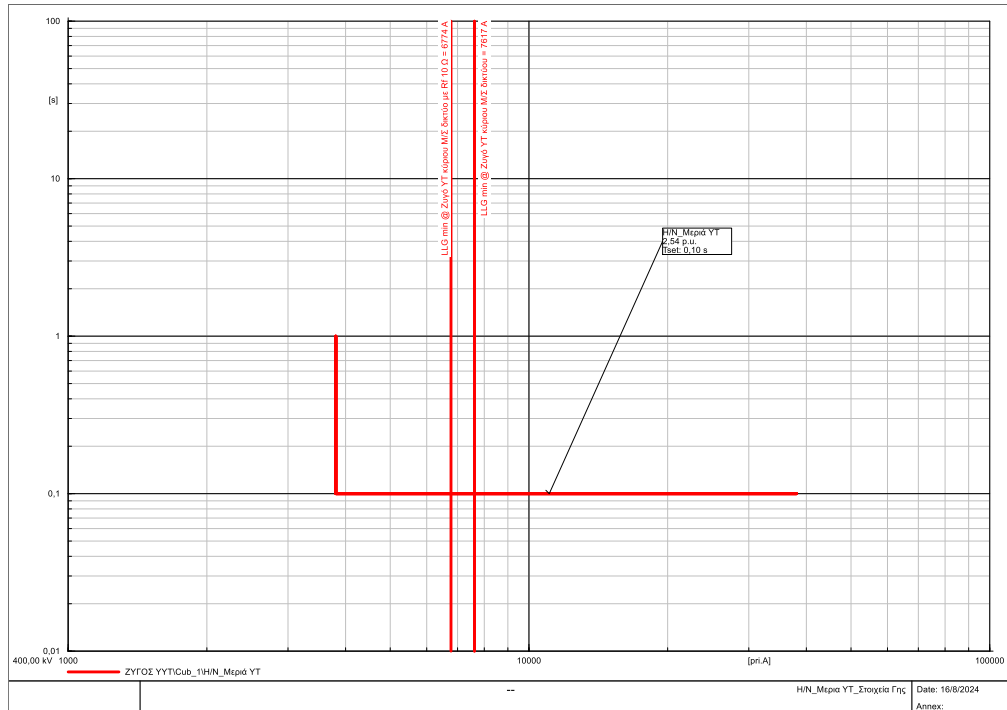
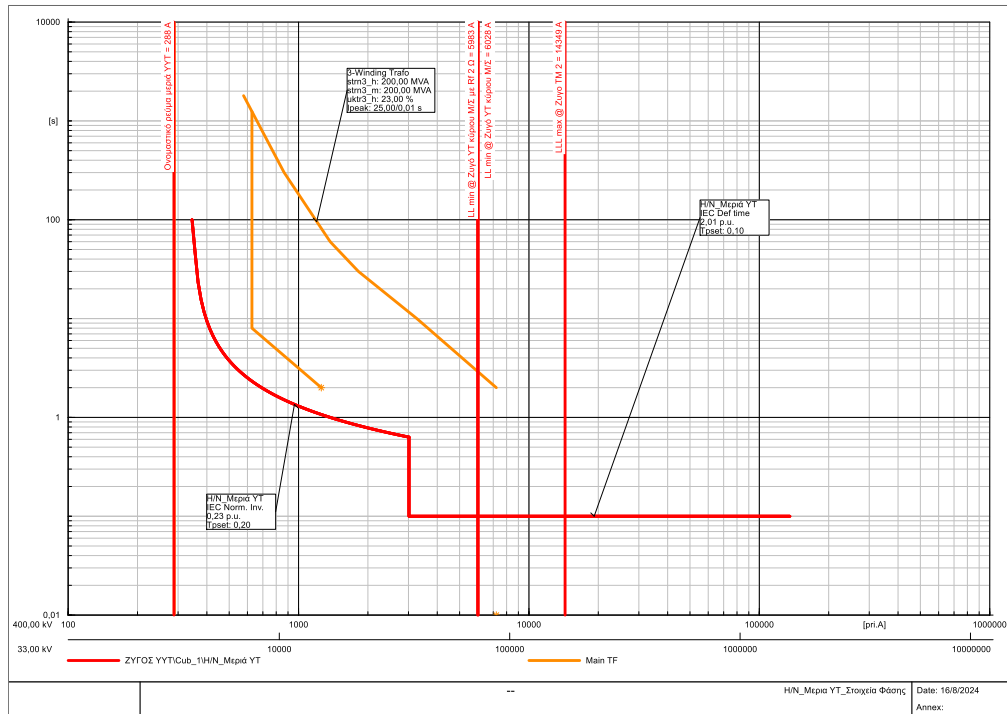
Εικόνα 5-83: Χαρακτηριστική καμπύλη στοιχείου γης H/N TM 2.

5.3.12 H/N ΠΛΕΥΡΑ ΥΤ

Ο H/N της MT αποτελείται από ένα στάδιο αντιστρόφου χρόνου για το στοιχείο φάσης του και από ένα στάδιο ορισμένου χρόνου για το στοιχείο γης του. Η αντιστρόφου χρόνου ρυθμίστηκε ώστε να επιτρέπει, όπως είπαμε, υπερφόρτιση της τάξης του 20%. Το στάδιο ορισμένου χρόνου για το στοιχείο γης ρυθμίστηκε εκτελώντας σφάλμα (ελάχιστο διφασικό με γης) στην πλευρά της ΥΤ του Μ/Σ του δικτύου. Οι ρυθμίσεις και οι χαρακτηριστικές αυτού του H/N φαίνονται παρακάτω. Να σημειώσουμε ότι εδώ τα στοιχεία φάσης και γης ορίζονται με βάση την τάση των 400 kV και όχι των 33 kV.

Πίνακας 5-51: Ρυθμίσεις H/N Πλευρά ΥΤ.

Μετασχηματιστής Έντασης (CT)			300A/1A
Στοιχείο Φάσης	IDMT (Normal Inverse)	I _{pick-up}	345 A (πρωτ)
		Time dial	0,20
	DT (Stage 1, I>)	I _{pick-up}	3015 A (πρωτ)
		Χρόνος	0.1 s
Στοιχείο Γης	DT	I _{pick-up}	3808 A (πρωτ)
		Χρόνος	0,1 s



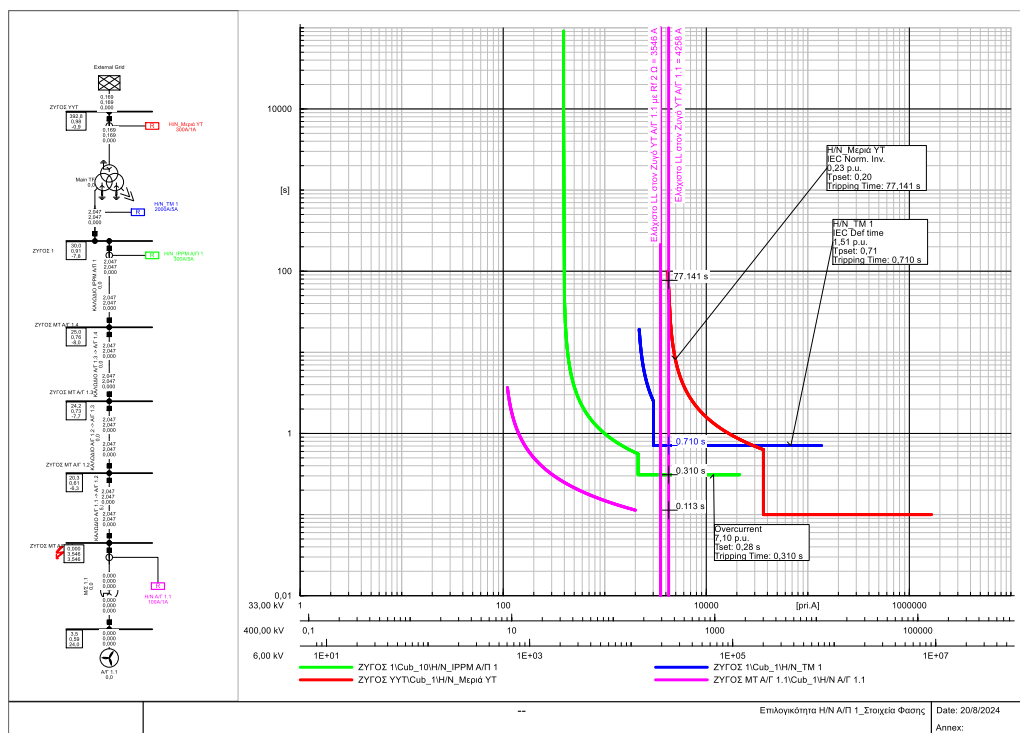
5.4 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στην υποενότητα αυτή θα δείξουμε την επιλογικότητα που τηρείται μεταξύ όλων των ηλεκτρονόμων των πάρκων του δικτύου, συνάμα θα αναλύσουμε και τον τρόπο με τον οποίο επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι χρόνοι λειτουργίας τους για κάθε πάρκο ξεχωριστά. Να σημειώσουμε πως για κάθε πάρκο θα δείξουμε την επιλογικότητα των H/N από αυτό της πιο απομακρυσμένης Α/Γ ή Φ/Β (ανάλογα αν πρόκειται για αιολικό πάρκο ή για φωτοβολταϊκό πάρκο) μέχρι και τον H/N στην πλευρά της ΜΤ του κύριου μετασχηματιστή ισχύος του δικτύου. Αν τηρείται μεταξύ αυτών των H/N του πάρκου, θα τηρείται βεβαίως και μεταξύ των υπολοίπων του ίδιου πάρκου. Για τη λειτουργία μεταξύ δύο H/N σε ένα σχήμα προστασίας ενός, επιλέξαμε ένα ασφαλές χρονικό περιθώριο (CTI) της τάξης των 200 ms, καθώς πρόκειται για ψηφιακούς H/N, επομένως το όριο μπορεί να παρθεί από 200-400 ms [3], [41]. Με τον τρόπο αυτό θα λειτουργεί πρώτα ο κύριος H/N του εξαρτήματος που είναι υπεύθυνος να προστατέψει και εν συνεχεία θα λειτουργεί ο backup αυτού.

5.4.1 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 1

Για την εξέταση της επιλογικότητας των H/N του αιολικού πάρκου 1 εκτελέσαμε διφασικά ελάχιστα και διφασικά ελάχιστα με γη, αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον ζυγό ΥΤ της πιο απομακρυσμένης Α/Γ 1.1. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες.

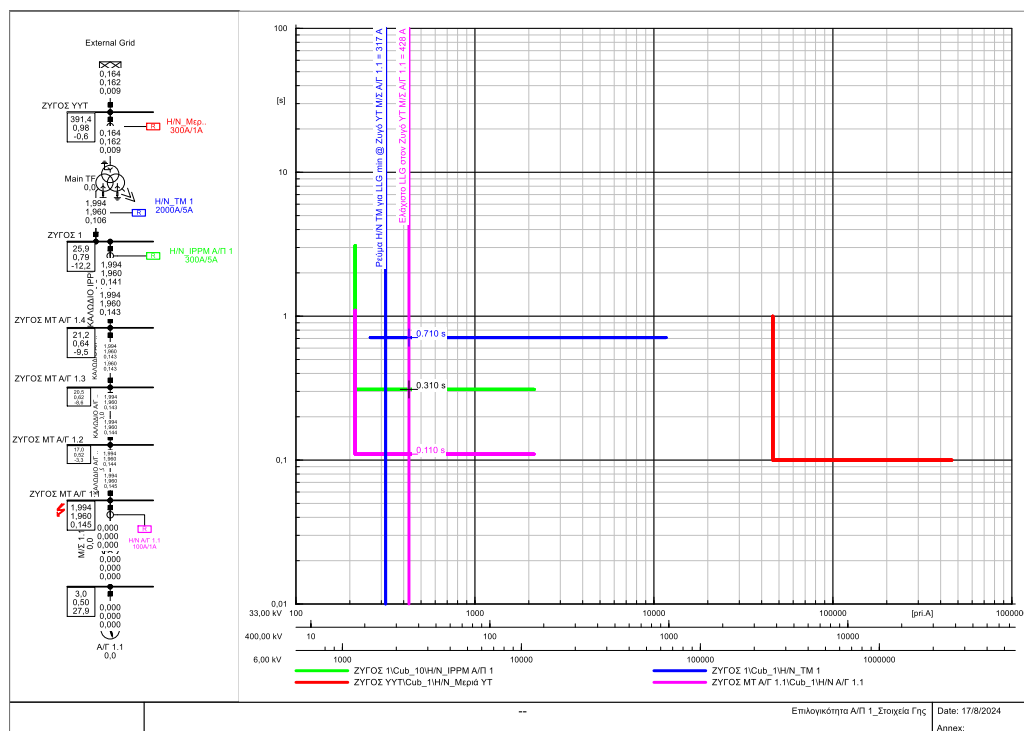
- Στοιχεία Φάσης H/N Α/Π 1:



Εικόνα 5-86: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N Α/Π 1.

Παραπάνω (**Εικόνα 5-86**) φαίνονται σε δύο κάθετες τα ρεύματα που βλέπουν οι H/N για διαφασικό ελάχιστο βραχυκύκλωμα στον ζυγό YT της A/Γ 1.1. Στην περίπτωση στην οποία το σφάλμα δεν παρουσιάζει αντίσταση, παρατηρούμε ότι αρχικά θα λειτουργήσει ο H/N_A/Γ 1.1 σε χρόνο 113 ms. Σε περίπτωση που αποτύχει για οποιονδήποτε λόγο να ανοίξει ο ΔΙ στην YT Μ/Σ ανύψωσης της A/Γ 1.1, τότε στα επόμενα 200 ms θα έρθει ο H/N_IPPM A/Π 1 και θα ανοίξει τον ΔΙ της πύλης παραγωγού, θέτοντας με αυτόν τον τρόπο εκτός όλο το πάρκο διακόπτοντας την παροχή ρεύματος στο βραχυκύκλωμα από την πλευρά του δικτύου. Αν αποτύχει και ο ΔΙ της IPPM να ανοίξει, τότε θα βγει εκτός όλη η TM μετά από 400 ms διακόπτοντας έτσι όλα τα πάρκα που συνδέονται στον υποσταθμό 1 (Ζυγός 1). Το ρεύμα, σημειώνουμε, είναι ικανό να το ανιχνεύει και ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου και θα λειτουργήσει, αν χρειαστεί, σε 77,141 s. Η δεύτερη κάθετη έχει να κάνει με σφάλμα στον ζυγό YT της A/Γ 1.1, με τη διαφορά ότι τώρα παρουσιάζει αντίσταση της τάξης των 2 Ohm. Σε αυτή την περίπτωση οι H/N θα λειτουργήσουν ακριβώς με την ίδια σειρά όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ωστόσο, σε αυτή εδώ την περίπτωση, το ελάχιστο σφάλμα δεν θα το ανιχνεύει ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου.

- Στοιχεία γης H/N A/Π 1:



Εικόνα 5-87: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 1.

Παραπάνω (**Εικόνα 5-87**) φαίνονται σε δύο κάθετες τα ρεύματα που βλέπουν οι H/N για διαφασικό ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη στον ζυγό YT της A/Γ 1.1. Παρατηρούμε ότι γι' αυτό το σφάλμα ο H/N_A/Γ 1.1 και ο H/N_IPPM 1 A/Π 1 θα βλέπουν σχεδόν το ίδιο ρεύμα σφάλματος (με διαφορά 5 A) και ο H/N_A/Γ 1.1 θα λειτουργήσει πρώτος σε χρόνο 110 ms. Αν ο ΔΙ του δεν ανοίξει, τότε θα απομονώσει το σφάλμα ο H/N της πύλης παραγωγού σε 310 ms από την εμφάνιση

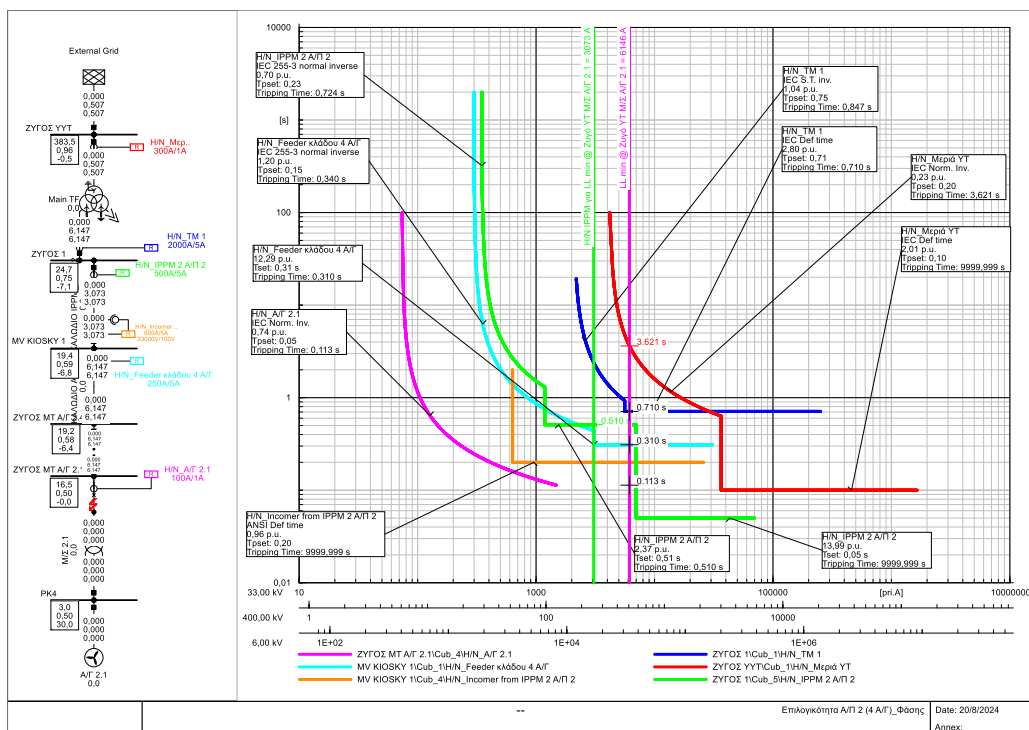
του σφάλματος. Ο Η/Ν της ΤΜ 1 όμως για το ίδιο σφάλμα θα μετρήσει ρεύμα μικρότερο, όπως φαίνεται, και θα λειτουργήσει σε χρόνο 710 ms.

5.4.2 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 2

Για την εξέταση της επιλογικότητας των Η/Ν του αιολικού πάρκου 2, εκτελέσαμε διαφασικά ελάχιστα και διαφασικά ελάχιστα με γη αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον ζυγό ΥΤ της πιο απομακρυσμένης Α/Γ του feeder 1 με της 5 Α/Γ και αντίστοιχα το ίδιο για τον feeder 2 με τις 4 Α/Γ. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες και γίνεται ανάλυση αυτών.

• Στοιχεία Φάσης Η/Ν Α/Π 2 feeder 2 (4 Α/Γ):

Επειδή το σχήμα προστασίας αυτού του πάρκου είναι πιο περίπλοκο, αρχικά θα δείξουμε την επιλογικότητα όλων των Η/Ν (για feeder 2) από τον πιο απομακρυσμένο ο οποίος βρίσκεται στην ΥΤ της Α/Γ 2.1 μέχρι και τον Η/Ν στην πλευρά της ΥΤ του δικτύου.

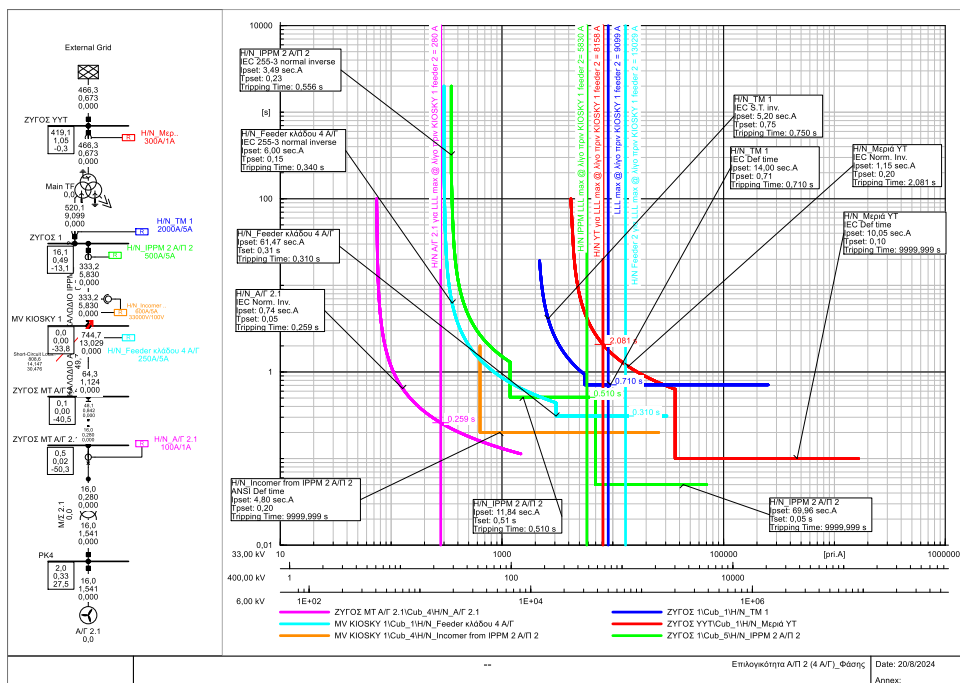


Εικόνα 5-88: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης Η/Ν Α/Π 2 feeder 2 για LL min.

Παραπάνω (Εικόνα 5-88), φαίνονται σε δύο κάθετες τα ρεύματα που βλέπουν οι Η/Ν για διαφασικό ελάχιστο βραχυκύκλωμα (LL_{min}) στον ζυγό ΥΤ της Α/Γ 2.1. Οι Η/Ν των δυο IPPM θα βλέπουν προφανώς το ίδιο ρεύμα το οποίο θα είναι το μισό αυτού που βλέπουν οι υπόλοιποι, καθώς το ρεύμα που έρχεται από το δίκτυο (και ανιχνεύει και η ΤΜ) χωρίζεται στις 2 IPPM, οι οποίες έχουν ίδιο μήκος και είναι το ίδιο καλώδιο, άρα παρουσιάζουν ίδια αντίσταση. Να αναφέρουμε εδώ πως οι κατευθυντικοί δεν βλέπουν ρεύμα σφάλματος, καθώς έχουν ρυθμιστεί να βλέπουν σφάλματα αντίθετης φοράς, δηλαδή φορά ρεύματος προς τον υποσταθμό. Στην

περίπτωση που το σφάλμα δεν παρουσιάζει αντίσταση, παρατηρούμε ότι αρχικά θα λειτουργήσει ο H/N_A/G 2.1 σε χρόνο 113 ms. Αν για οποιονδήποτε λόγο αποτύχει να ανοίξει ο ΔΙ στην ΥΤ Μ/Σ ανύψωσης της Α/Γ 2.1, τότε στα επόμενα 200 ms θα έρθει ο H/N_Feeder 4 Α/Γ Α/Π 2 και θα ανοίξει τον ΔΙ του feeder 2. Στην σπάνια πιθανότητα να μην λειτουργήσει ούτε αυτό, σειρά θα έχουν οι H/N των IPPM 1-2 οι οποίοι θα ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα μιας κι έχουν ρυθμιστεί στον ίδιο χρόνο, καθώς αν ήταν σε διαφορετικό χρόνο ρυθμισμένοι, θα λειτουργούσε ο ένας, αλλά το βραχυκύκλωμα θα συνέχιζε να τροφοδοτείται από την άλλη IPPM. Το ίδιο ρεύμα θα ανιχνεύσει και ο H/N της TM 1 ο οποίος θα δράσει σε 710 ms (καθώς ανιχνεύει το ρεύμα το στάδιο ορισμένου χρόνου του H/N) από την εμφάνιση του σφάλματος σε περίπτωση που κανένας από τους ήδη αναφερόμενους δεν καταφέρει να απομονώσει το βραχυκύκλωμα. Τέλος, το σφάλμα είναι ικανό να το ανιχνεύσει και ο H/N της ΥΤ του δικτύου στην αντιστροφή χρόνου του και μετά από 3.621 s από την εμφάνιση του σφάλματος. Στην περίπτωση τώρα σφάλματος LL_{min} με αντίσταση της τάξης των 2 Ohm στον ζυγό ΥΤ της Α/Γ 2.1 οι H/N θα λειτουργήσουν με την ίδια σειρά όπως και στο σφάλμα χωρίς αντίσταση με μόνη διαφορά ότι τώρα ο H/N της TM 1 θα ανιχνεύει στο σφάλμα στο στάδιο αντιστροφής χρόνου και θα ενεργοποιείται σε 1,023 s και ο H/N στην πλευρά ΥΤ του δικτύου θα το ανιχνεύει και θα λειτουργεί σε χρόνο 6,933 s.

Θα δείξουμε τώρα και σε διάγραμμα τον τρόπο με τον οποίο επιλέχτηκε το τρίτο στάδιο των IPPM το οποίο είχαμε αναφέρει στην **υποενότητα 5.3.2**. Όπως είπαμε, εκτελούμε τριφασικό μέγιστο βραχυκύκλωμα στην αρχή της γραμμής του feeder 2 λίγο πριν τον ζυγό του KIOSKY 1 και παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα **Εικόνα 5-89**.

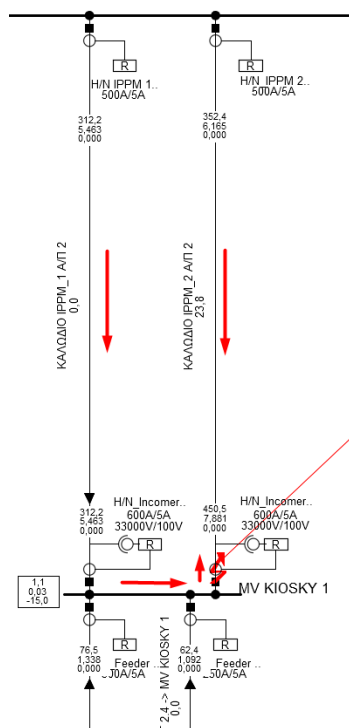


Εικόνα 5-89: Τριφασικό μέγιστο στην αρχή της γραμμής του feeder 2.

Παρατηρούμε ότι για τριφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν τον ζυγό του KIOSKY 1 ο H/N του feeder θα ανιχνεύει βραχυκύκλωμα ίσο με 13.029 A ενώ ο H/N των IPPM θα ανιχνεύει 5.830 A. Έτσι, ρυθμίζοντας το τρίτο στάδιο του H/N των IPPM, το οποίο είναι χαμηλότερο χρονικά από τον H/N του feeder, στο 120% του 5.830 A το οποίο βλέπουν και αφού δεν πρόκειται ποτέ να μετρήσει μεγαλύτερο ρεύμα σφάλματος από 13.029 A ο H/N του feeder, βεβαιωνόμαστε πως η επιλογικότητα μεταξύ των δύο διατηρείται. Ο λόγος που τέθηκε σε χρόνο λειτουργίας 50 ms το στάδιο του ορισμένου χρόνου (δηλαδή instant) των H/N των IPPM έχει να κάνει με τη ρύθμιση του κατευθυντικού H/N, την οποία θα εξηγήσουμε τώρα.

Η χρήση των κατευθυντικών H/N στους incomer του KIOSKY 1, όπως είπαμε, γίνεται διότι θέλουμε το πάρκο μας σε περίπτωση σφάλματος στην μία εκ των δύο IPPM, να την θέτει εκτός και να συνεχίζει την παραγωγή χρησιμοποιώντας την παράλληλή της, χωρίς όμως να θέσει εκτός το αιολικό πάρκο. Παραπάνω, στην **υποενότητα 5.3.2**, εξηγήσαμε τον τρόπο με τον οποίο εξήχθησαν οι ρυθμίσεις των κατευθυντικών. Εδώ θα δείξουμε ότι για σφάλματα εντός της γραμμής αυτό το σχήμα προστασίας λειτουργεί (τηρείται δηλαδή ο λόγος χρήσης των κατευθυντικών) και διατηρείται η επιλογικότητα. Να υπενθυμίσουμε ότι οι δύο H/N της ίδιας γραμμής, δηλαδή ο H/N IPPM 1 και ο H/N incomer 1 (αντίστοιχα και για την άλλη IPPM) επικοινωνούν μεταξύ τους και όποιος λειτουργήσει πρώτος, θα στείλει σήμα ενεργοποίησης στον άλλον ο οποίος με την σειρά του θα ανοίξει τον ΔΙ με τον οποίο είναι συνδεδεμένος.

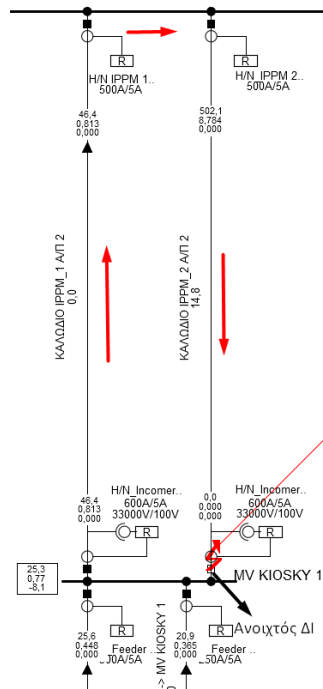
- Εκτελώντας ένα τριφασικό μέγιστο σφάλμα στο τέλος της γραμμής της IPPM 2 (στο 95% της γραμμής) δηλαδή λίγο πριν το KIOSKY 1.



Εικόνα 5-90: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1.

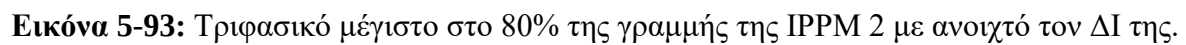
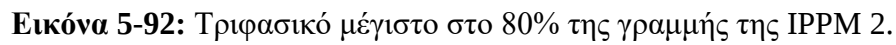
Παρατηρούμε ότι ο κατευθυντικός του incomer 2 θα ανιχνεύσει ένα ρεύμα με φορά προς τον υποσταθμό και γι' αυτόν τον λόγο θα στείλει σήμα στον ΔΙ του να ανοίξει, ο κατευθυντικός όμως της IPPM 1 (incomer 1) ανιχνεύει ρεύμα με φορά στην οποία δεν πρέπει να λειτουργεί. Με το που λειτουργήσει ο H/N του incomer 2 το ρεύμα στην IPPM 1 θα γίνει αντίθετης φοράς ώστε να τροφοδοτήσει το σφάλμα, θέτοντας έτσι τον H/N του incomer 1 να αρχίσει να μετράει ώστε να λειτουργήσει στα 200 ms. Ωστόσο, για να εμποδίσουμε τη λειτουργία αυτή του incomer 1, μιας και θέλουμε να απομονώσουμε τη μία γραμμή, ο H/N του incomer 2 την στιγμή που θα ενεργοποιηθεί λόγω της έντασης του ρεύματος, ταυτόχρονα, θα στείλει ένα σήμα στον ΔΙ της IPPM 2 να ανοίξει (λειτουργία intertrip του H/N). Να σημειώσουμε ότι στην παραπάνω **Εικόνα 5-90** τα κόκκινα βελάκια συμβολίζουν τη φορά του ρεύματος.

Στην περίπτωση, τώρα, που δεν είχαμε επικοινωνία των H/N, ώστε ο κατευθυντικός H/N του incomer 2 να στείλει σήμα και να ενεργοποιήσει τον H/N της IPPM 2, το σενάριο θα είχε ως εξής. Για το ίδιο σφάλμα ακριβώς ο H/N του incomer 2, όπως αναφέραμε και πριν, θα λειτουργούσε σε 200 ms και θα άνοιγε τον ΔΙ του. Αμέσως μετά ο H/N της IPPM 2 θα υπολόγιζε ένα ρεύμα της τάξης των 8,784 kA, καθώς ο H/N της IPPM 1 δεν θα ανίχνευε κανό ρεύμα ώστε να ενεργοποιηθεί στον ίδιο χρόνο. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή το ρεύμα θα έχει αντίθετη φορά, με αποτέλεσμα ο κατευθυντικός τώρα του incomer 1 να είναι ικανός να λειτουργήσει, όμως είναι ρυθμισμένος στα 200 ms και ο H/N της IPPM 2 θα ανιχνεύσει το ρεύμα στην instant χαρακτηριστική καμπύλη του (στα 50 ms) πράγμα το οποίο θα τον έκανε να ενεργοποιηθεί πιο γρήγορα. Επομένως, καταλαβαίνουμε ότι σε αυτήν την περίπτωση, αν δεν υπήρχε επικοινωνία μεταξύ των H/N της IPPM 2 και του incomer 2, δεν θα επηρέαζε το σχήμα προστασίας ούτε την απομόνωση του σφάλματος της γραμμής.

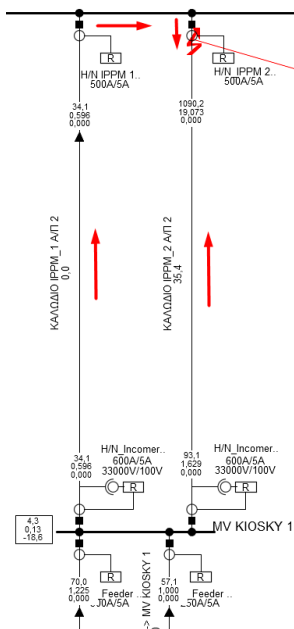


Εικόνα 5-91: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1 με ανοιχτό ΔΙ incomer 2.

Στην περίπτωση όμως που ακριβώς το ίδιο σφάλμα γινόταν στο 80 % της γραμμής, τότε ο H/N της IPPM 2 θα μετρούσε ένα ρεύμα ίσο με 7,251 kA το οποίο θα ανίχνευε στο instant στάδιο του. Με τον τρόπο αυτό θα ενεργοποιηθεί πιο γρήγορα από τον αντίστοιχο incomer 2 ο οποίος θα ανιχνεύει κι αυτός ρεύμα και φορά ικανά ώστε να λειτουργήσει, ωστόσο είναι πιο αργός από το τρίτο στάδιο του H/N της IPPM 2 (**Εικόνα 5-92**). Έτσι, με το που λειτουργήσει ο H/N της IPPM 2 και στείλει σήμα να ανοίξει τον υπεύθυνο ΔΙ, ο κατευθυντικός του incomer 2 θα μετρά ρεύμα ικανό ώστε να διακόψει, ωστόσο ο H/N του IPPM 1 θα μετρά ρεύμα της τάξης των 7,109 kA κι έτσι με αυτόν τον τρόπο αν δεν υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των H/N του incomer 2 και της IPPM 2, θα ενεργοποιηθεί ο H/N της IPPM 1 instant, χαλώντας έτσι την απομόνωση της γραμμής που χρειαζόμαστε. Για τον λόγο αυτόν με το που λειτουργήσει ο H/N της IPPM 2 θέλουμε να στείλει σήμα στον ΔΙ του incomer 2.



- Εκτελώντας τώρα ένα τριφασικό μέγιστο σφάλμα στην αρχή της γραμμής της πύλης παραγωγού (στο 5 % της IPPM 2), λίγο πιο κάτω δηλαδή από τον ζυγό 1, θα πάρουμε το αποτέλεσμα το οποίο φαίνεται παρακάτω.

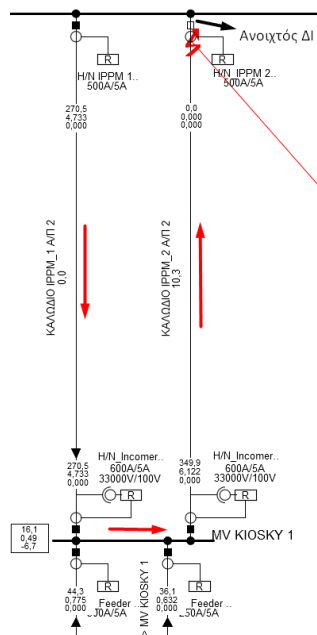


Εικόνα 5-94: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα στην αρχή της IPPM 2.

Στην παραπάνω **Εικόνα 5-94** παρατηρούμε ότι για τριφασικό μέγιστο βραχυκύκλωμα στην αρχή της IPPM 2, ο H/N προστασίας της θα ανιχνεύει ρεύμα της τάξης των 19,073 kA το οποίο προφανώς θα το ανιχνεύσει το τρίτο στάδιο του H/N και θα ενεργοποιηθεί instant. Πρέπει εδώ να αναφέρουμε ότι, και ο κατευθυντικός H/N του incomer 2 θα μετρήσει ρεύμα ικανό ώστε να ενεργοποιηθεί, μιας κι αυτό θα έχει φορά προς τον υποσταθμό. Επειδή έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί στα 200 ms, με το που στείλει σήμα ανοίγματος του ΔΙ instant ο H/N της IPPM 2 θα στείλει και σήμα στον κατευθυντικό να ενεργοποιηθεί κι αυτός (intertrip). Εδώ να πούμε πως και ο κατευθυντικός της IPPM 1 θα ανιχνεύει ρεύμα με φορά προς τον υποσταθμό, αλλά όχι ικανό ώστε να ενεργοποιηθεί.

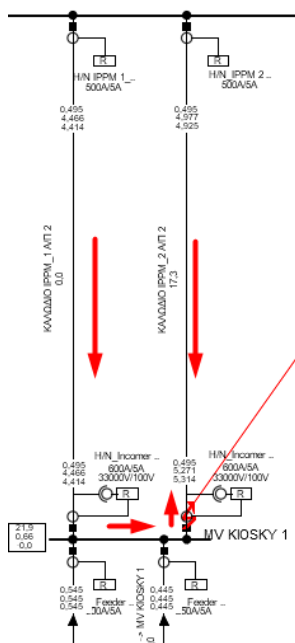
Στην περίπτωση που δεν θα είχαμε επικοινωνία των H/N για να μπορέσει ο H/N της IPPM 2 να στείλει σήμα και να ενεργοποιήσει τον κατευθυντικό H/N του incomer 2, τότε το σενάριο θα είχε ως εξής: για το ίδιο σφάλμα ακριβώς ο H/N της IPPM 2, όπως αναφέραμε και πριν, θα λειτουργούσε instant και θα άνοιγε τον ΔΙ του. Σε αυτή την περίπτωση όμως, με το που ανοίξει ο ΔΙ της IPPM 2 το ρεύμα θα γίνει αντίθετης φοράς, όπως φαίνεται παρακάτω **Εικόνα 5-95**. Εκείνη τη στιγμή ο H/N της IPPM 1 θα ανιχνεύει ρεύμα της τάξης των 4,487 kA το οποίο θα το ανιχνεύει στο πρώτο στάδιό του, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις τις οποίες έχουμε εξάγει, κι έτσι θα λειτουργεί στα 510 ms, ο κατευθυντικός του incomer 1 θα ανιχνεύει ρεύμα ικανό να τον διακόψει, αλλά θα είναι αντίθετης φοράς απ' αυτό για το οποίο πρέπει να λειτουργεί κι επομένως δεν θα στείλει σήμα στον ΔΙ ώστε ο τελευταίος να ανοίξει. Τέλος, ο κατευθυντικός του incomer 2 θα ανιχνεύει ρεύμα και ικανό να τον θέσει σε λειτουργία αλλά και φοράς με την οποία μπορεί να λειτουργήσει, το

οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την αποστολή σήματος ενεργοποίησης από αυτόν στον ΔΙ του σε 200 ms. Παρατηρούμε, επομένως, ότι ο Η/Ν του incomer 2 θα λειτουργήσει πρώτα από τον Η/Ν της IPPM 1 απομονώνοντας τη γραμμή του σφάλματος.



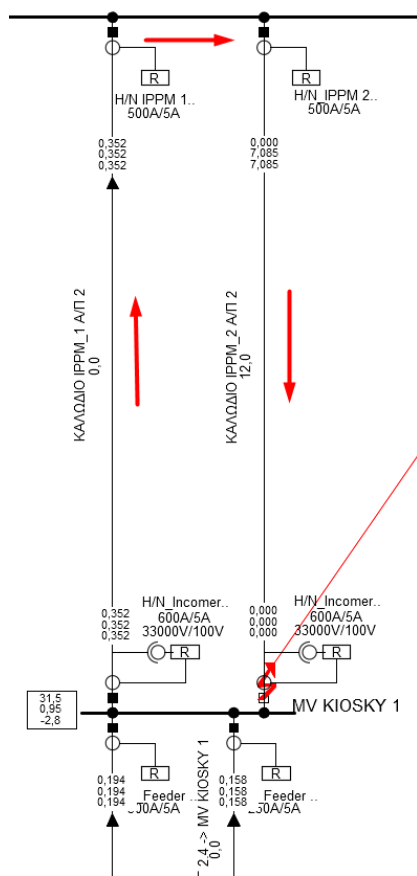
Εικόνα 5-95: Τριφασικό μέγιστο σφάλμα στην αρχή της IPPM 2 με ανοιχτό τον ΔΙ της.

- Εκτελώντας ένα διφασικό μέγιστο βραχυκύκλωμα στο τέλος της γραμμής της IPPM 2 (στο 95% της γραμμής) δηλαδή λίγο πριν το KIOSKY 1, παίρνουμε το αποτέλεσμα που φαίνεται παρακάτω.



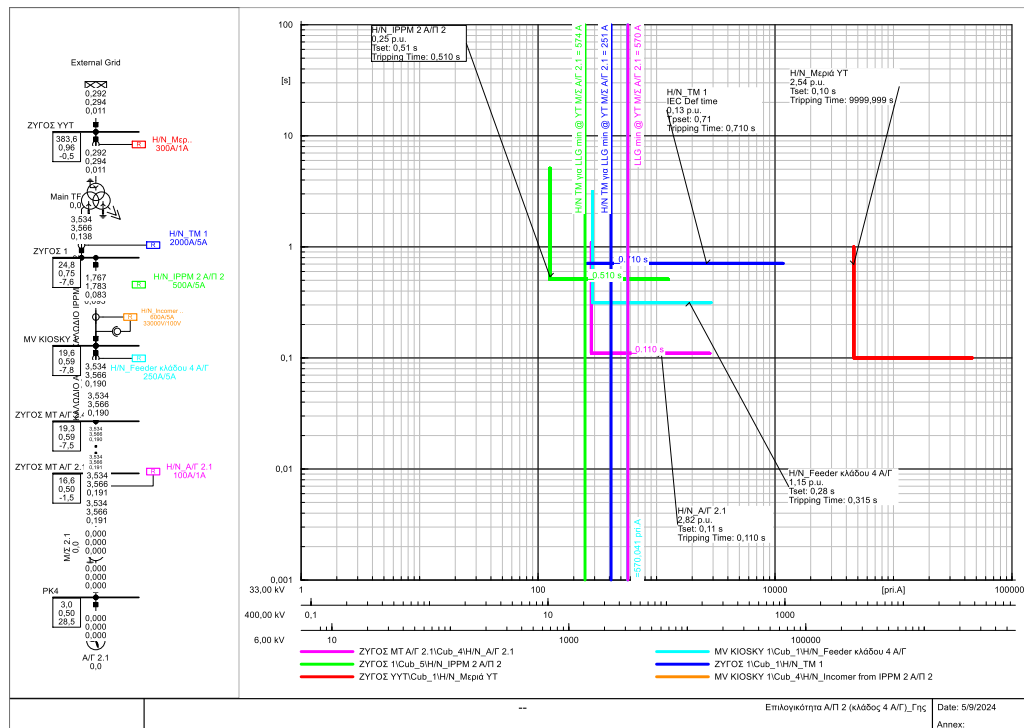
Εικόνα 5-96: Διφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1.

Παρατηρώντας την **Εικόνα 5-96** διαπιστώνουμε ότι για διφασικό μέγιστο σφάλμα στο τέλος της γραμμής IPPM 2, και οι δύο H/N των IPPM θα βλέπουν ρεύμα ικανό ώστε να διακόψουν. Θα το βλέπουν στο 1^ο στάδιο ορισμένου χρόνου τους και θα μετρήσουν 510 ms για να στείλουν σήμα ενεργοποίησης στον υπεύθυνο ΔΙ. Από την φορά, επίσης, του ρεύματος, που φαίνεται με τα κόκκινα βελάκια που έχουμε σημειώσει, ο H/N του incomer 1 δεν θα είναι ικανός να λειτουργήσει, γιατί έχει ρυθμιστεί να διακόπτει για την αντίθετη φορά ρεύματος. Για τον H/N του incomer 2 πληρούνται όλες οι ρυθμίσεις λειτουργίας του (ρεύμα ικανό και φορά αυτού) κι έτσι θα στείλει σήμα ενεργοποίησης στον αντίστοιχο ΔΙ σε 200 ms. Επειδή οι H/N των incomer έχουν επικοινωνία με τους αντίστοιχους του H/N IPPM, μόλις ενεργοποιηθεί ο κατευθυντικός του incomer 2, θα στείλει σήμα ενεργοποίησης και στον H/N της IPPM 2 απομονώνοντας έτσι την γραμμή. Αν δεν υπήρχε επικοινωνία, τότε με το που ενεργοποιούνταν ο ΔΙ του incomer 2, το ρεύμα θα γινόταν αντίθετης φοράς όπως φαίνεται παρακάτω. Στην περίπτωση αυτή από τον κατευθυντικό του incomer 1 θα διέλθει ρεύμα ορθής φοράς ικανό ώστε να ενεργοποιηθεί, αλλά μικρότερο από το threshold στο οποίο έχει ρυθμιστεί, και αντίστοιχα για το H/N της IPPM 1 το ρεύμα αυτό θα έτεμνε την χαρακτηριστική καμπύλη αντιστρόφου χρόνου, του H/N. Έτσι ο πρώτος και ο μόνος που θα ενεργοποιούνταν εν συνεχεία, θα ήταν ο H/N της IPPM 2 και ο οποίος θα λειτουργούσε instant, μιας και σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα το οποίο θα έβλεπε θα ήταν ίσο με 7,085 kA. Επίσης σε αυτή την περίπτωση θα λειτουργήσει η απομόνωση της γραμμής, χωρίς την επικοινωνία των 2 H/N.



Εικόνα 5-97: Διφασικό μέγιστο σφάλμα λίγο πριν το KIOSKY 1 με ανοιχτό ΔΙ incomer 2.

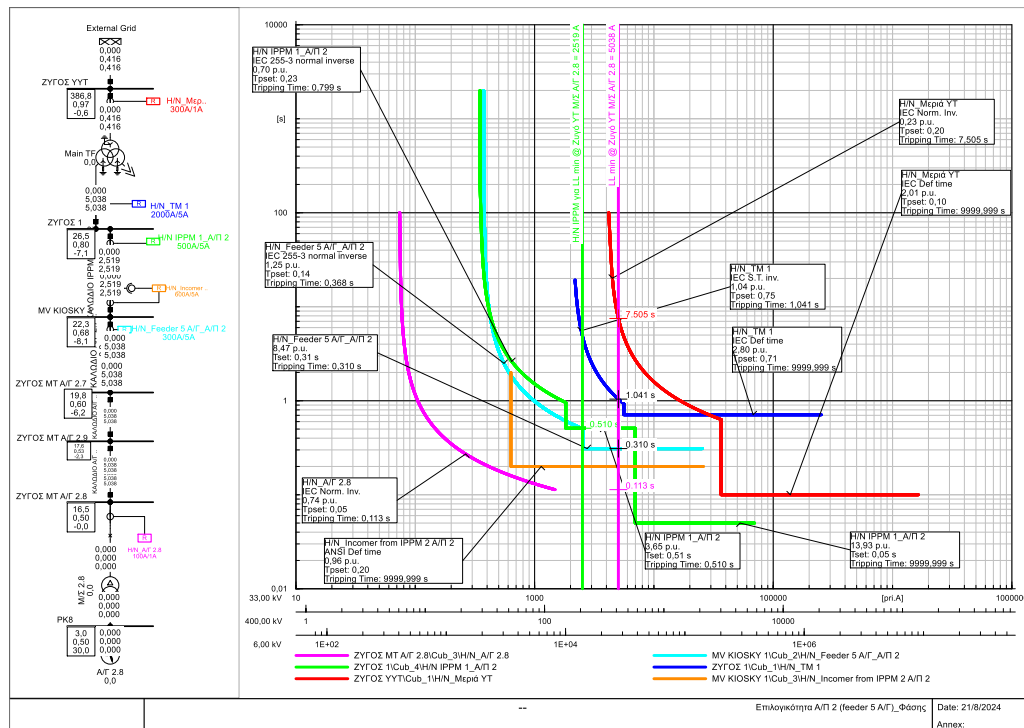
- Στοιχεία Γης H/N A/Π 2 feeder 2 (4 A/Γ):



Εικόνα 5-98: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 2 feeder 2 για LLG min YT A/Γ 2.1.

Παραπάνω (**Εικόνα 5-98**) φαίνονται στις κάθετες τα ρεύματα που βλέπουν οι H/N για διαστικό ελάχιστο βραχυκύκλωμα με γη στον ζυγό YT της A/Γ 2.1. Για το σφάλμα αυτό, όπως φαίνεται, ο H/N_A/Γ 2.1 θα λειτουργήσει πρώτος σε χρόνο 110 ms. Αν ο ΔΙ του δεν ανοίξει, τότε θα αναγκαστεί ο feeder 2 να λειτουργήσει βγάζοντας, σε χρόνο 310 ms από την εμφάνιση του σφάλματος, όλο το αιολικό πάρκο που τροφοδοτεί εκτός. Αν το σφάλμα συνεχίσει να υπάρχει στο δίκτυο, επόμενοι H/N για να λειτουργήσουν είναι αυτοί των δυο IPPM σε χρόνο 510 ms από την εμφάνιση του σφάλματος. Τέλος, αν κανένας από τους H/N δεν έχει καταφέρει να απομονώσει το σφάλμα δύναται κι ο H/N της TM 1 να ανιχνεύσει αυτό το σφάλμα γης και να λειτουργήσει σε χρόνο 710 ms.

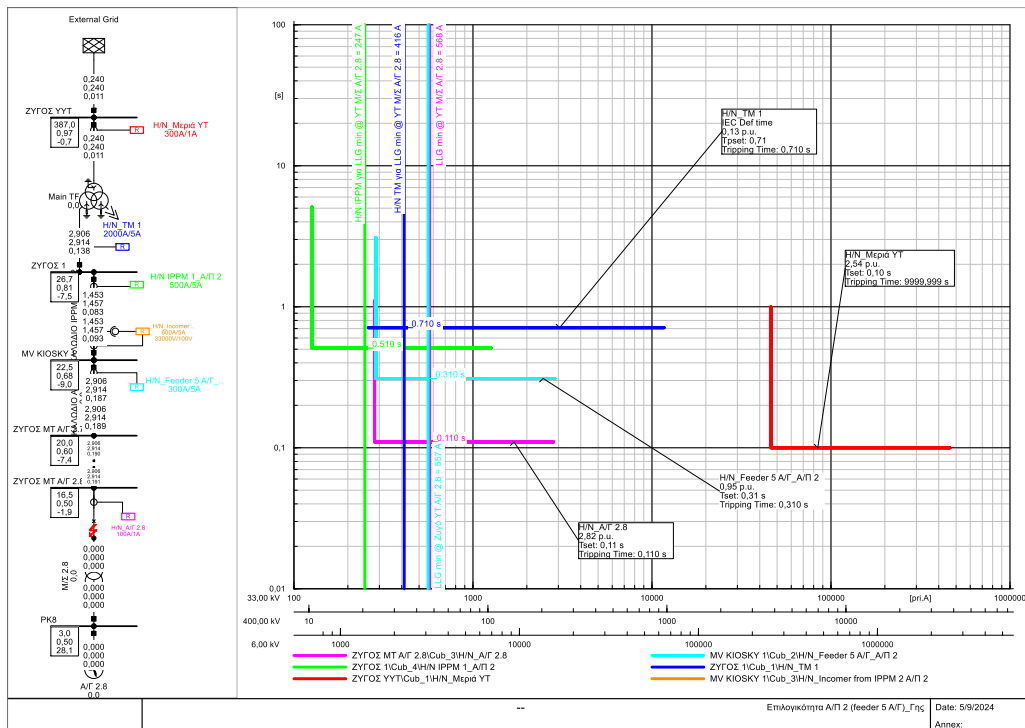
- Στοιχεία Φάσης Η/Ν Α/Π 2 feeder 1 (5 Α/Γ):



Εικόνα 5-99: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 2 feeder 1 για LL min YT A/Γ 2.8.

Στην παραπάνω **Εικόνα 5-99** παρατηρούμε ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης Α/Γ 2.8 η λειτουργία των Η/Ν θα γίνει όπως ακριβώς εξηγήσαμε και για τις Α/Γ του feeder 2 κι έτσι τηρείται η επιλογικότητα μεταξύ αυτών. Η μόνη διαφορά εδώ είναι πως το σφάλμα θα είναι ακόμα μικρότερο και θα το ανιχνεύει ο Η/Ν στην πλευρά της YT για να λειτουργήσει σε χρόνο 7,505 s. Οι κατευθυντικοί των incommers και σε αυτή την περίπτωση δεν θα πρέπει να λειτουργήσουν, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.

- Στοιχεία Γης H/N A/Π 2 feeder 1 (5 A/Γ):



Εικόνα 5-100: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 2 feeder 1 για LLG min YT A/Γ 2.8.

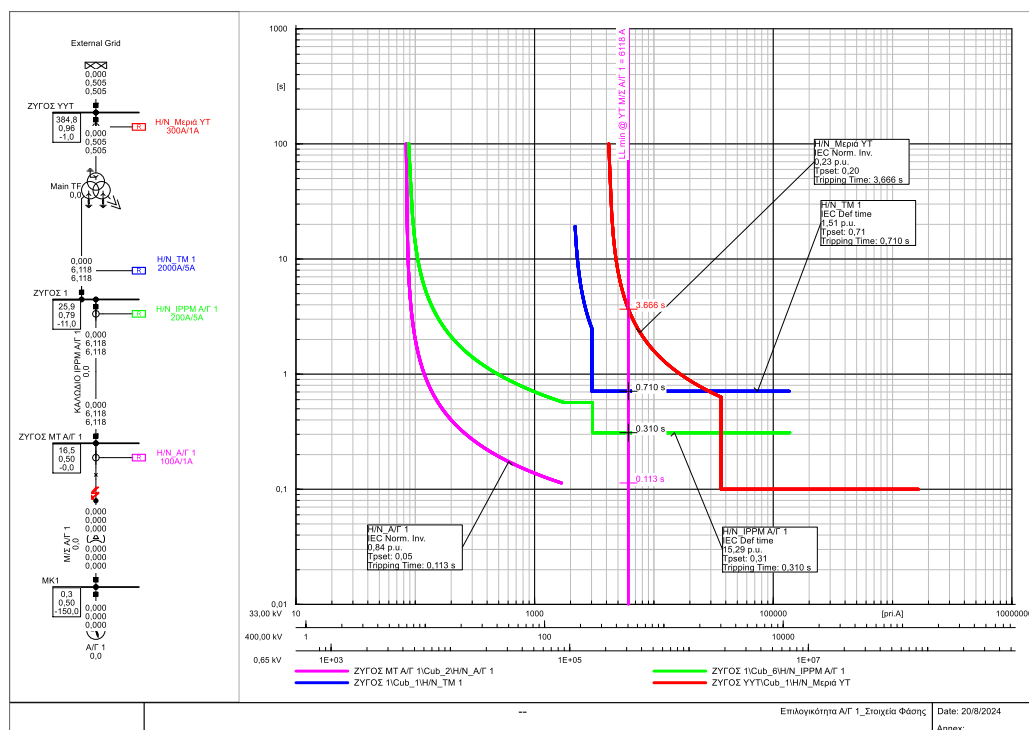
Από την παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 2.8 του feeder 1, καταλαβαίνουμε όπως και προηγουμένως, πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται.

Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως οι ρυθμίσεις των κατευθυντικών όλων των πάρκων, για το στοιχείο φάσης τους, έχουν ρυθμιστεί στα 200 ms και χρησιμοποιώντας τους, οι ρυθμίσεις στο σχήμα προστασίας λειτουργεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που αναφέραμε προηγουμένως.

5.4.3 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 1

Για την εξέταση της επιλογικότητας της σύνδεσης της ανεμογεννήτριας 1 στο δίκτυο, εκτελέσαμε διαφασικά ελάχιστα και διαφασικά ελάχιστα με γη, αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον ζυγό YT αυτής. Το σχήμα προστασίας της ανεμογεννήτριας ένα αποτελείται από έναν H/N στην YT του M/Σ ανύψωσης της και από έναν H/N στην IPPM της. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες.

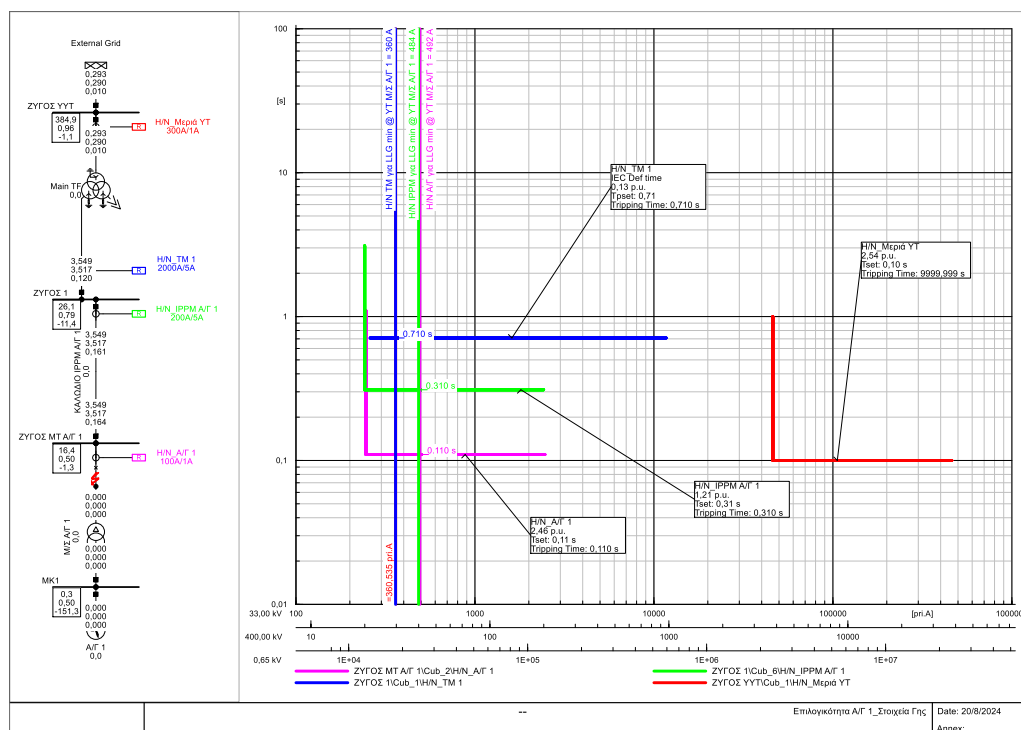
- Στοιχεία Φάσης H/N πάρκου A/Γ 1:



Εικόνα 5-101: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N πάρκου A/Γ 1 για LL min.

Στην παραπάνω **Εικόνα 5-101** παρατηρούμε ότι για διαφασικό ελάχιστο βραχυκύκλωμα στον ζυγό YT της A/Γ 1 πρώτα θα λειτουργήσει το στάδιο αντιστρόφου χρόνου του H/N_A/Γ 1 σε 113 ms. Σε περίπτωση αστοχίας αυτού η IPPM θα απομονώσει το σφάλμα σε 310 ms από την εμφάνισή του. Το σφάλμα αυτό το ανιχνεύει και η TM 1, η οποία θα λειτουργήσει σε 710 ms. Το CTI εδώ μεταξύ H/N IPPM A/Γ 1 και H/N TM 1 δεν παραμένει 200 ms και αυτό διότι το στοιχείο γης της TM έχει οριστεί έτσι, ώστε να διατηρεί την επιλογικότητα με τα άλλα αιολικά πάρκα όπως τα 2-3 που διαθέτουν έναν επιπλέον H/N αυξάνοντας τον χρόνο των IPPM τους στα 510 ms. Τέλος, το βραχυκύκλωμα αυτό μπορεί να το ανιχνεύσει και ο H/N στην πλευρά της YT και στην αντιστρόφου χρόνου και σε χρόνο περίπου 3.666 s.

- Στοιχεία Γης H/N πάρκου A/Γ 1:



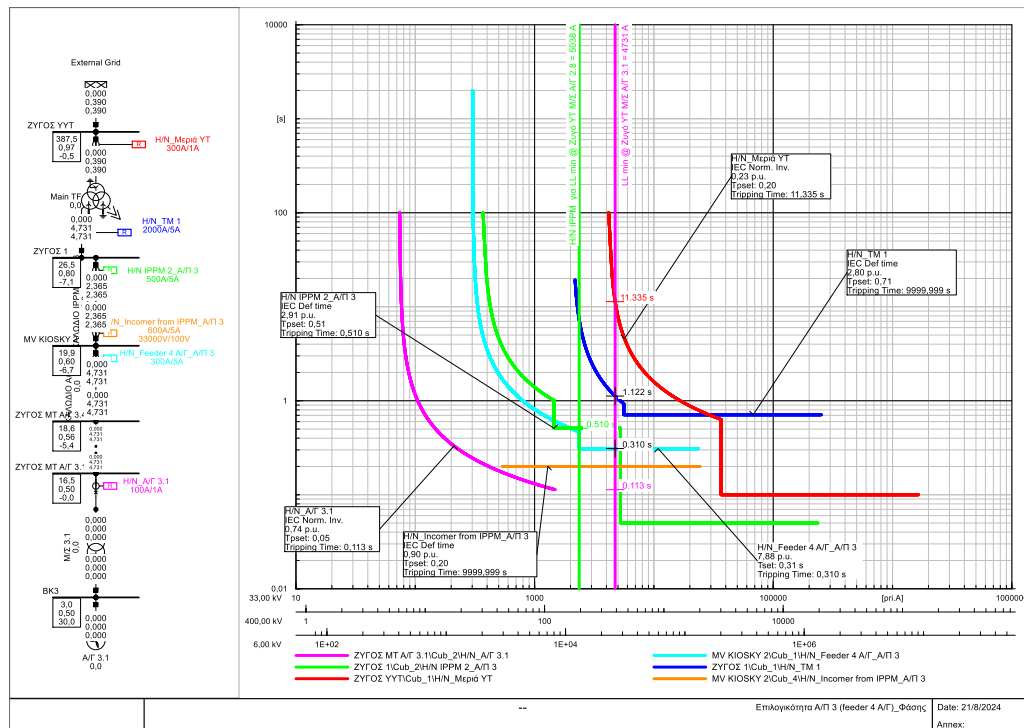
Εικόνα 5-102: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N πάρκου A/Γ 1 για LLG min.

Από την παραπάνω **Εικόνα 5-102** εξάγουμε το συμπέρασμα πως για σφάλμα διφασικό ελάχιστο με επαφή γης στον ζυγό YT της A/Γ 1, πρώτα θα λειτουργήσει ο H/N της A/Γ 1 σε χρόνο 110 ms κι αν αυτός αποτύχει, τότε σειρά θα έχει να λειτουργήσει ο H/N της IPPM σε χρόνο 310 ms από την εμφάνιση του σφάλματος. Τέλος, το σφάλμα αυτό γης το ανιχνεύει και η TM 1 η οποία θα λειτουργήσει σε 710 ms. Το CTI εδώ μεταξύ H/N IPPM A/Γ 1 και H/N TM 1, όπως εξηγήσαμε παραπάνω στο στοιχείο φάσης, δεν παραμένει σταθερό στα 200 ms.

5.4.4 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 3

Για την εξέταση της επιλογικότητας των H/N του αιολικού πάρκου 3, εκτελέσαμε διφασικά ελάχιστα και διφασικά ελάχιστα με γη για τα στοιχεία φάσης και γης αντίστοιχα, στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ του feeder με της 4 A/Γ και αντίστοιχα το ίδιο για τον feeder με τις 2 A/Γ και τον feeder με τις 3 A/Γ. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες και γίνεται ανάλυση αυτών.

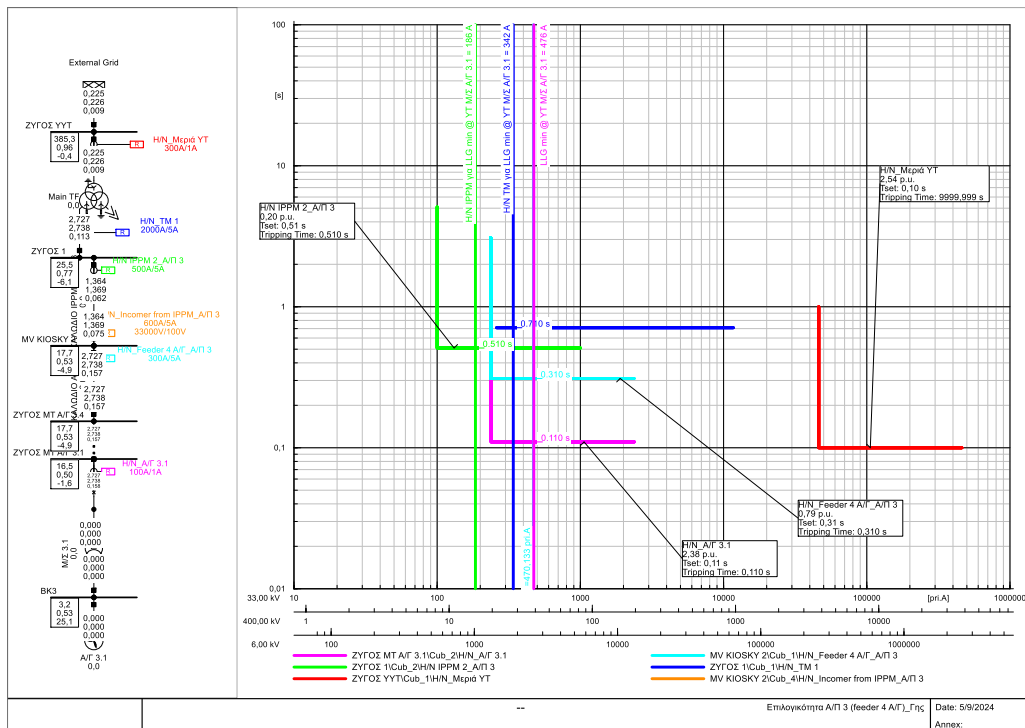
- Στοιχεία Φάσης H/N A/Π 3 feeder 4 A/Γ:



Εικόνα 5-103: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 3 feeder 4 A/Γ για LL min YT A/Γ 3.1.

Στην παραπάνω (**Εικόνα 5-103**) παρατηρούμε ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης Α/Γ 3.1, ο H/N_A/Γ 3.1 είναι ο πρώτος κατά σειρά που σε χρόνο 113 ms θα λειτουργήσει και σε περίπτωση αστοχίας του έρχεται να διακόψει το βραχυκύκλωμα ο H/N του feeder των 4 Α/Γ. Επόμενοι κατά σειρά είναι οι H/N των IPPM οι οποίοι θα δουν ρεύμα ικανό για να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα σε 510 ms. Σαφώς και σε αυτήν την περίπτωση οι κατευθυντικοί των incommers δεν θα λειτουργούν, καθώς, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, έχουν ρυθμιστεί όλοι κατά τον ίδιο τρόπο, να λειτουργούν δηλαδή για ρεύματα με φορά προς τον υποσταθμό. Τέλος, όπως είναι λογικό το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM, (αφού μιλάμε για ελάχιστο βραχυκύκλωμα και έρχεται όλο από το εξωτερικό δίκτυο) και η οποία αν χρειαστεί, θα κόψει σε χρόνο 710 ms. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να λειτουργήσει, αν χρειαστεί, στα 11,335 s.

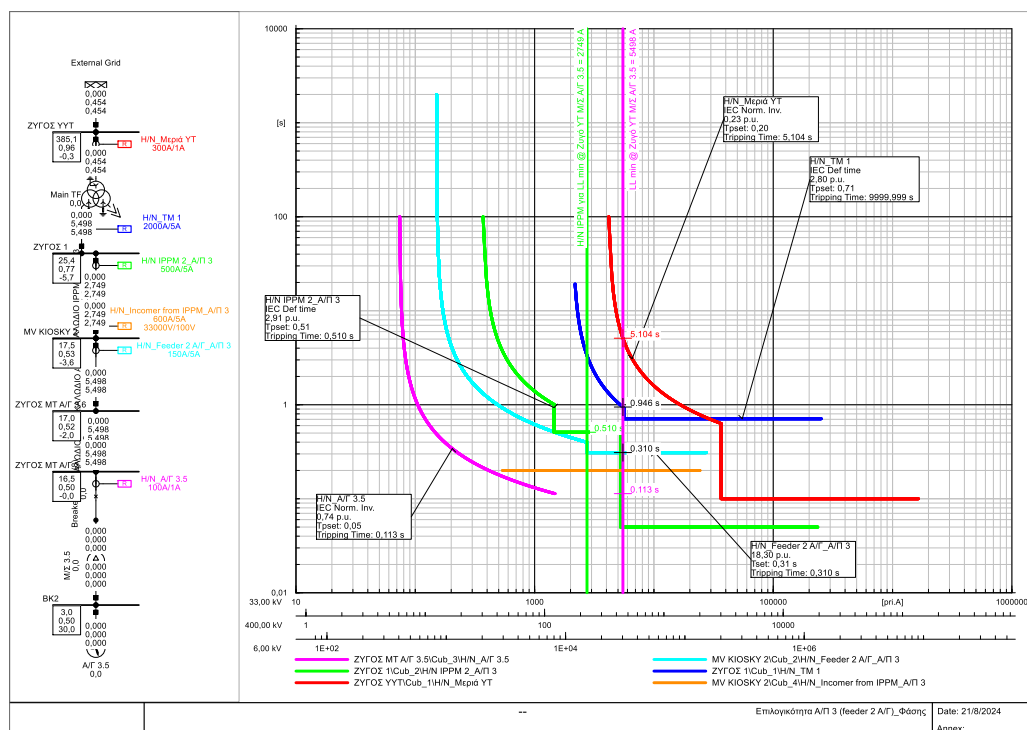
- Στοιχεία Γης H/N A/Π 3 feeder 4 A/Γ:



Εικόνα 5-104: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 3 feeder 4 A/Γ για LLG min YT A/Γ 3.1.

Από την παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 3.1 του feeder των 4 A/Γ, καταλαβαίνουμε, όπως και προηγουμένως, πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms (Εικόνα 5-104).

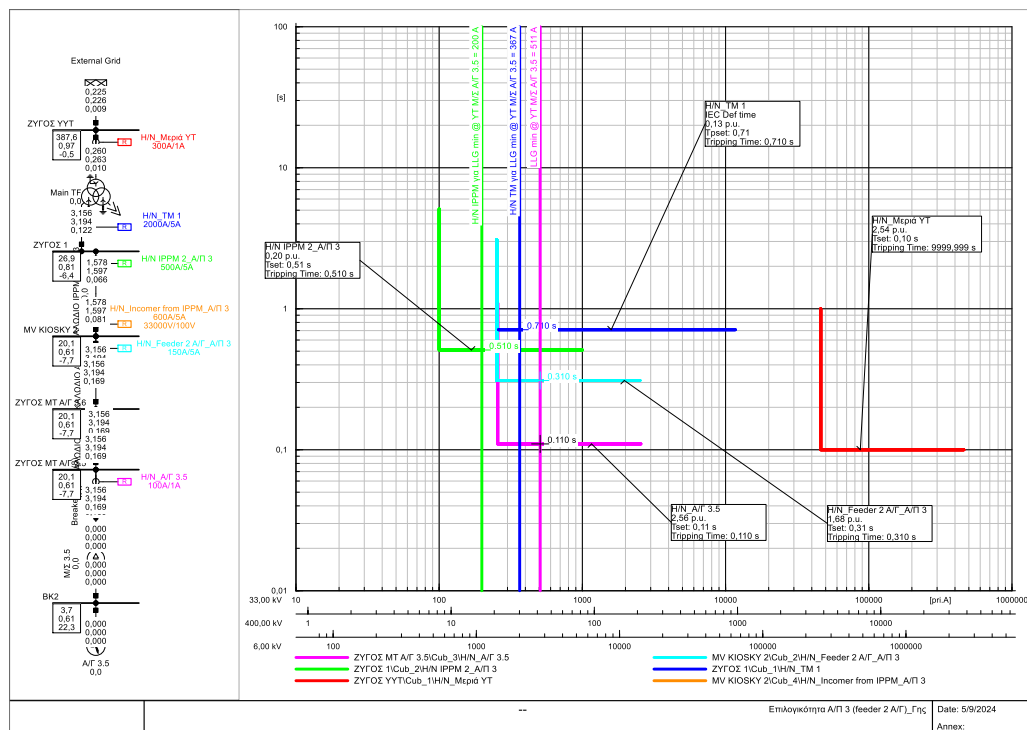
- Στοιχεία Φάσης H/N A/Π 3 feeder 2 A/Γ:



Εικόνα 5-105: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 3 feeder 2 A/Γ για LL min YT A/Γ 3.5.

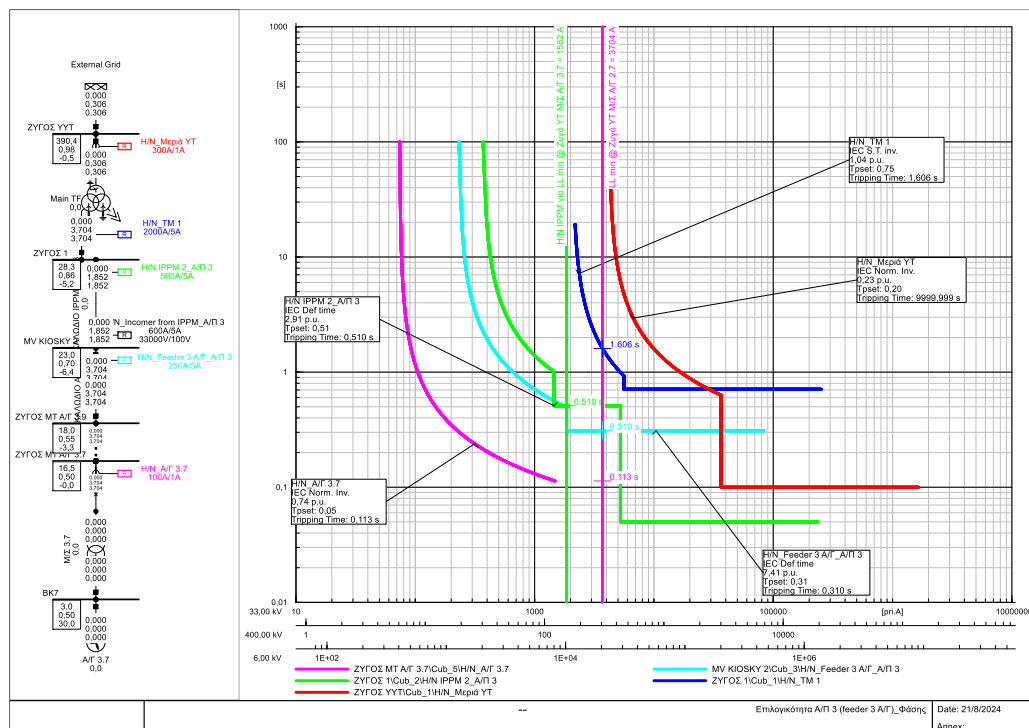
Η παραπάνω εικόνα (Εικόνα 5-105) καταδεικνύει σαφέστατα ότι για ελάχιστο διφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 3.5 ο πρώτος κατά σειρά H/N ο οποίος θα λειτουργήσει και σε χρόνο 113 ms είναι ο H/N_A/Γ 3.5. Ο αμέσως επόμενος που σε περίπτωση αστοχίας του προηγούμενου έρχεται να διακόψει το βραχυκύκλωμα είναι ο H/N του feeder των 2 A/Γ. Ακολουθούν κατά σειρά οι H/N των IPPM, οι οποίοι θα δουν ρεύμα ικανό για να λειτουργήσουν ταυτόχρονα και οι δύο σε 510 ms. Σε αυτή την περίπτωση οι κατευθυντικοί των incomer δεν θα λειτουργήσουν, καθώς, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, έχουν ρυθμιστεί όλοι να λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο, για ρεύματα δηλαδή με φορά προς τον υποσταθμό. Τέλος, το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM, όπως είναι λογικό, (αφού μιλάμε για ελάχιστο βραχυκύκλωμα και έρχεται όλο από το εξωτερικό δίκτυο) και η οποία αν χρειαστεί, θα κόψει σε χρόνο 0,946 s. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να ενεργοποιηθεί, αν χρειαστεί, σε χρόνο 5,104 s.

- Στοιχεία Γης H/N A/Π 3 feeder 2 A/Γ:



Εικόνα 5-106: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 3 feeder 2 A/Γ για LLG min YT A/Γ 3.5. Από την παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 3.5 του feeder των 4 A/Γ, καταλαβαίνουμε, όπως και προηγουμένως, πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms (Εικόνα 5-106).

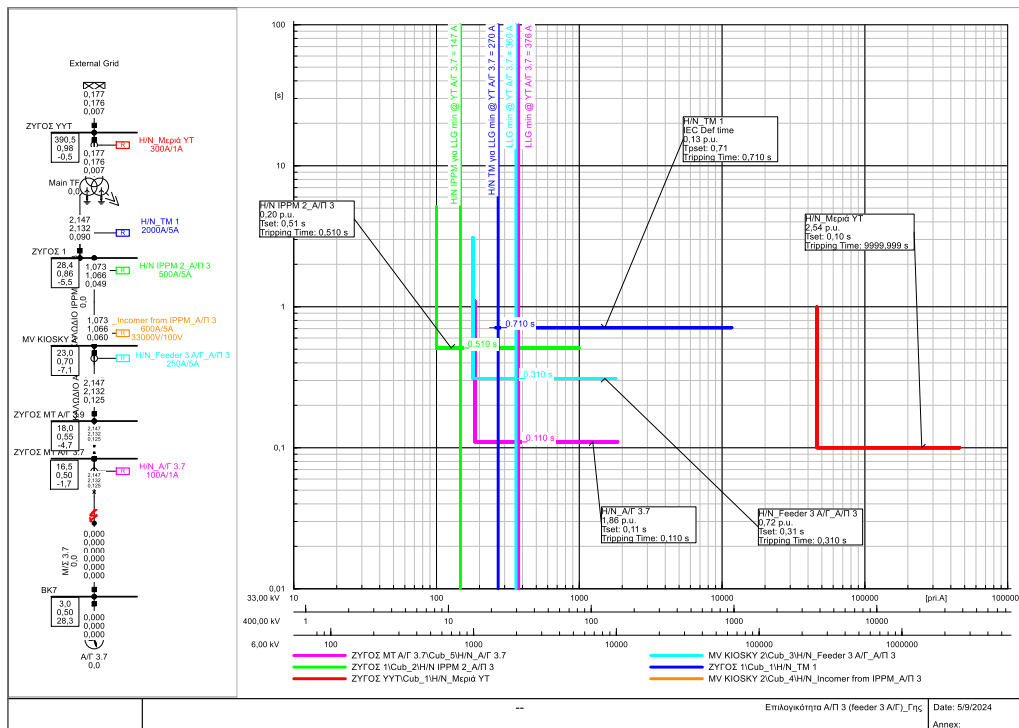
- Στοιχεία Φάσης H/N A/Π 3 feeder 3 A/Γ:



Εικόνα 5-107: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 3 feeder 3 A/Γ για LL min YT A/Γ 3.7.

Μελετώντας την παραπάνω εικόνα (**Εικόνα 5-107**) εξάγουμε το συμπέρασμα ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 3.1, ο H/N που θα λειτουργήσει πρώτος κατά σειρά θα είναι ο H/N_A/Γ 3.1 και σε χρόνο 113 ms και σε περίπτωση αποτυχίας λειτουργίας του, για οποιονδήποτε λόγο, αμέσως έρχεται να διακόψει το βραχυκύκλωμα ο H/N του feeder των 4 A/Γ. Επόμενοι κατά σειρά είναι οι H/N των IPPM, οι οποίοι θα δουν ρεύμα ικανό για να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα και οι δύο σε 510 ms. Το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM, ωστόσο σε αυτήν την περίπτωση δεν θα το ανιχνεύει στο στάδιο ορισμένου χρόνου αλλά σε αυτό του αντιστρόφου χρόνου και θα κόψει, αν χρειαστεί, σε χρόνο 1,606 s. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου δεν θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να ενεργοποιηθεί και επομένως δεν θα λειτουργήσει ποτέ για τέτοιο σφάλμα.

- Στοιχεία Γης H/N A/Π 3 feeder 3 A/Γ:



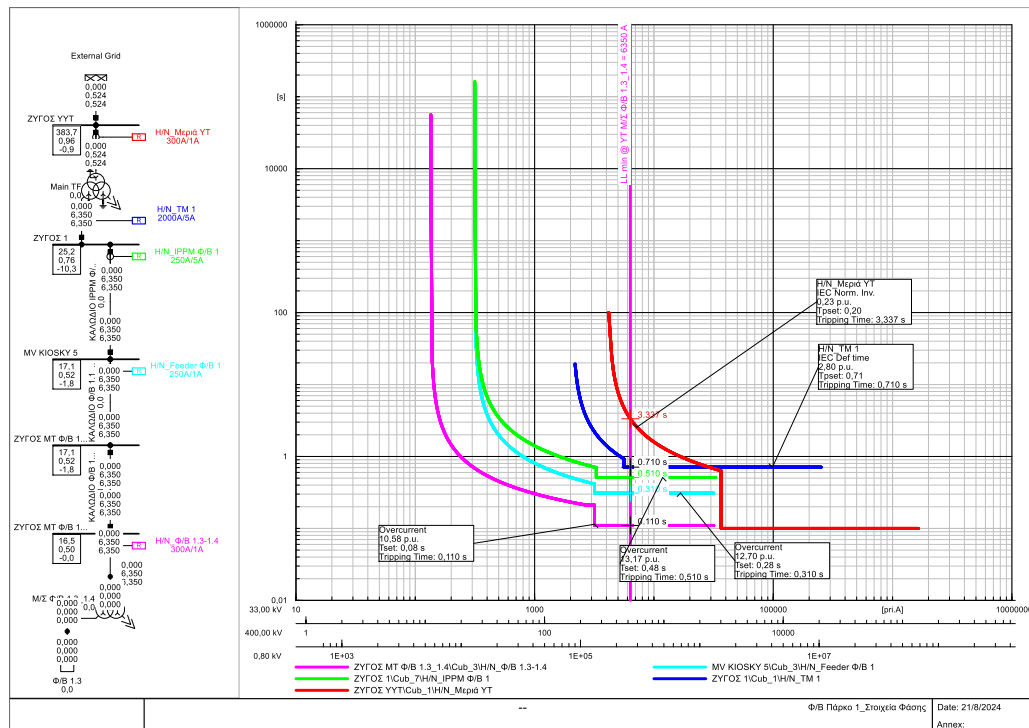
Εικόνα 5-108: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 3 feeder 3 A/Γ για LLG min YT A/Γ 3.7.

Από την παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 3.7 του feeder των 4 A/Γ, κατανοούμε πως, όπως και προηγουμένως, η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms (Εικόνα 5-108).

5.4.5 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ 1-2

Αρχικά πρέπει να αναφέρουμε ότι και τα δύο φωτοβολταϊκά πάρκα είναι ίδια με μια πολύ μικρή διαφορά η οποία αφορά το μήκος των καλωδίων των IPPM, κάτι που δεν επιφέρει επουδενί κάποια αλλαγή στα σφάλματα. Καθώς τα δύο πάρκα έχουν ακριβώς τους ίδιους H/N και ακριβώς τις ίδιες ρυθμίσεις, θα δείξουμε την επιλογικότητα που διατηρείται στο ένα (Φωτοβολταϊκό πάρκο 1) και το ίδιο βεβαίως θα ισχύει και για το άλλο. Για την εξέταση της επιλογικότητας των H/N του φωτοβολταϊκού πάρκου 1 στο δίκτυο, εκτελέσαμε διαφασικά ελάχιστα και διαφασικά ελάχιστα με γη αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT και πιο συγκεκριμένα στον ζυγό YT Φ/Β 1.3_1.4. Το σχήμα προστασίας αποτελείται από 1 H/N στην YT του Μ/Σ ανύψωσης από 1 H/N στον feeder των Φ/Β και από 1 H/N στην IPPM του Φ/Β πάρκου 1. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες.

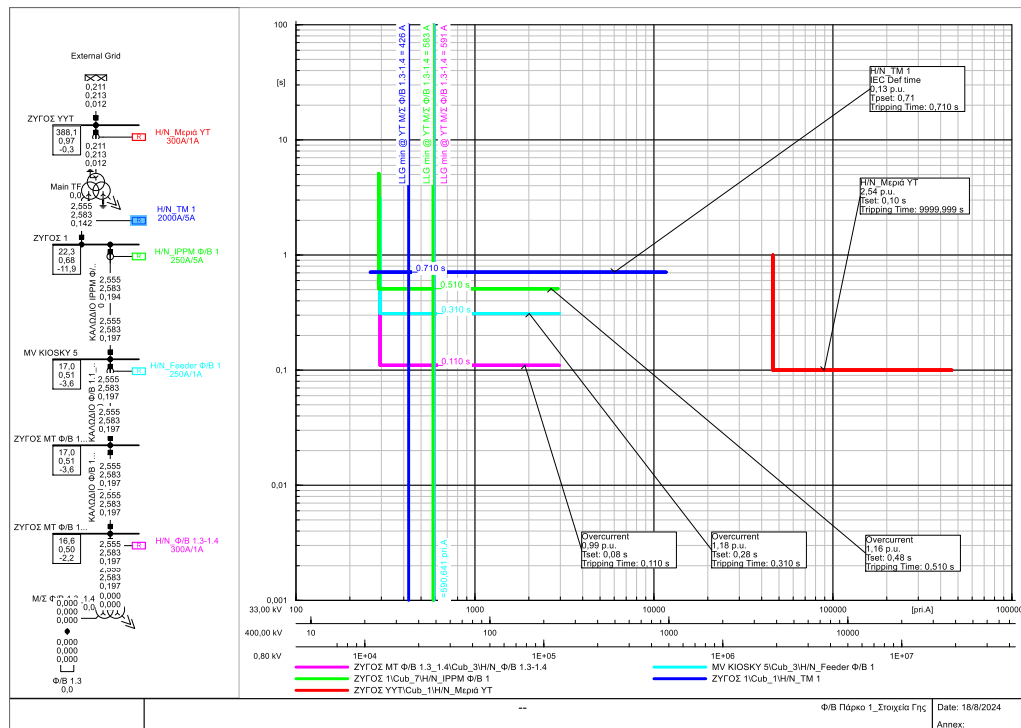
- Στοιχεία Φάσης Φ/Β πάρκου 1:



Εικόνα 5-109: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N Φ/Β πάρκου για LL min YT Φ/Β 1.3-1.4.

Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα (**Εικόνα 5-109**) μπορούμε με βεβαιότητα να πούμε ότι για διαστικό ελάχιστο βραχυκύκλωμα στον ζυγό YT των Φ/Β 1.3-1.4, πρώτα θα λειτουργήσει το στάδιο ορισμένου χρόνου του H/N_Φ/Β 1.3-1.4 σε 110 ms. Σε περίπτωση αστοχίας αυτού ο H/N_Feeder Φ/Β 1 θα απομονώσει το σφάλμα σε 310 ms από την εμφάνισή του και εν συνεχεία αν ούτε ο H/N του feeder δεν απομονώσει το σφάλμα, θα το κάνει ο H/N_IPPM Φ/Β 1 σε 510 ms. Το σφάλμα αυτό το ανιχνεύει και η TM 1 η οποία θα λειτουργήσει σε 710 ms. Τέλος, το βραχυκύκλωμα αυτό μπορεί να το ανιχνεύσει και ο H/N στην πλευρά της YT προφανώς στην αντιστρόφου χρόνου και σε χρόνο περίπου 3,337 s.

- Στοιχεία Γης H/N Φ/B πάρκου 1:



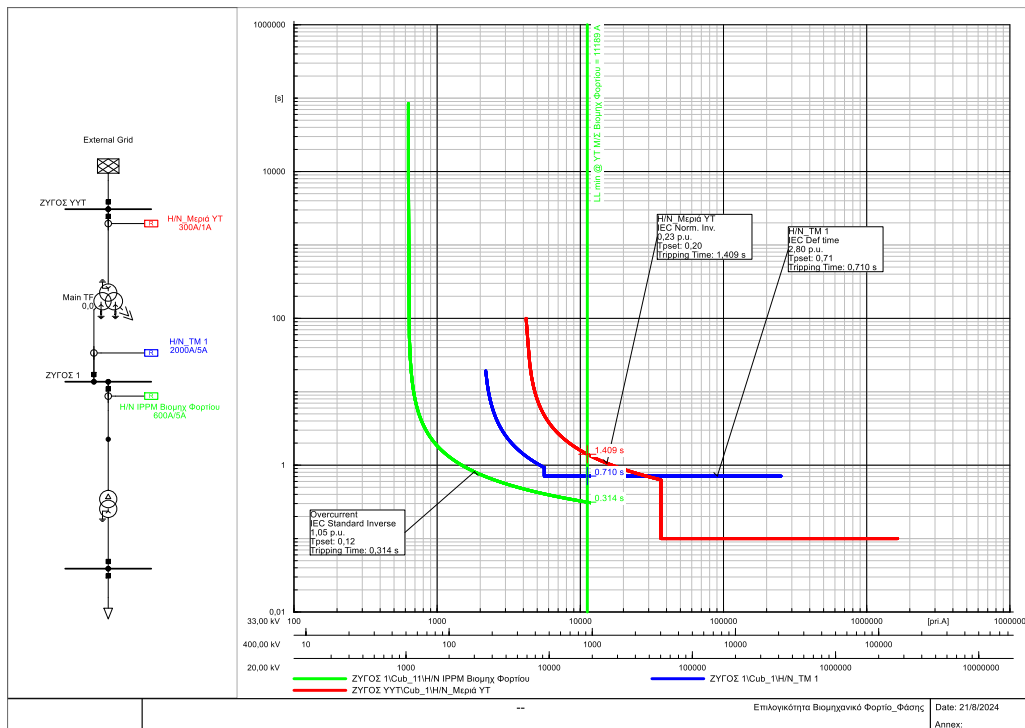
Εικόνα 5-110: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/Β πάρκου 1 για LLG min YT Φ/Β 1.3-1.4.

Από την παραπάνω εικόνα φαίνεται πως για σφάλμα διαφασικό ελάχιστο με επαφή γης στον ζυγό YT της των Φ/Β 1.3-1.4, οι H/N θα λειτουργήσουν ακριβώς με την ίδια σειρά όπως το καταδείξαμε προηγουμένως για τα στοιχεία φάσης τους, μόνο που σε αυτό το σφάλμα για τα στοιχεία γης ο H/N στην πλευρά YT του δικτύου δεν θα ανιχνεύει κάποιο ρεύμα.

5.4.6 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Για την εξέταση της επιλογικότητας της σύνδεσης του βιομηχανικού φορτίου στο δίκτυο, εκτελέσαμε διφασικά ελάχιστα και διφασικά ελάχιστα με γη αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον ζυγό YT αυτού. Το σχήμα προστασίας του βιομηχανικού φορτίου αποτελείται από έναν Η/Ν στην IPPM του. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες.

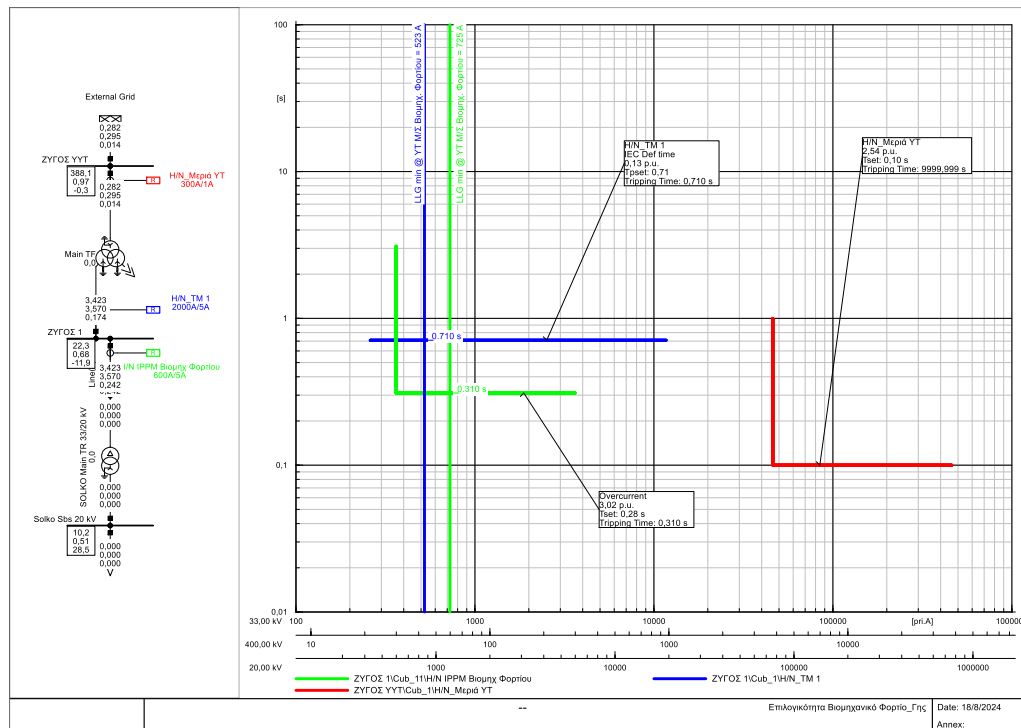
- Στοιχεία Φάσης H/N Βιομηχανικού Φορτίου:



Εικόνα 5-111: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N βιομηχανικού φορτίου για LL min YT M/Σ.

Διαβάζοντας την παραπάνω εικόνα Από την παραπάνω (**Εικόνα 5-111**) μπορούμε ασφαλώς να συμπεράνουμε ότι για διφασικό ελάχιστο βραχυκύκλωμα στον ζυγό YT του M/Σ υποβιβασμού του βιομηχανικού φορτίου πρώτα θα λειτουργήσει το στάδιο ορισμένου χρόνου του H/N της IPPM του βιομηχανικού φορτίου σε 302 ms. Σε περίπτωση που αποτύχει, η TM 1 θα απομονώσει το σφάλμα σε 710 ms από την εμφάνιση του. Το σφάλμα αυτό το ανιχνεύει και ο H/N στην πλευρά YT του δικτύου και ο οποίος, σε περίπτωση αστοχίας των υπολοίπων, θα λειτουργήσει σε 1,409 s. Το CTI, εδώ, μεταξύ H/N IPPM βιομηχανικού φορτίου και H/N TM 1 δεν παραμένει 200 ms και αυτό διότι το στοιχείο γης της TM έχει οριστεί ώστε να διατηρεί την επιλογικότητα με τα άλλα αιολικά πάρκα, όπως τα 2-3 που διαθέτουν έναν επιπλέον H/N, αυξάνοντας τον χρόνο των IPPM τους στα 510 ms.

- Στοιχεία Γης Η/Ν Βιομηχανικού Φορτίου:



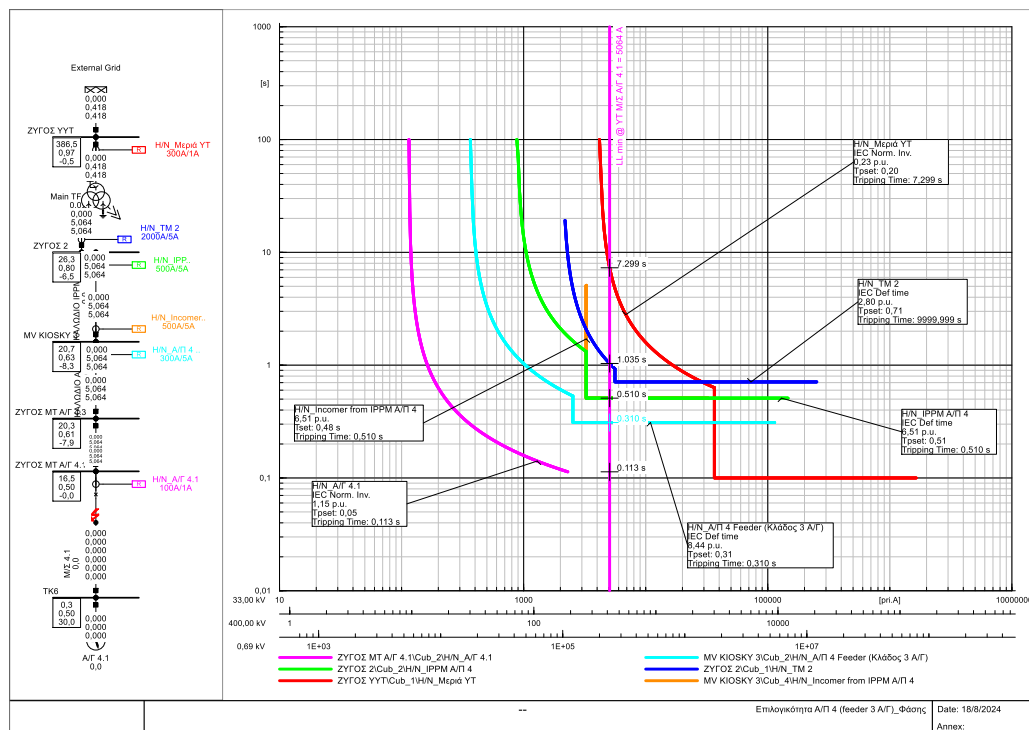
Εικόνα 5-112: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N βιομηχανικού φορτίου για LLG min YT M/Σ.

Όπως ξεκάθαρα φαίνεται στην παραπάνω **Εικόνα 5-112** για σφάλμα διαφασικό ελάχιστο με επαφή γης στον ζυγό YT του Μ/Σ υποβιβασμού του βιομηχανικού φορτίου πρώτα θα λειτουργήσει ο H/N της IPPM αυτού και σε χρόνο 302 ms. Αν αυτός για οιαδήποτε αιτία αποτύχει, τότε θα λειτουργήσει ο H/N της TM 1 και σε χρόνο 710 ms από την εμφάνιση του σφάλματος.

5.4.7 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 4

Για την εξέταση της επιλογικότητας των H/N του αιολικού πάρκου 4 εκτελέσαμε διφασικά ελάχιστα και διφασικά ελάχιστα με γη αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης Α/Γ του feeder με της 4 Α/Γ και αντίστοιχα το ίδιο για τον feeder με τις 3 Α/Γ. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες και γίνεται ανάλυση αυτών.

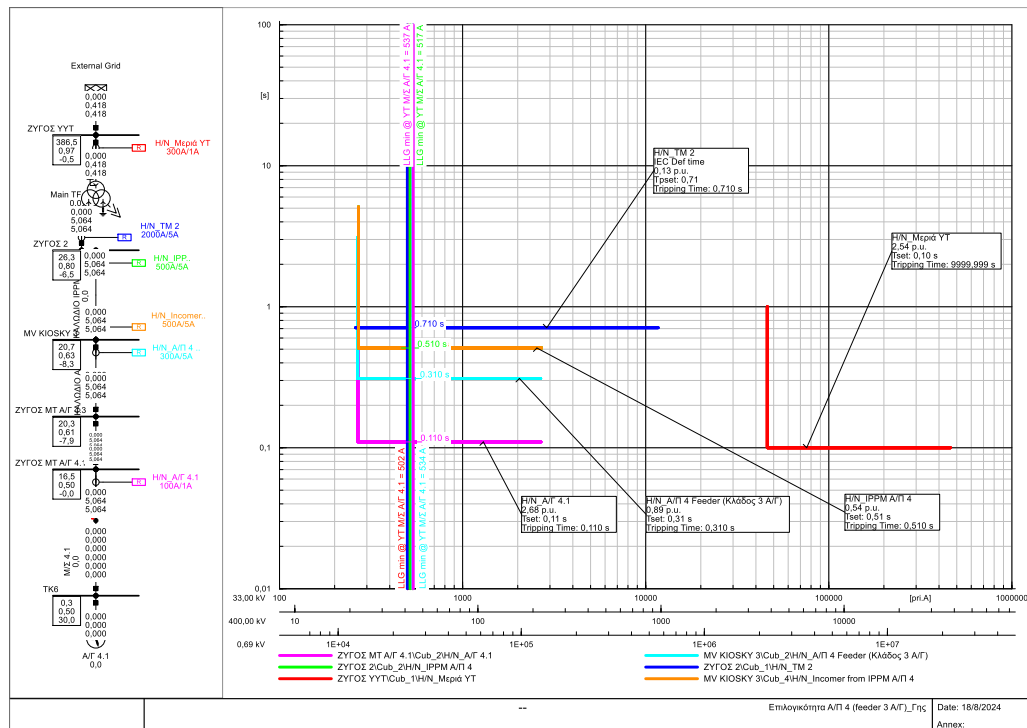
- Στοιχεία Φάσης H/N A/Π 4 feeder 3 A/Γ:



Εικόνα 5-113: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 4 feeder 3 A/Γ για LL min YT A/Γ 4.1.

Παρατηρούμε στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 5-113) ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 4.1, ο H/N που θα ενεργοποιηθεί πρώτος θα είναι ο H/N_A/Γ 4.1 και μάλιστα σε χρόνο 113 ms. Σε περίπτωση αδυναμίας λειτουργίας του έρχεται να διακόψει το βραχυκύκλωμα ο H/N του feeder των 3 A/Γ. Επόμενοι κατά σειρά είναι οι H/N των incomer (δεν είναι κατευθυντικοί σε αυτό το πάρκο) και IPPM οι οποίοι θα δουν ίδιο ρεύμα ικανό για να λειτουργήσουν σε 510 ms ταυτόχρονα. Τέλος, το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM 2 στο στάδιο αντιστρόφου χρόνου και θα κόψει, αν χρειαστεί, σε χρόνο 1,035 s. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να ενεργοποιηθεί και σε χρόνο 7,3 s από την εμφάνιση του σφάλματος.

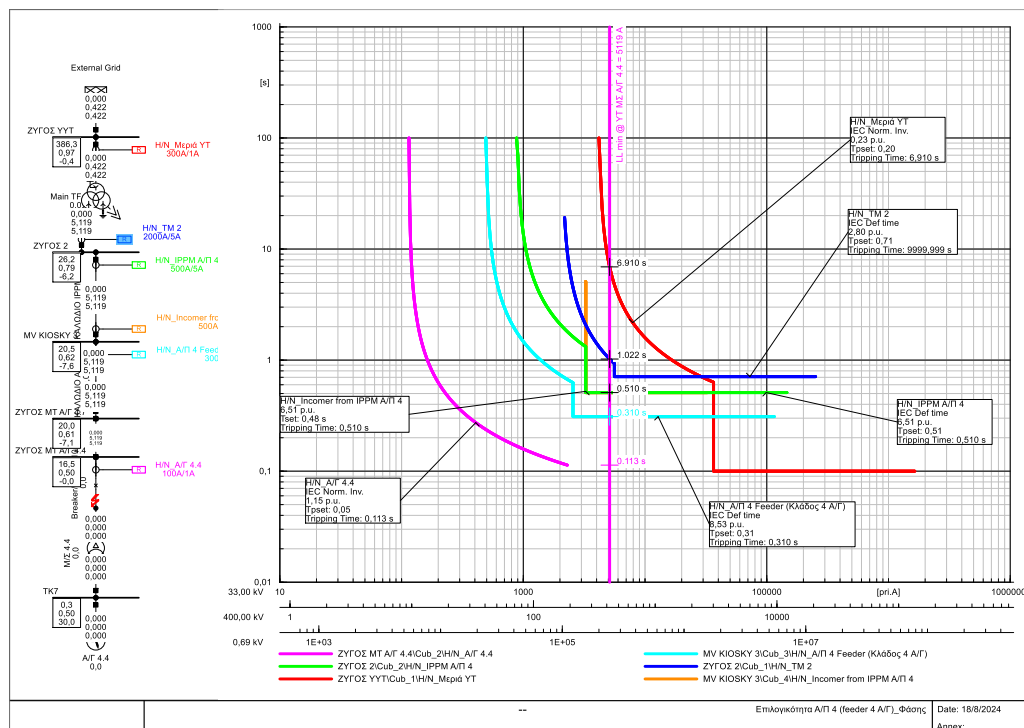
- Στοιχεία Γης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ:



Εικόνα 5-114: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 4 feeder 3 A/Γ για LLG min YT A/Γ 4.1.

Από την ανωτέρω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 4.1 του feeder των 3 A/Γ, καταλαβαίνουμε, όπως ακριβώς και στα στοιχεία φάσης αυτών που δείξαμε παραπάνω, πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms, μόνο που σε αυτήν την περίπτωση δεν ανιχνεύει σφάλμα ο H/N στην YT (**Εικόνα 5-114**).

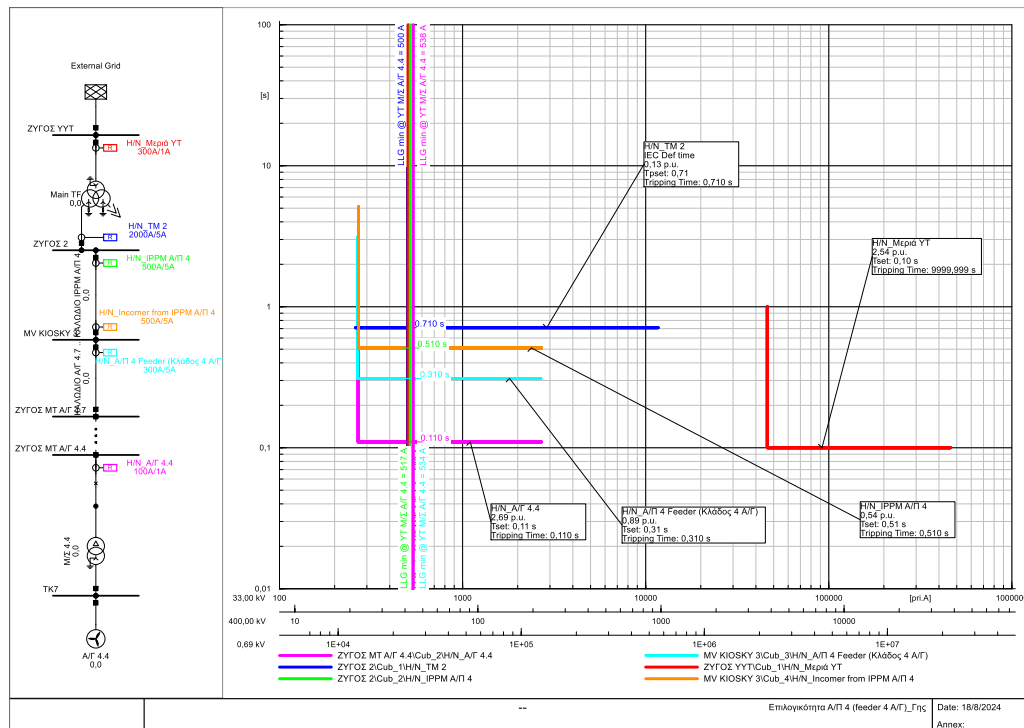
- Στοιχεία Φάσης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ:



Εικόνα 5-115: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ για LL min YT A/Γ 4.4.

Η παρατήρηση της ανωτέρω εικόνας (**Εικόνα 5-115**) καταδεικνύει εμφανώς ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 4.4, ο πρώτος H/N ο οποίος θα λειτουργήσει είναι ο H/N_A/Γ 4.4 και σε χρόνο 113 ms και σε περίπτωση αποτυχίας λειτουργίας του ο αμέσως επόμενος που έρχεται να διακόψει το βραχυκύκλωμα είναι ο H/N του feeder των 4 A/Γ. Ακολουθούν κατά σειρά είναι οι H/N των incomer (δεν είναι κατευθυντικοί σε αυτό το πάρκο) και IPPM οι οποίοι θα δουν ίδιο ρεύμα ικανό για να λειτουργήσουν σε 510 ms ταυτόχρονα. Τέλος, το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM 2 στο στάδιο αντιστροφού χρόνου και θα κόψει, αν χρειαστεί, σε χρόνο 1,022 s. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να ενεργοποιηθεί και σε χρόνο 6,91 s από την εμφάνιση του σφάλματος.

- Στοιχεία Γης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ:



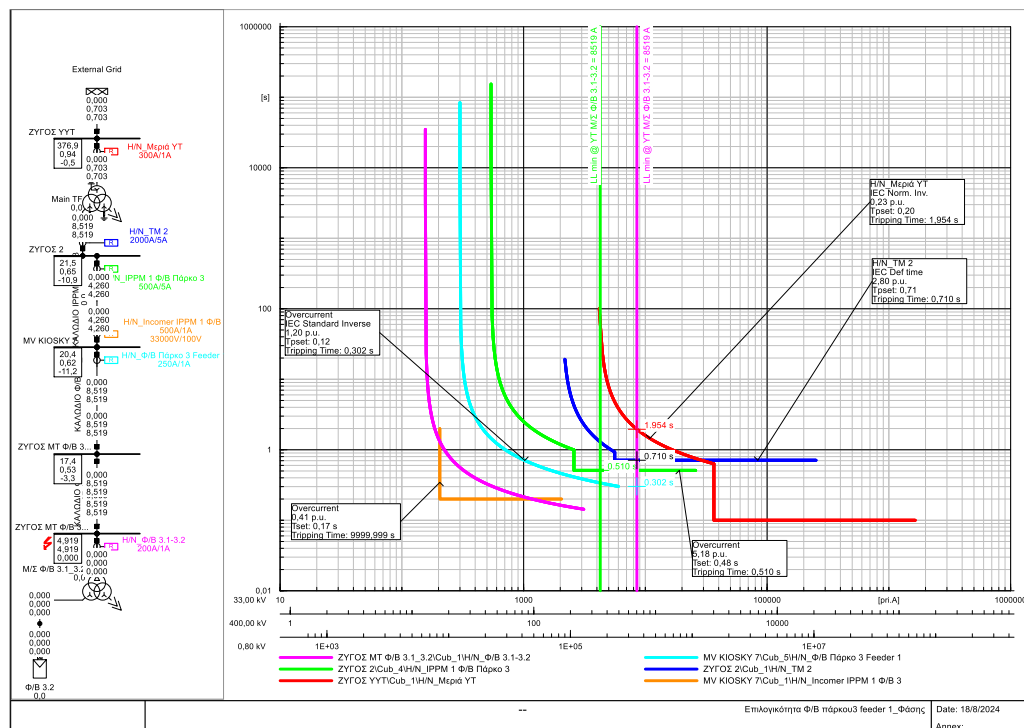
Εικόνα 5-116: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ για LLG min YT A/Γ 4.4.

Η παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 4.4 του feeder των 4 A/Γ, μας οδηγεί στο συμπέρασμα, όπως και προηγουμένως, πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms **(Εικόνα 5-116)**.

5.4.8 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 3

Για την εξέταση της επιλογικότητας των H/N του φωτοβολταϊκού πάρκου 3, εκτελέσαμε διφασικά ελάχιστα και διφασικά ελάχιστα με γη αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον ζυγό YT του πιο απομακρυσμένου ζυγού Φ/Β αντίστοιχα για τον feeder 1, 2 και 3. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες και γίνεται ανάλυση αυτών.

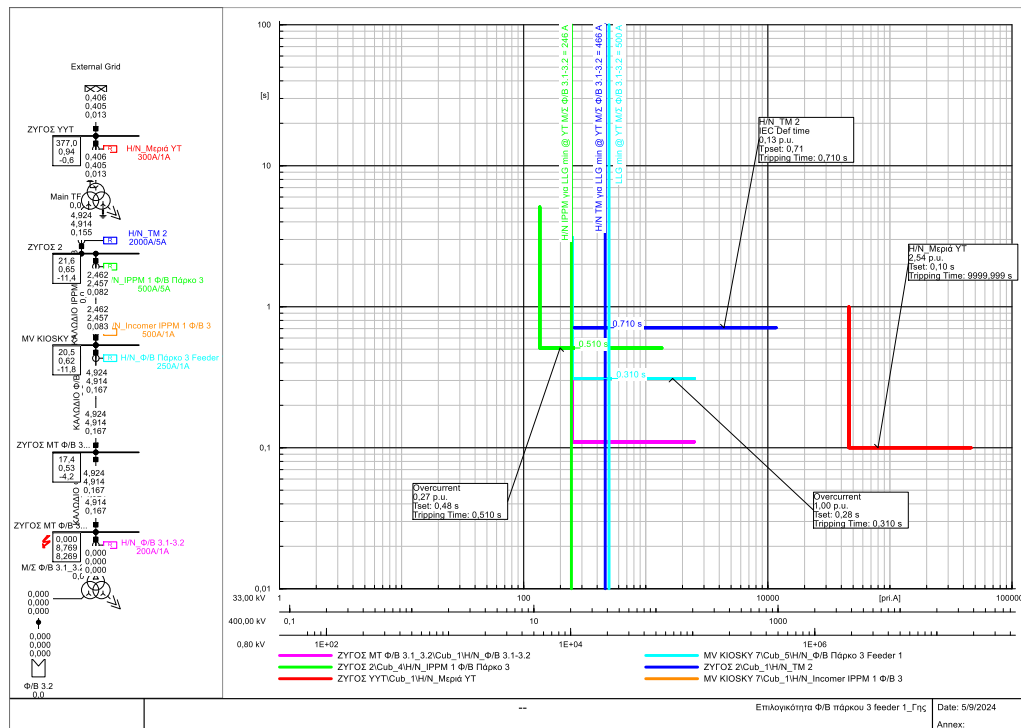
- Στοιχεία Φάσης Η/Ν Φ/Β πάρκου 3 feeder 1:



Εικόνα 5-117: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης Η/Ν Φ/Β 3 feeder 1 για LL min YT Φ/Β 3.1-3.2.

Παρατηρούμε στην εικόνα (**Εικόνα 5-117**) ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό ΥΤ των πιο απομακρυσμένων Φ/Β 3.1-3.2, ο πρώτος Η/Ν ο οποίος θα λειτουργήσει είναι ο Η/Ν_Φ/Β 3.1-3.2 και σε χρόνο 113 ms. Σε περίπτωση αδυναμίας λειτουργίας του, ο αμέσως επόμενος που θα τον διαδεχτεί στο να διακόψει το βραχυκύκλωμα είναι ο Η/Ν του feeder 1. Έπονται κατά σειρά οι Η/Ν των IPPM οι οποίοι θα δουν ίδιο ρεύμα ικανό για να ενεργοποιηθούν σε 510 ms ταυτόχρονα. Οι Η/Ν των incomer σε αυτό το πάρκο είναι κατευθυντικοί, επομένως δεν θα βλέπουν το σφάλμα κι έτσι δεν θα λειτουργήσουν. Τέλος, το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM 2 στο στάδιο ορισμένου χρόνου και θα κόψει, αν χρειαστεί, σε χρόνο 710 ms. Ο Η/Ν στην πλευρά της ΥΤ του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να ενεργοποιηθεί και σε χρόνο 1,954 s από την εμφάνιση του σφάλματος.

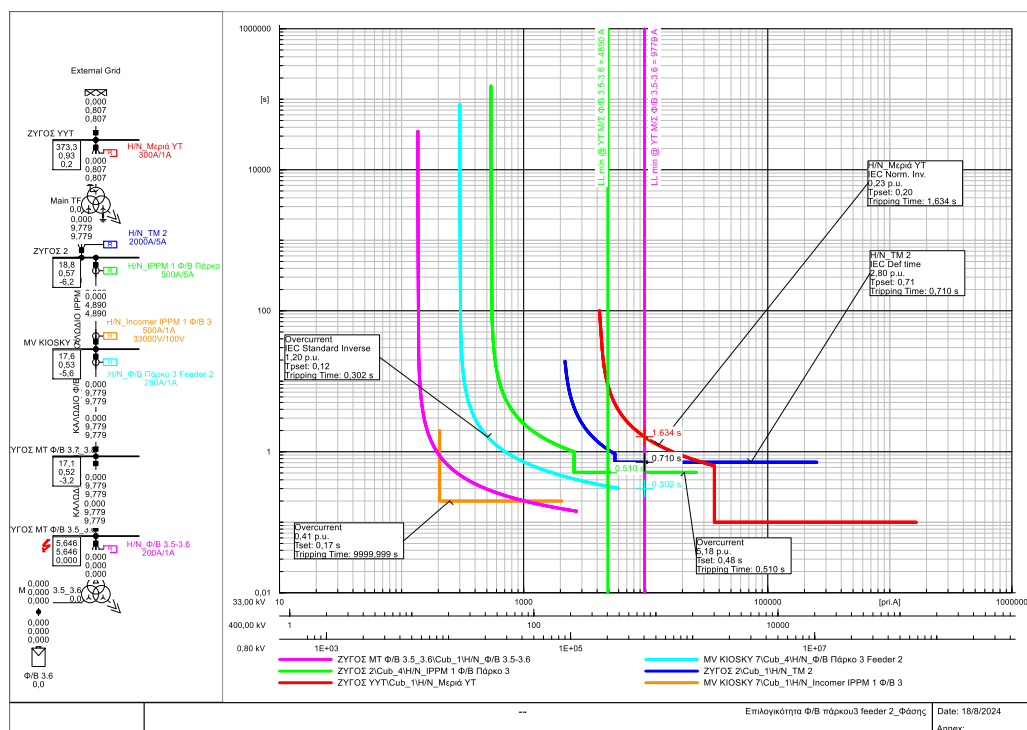
- Στοιχεία Γης Η/Ν Φ/Β πάρκου 3 feeder 1:



Εικόνα 5-118: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/Β 3 feeder 1 για LLG min YT Φ/Β 3.1-3.2.

Από την παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT των Φ/Β 3.1-3.2 του feeder 1, όπως ακριβώς και στα στοιχεία φάσης αυτών που καταδείχτηκαν ανωτέρω, έτσι κι εδώ, καταλαβαίνουμε πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms. Ο H/N στην YT δεν ανιχνεύει αυτό το σφάλμα γης (**Εικόνα 5-118**).

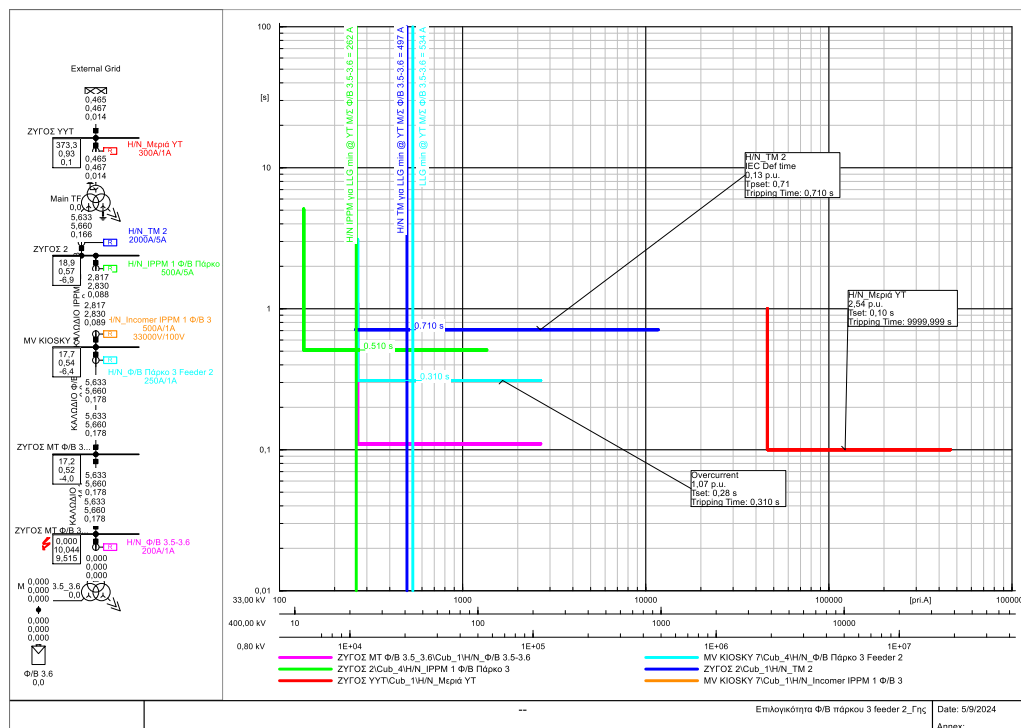
- Στοιχεία Φάσης Η/Ν Φ/Β πάρκου 3 feeder 2:



Εικόνα 5-119: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης Η/Ν Φ/Β 3 feeder 2 για LL min YT Φ/Β 3.5-3.6.

Μελετώντας την ανωτέρω εικόνα (**Εικόνα 5-119**) βλέπουμε ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT των πιο απομακρυσμένων Φ/Β 3.5-3.6 τότε πρώτος κατά σειρά Η/Ν ο οποίος θα λειτουργήσει για να διακόψει το βραχυκύκλωμα είναι ο Η/Ν_Φ/Β 3.5-3.6 και σε χρόνο 113 ms. Σε περίπτωση αστοχίας του ο επόμενος που θα ενεργοποιηθεί για τη διακοπή του βραχυκυκλώματος είναι ο Η/Ν του feeder 2. Ακολουθούν κατά σειρά οι Η/Ν των IPPM οι οποίοι θα δουν ίδιο ρεύμα ικανό ώστε να ενεργοποιηθούν σε 510 ms ταυτόχρονα. Οι Η/Ν των incomer σε αυτό το πάρκο είναι κατευθυντικοί, επομένως δεν θα δουν το σφάλμα κι έτσι δεν θα λειτουργήσουν. Το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM 2 στο στάδιο ορισμένου χρόνου και αν χρειαστεί, θα κόψει σε χρόνο 710 ms. Ο Η/Ν στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να ενεργοποιηθεί και σε χρόνο 1,634 s από την εμφάνιση του σφάλματος.

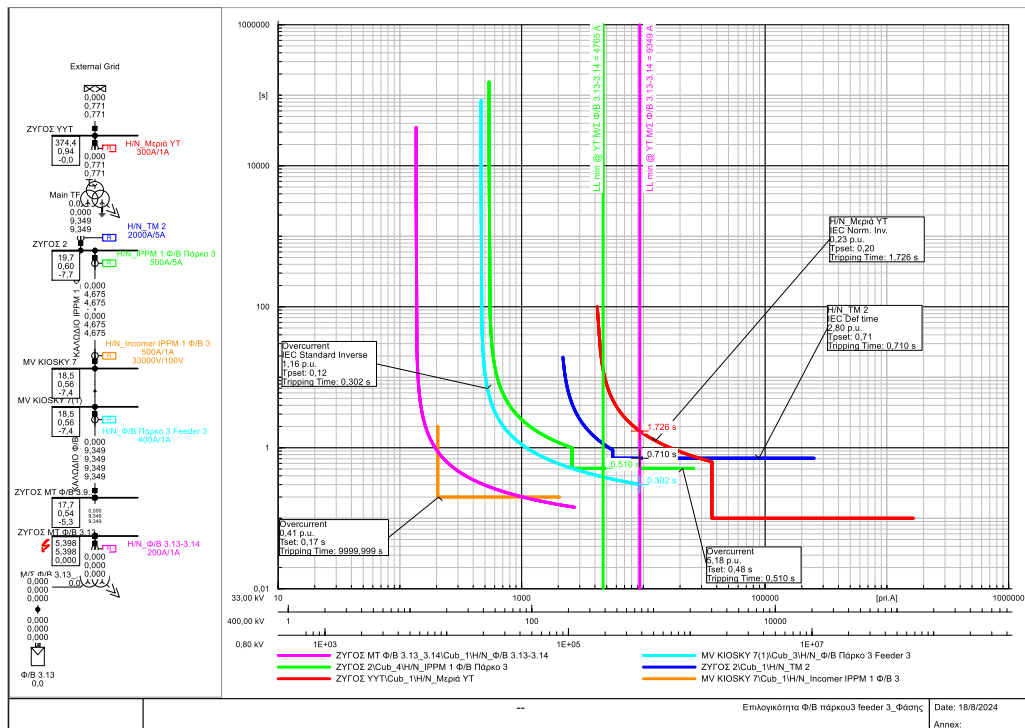
- Στοιχεία Γης H/N Φ/Β πάρκου 3 feeder 2:



Εικόνα 5-120: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/Β 3 feeder 2 για LL min YT Φ/Β 3.5-3.6.

Από την παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαστικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT των Φ/Β 3.5-3.6 του feeder 2, όπως ακριβώς και στα στοιχεία φάσης αυτών που δείξαμε παραπάνω έτσι κι εδώ, αντιλαμβανόμαστε ότι η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms. Ο H/N στην YT δεν ανιχνεύει αυτό το σφάλμα γης (Εικόνα 5-120).

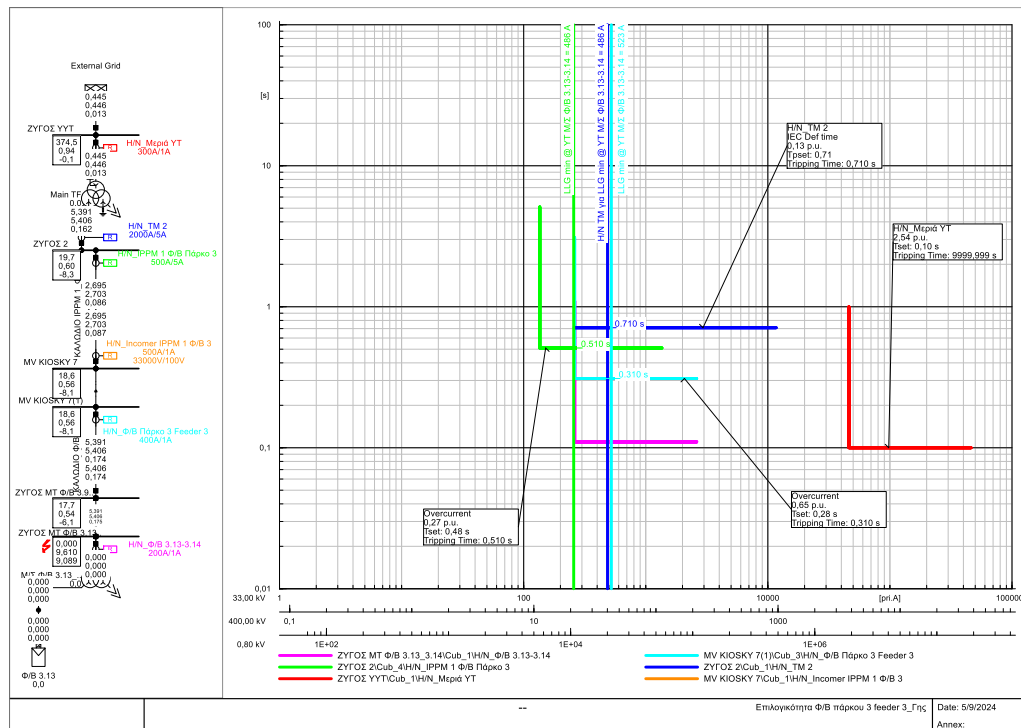
- Στοιχεία Φάσης H/N Φ/B πάρκου 3 feeder 3:



Εικόνα 5-121: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N Φ/B 3 feeder 3 για LL min YT Φ/B 3.13-3.14.

Αναλύοντας την ανωτέρω εικόνα (**Εικόνα 5-121**) παρατηρούμε ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT των πιο απομακρυσμένων Φ/B 3.13-3.14 ο H/N που πρώτος κατά σειρά θα λειτουργήσει είναι ο H/N_Φ/B 3.13-3.14 και σε χρόνο 113 ms. Στην απευκταία περίπτωση αδυναμίας του να λειτουργήσει για την απομόνωση του βραχυκυκλώματος ο αμέσως επόμενος H/N που θα τεθεί σε λειτουργία είναι ο H/N του feeder 3. Ακολουθούν κατά σειρά οι H/N των των incomer σε αυτό το πάρκο είναι κατευθυντικοί, κατά συνέπεια δεν θα αντιληφθούν το σφάλμα κι έτσι δεν θα μπουν σε λειτουργία. Τέλος, το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM 2 στο στάδιο ορισμένου χρόνου και θα κόψει, αν χρειαστεί, σε χρόνο 710 ms. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα για να ενεργοποιηθεί και σε χρόνο 1,726 s από την εμφάνιση του σφάλματος.

- Στοιχεία Γης H/N Φ/B πάρκου 3 feeder 3:



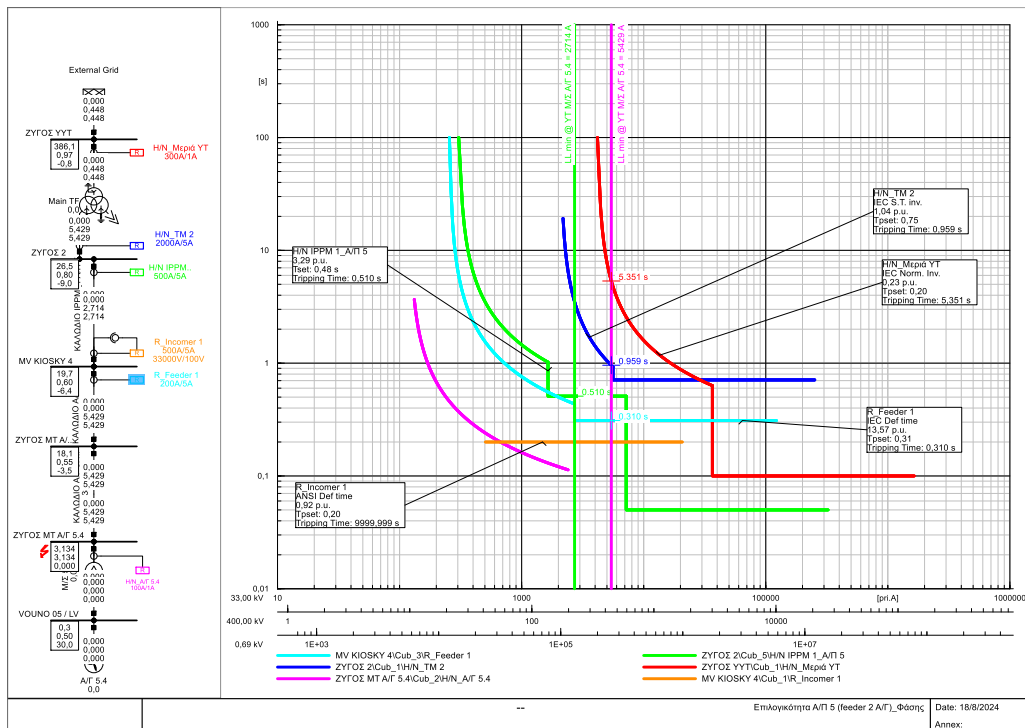
Εικόνα 5-122: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N Φ/B 3 feeder 3 για LL min YT Φ/B 3.13-3.14.

Η παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT των Φ/B 3.13-3.14 του feeder 3, όπως ακριβώς και στα στοιχεία φάσης αυτών που δείξαμε παραπάνω έτσι κι εδώ μας κάνει σαφές πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms. Ο H/N στην YT δεν ανιχνεύει αυτό το σφάλμα γης (Εικόνα 5-122).

5.4.9 ΕΠΙΛΟΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 5

Για την εξέταση της επιλογικότητας των H/N του αιολικού πάρκου 5, εκτελέσαμε διαφασικά ελάχιστα και διαφασικά ελάχιστα με γη αντίστοιχα για τα στοιχεία φάσης και γης, στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ του feeder με της 2 A/Γ και αντίστοιχα το ίδιο για τον feeder με τις 3 A/Γ. Κατωτέρω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις χαρακτηριστικές καμπύλες και γίνεται μια περαιτέρω ανάλυση αυτών.

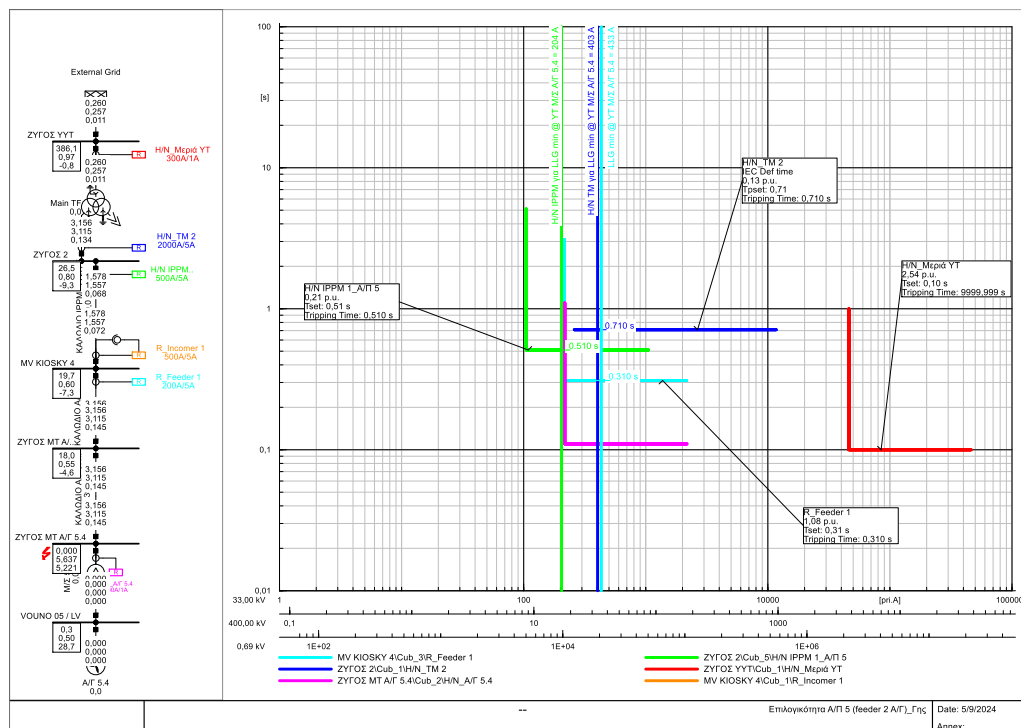
- Στοιχεία Φάσης H/N A/Π 5 feeder 2 A/Γ:



Εικόνα 5-123: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 5 feeder 2 A/Γ για LL min YT A/Γ 5.4.

Από την παραπάνω εικόνα (**Εικόνα 5-123**) συνάγεται ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 5.4, ο πρώτος H/N που θα τεθεί σε άμεση, 113 ms, λειτουργία είναι ο τότε πρώτος κατά σειρά ο οποίος θα λειτουργήσει είναι ο H/N_A/Γ 5.4. Αν για οποιαδήποτε αιτία αδυνατεί ο ανωτέρω H/N να λειτουργήσει, θα τεθεί σε λειτουργία για τη διακοπή του βραχυκυκλώματος ο επόμενος, ο H/N του feeder των 2 A/Γ. Σε περίπτωση που κι εδώ παρουσιαστεί αστοχία, θα «αναλάβουν δράση» κατά σειρά οι H/N των IPPM οι οποίοι θα δουν ίδιο ρεύμα ικανό για να στείλουν σήμα ανοίγματος του ΔΙ σε 510 ms ταυτόχρονα. Οι H/N των incomer είναι κατευθυντικοί σε αυτό το πάρκο επομένως δεν θα λειτουργήσουν γι' αυτό το σφάλμα. Τέλος, το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM 2 στο στάδιο αντιστροφού χρόνου και θα κόψει, στην περίπτωση που χρειαστεί, σε χρόνο 0,959 s μετά την εμφάνιση του σφάλματος. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα σφάλματος για να ενεργοποιηθεί και σε χρόνο 5,351 s από την εμφάνιση του.

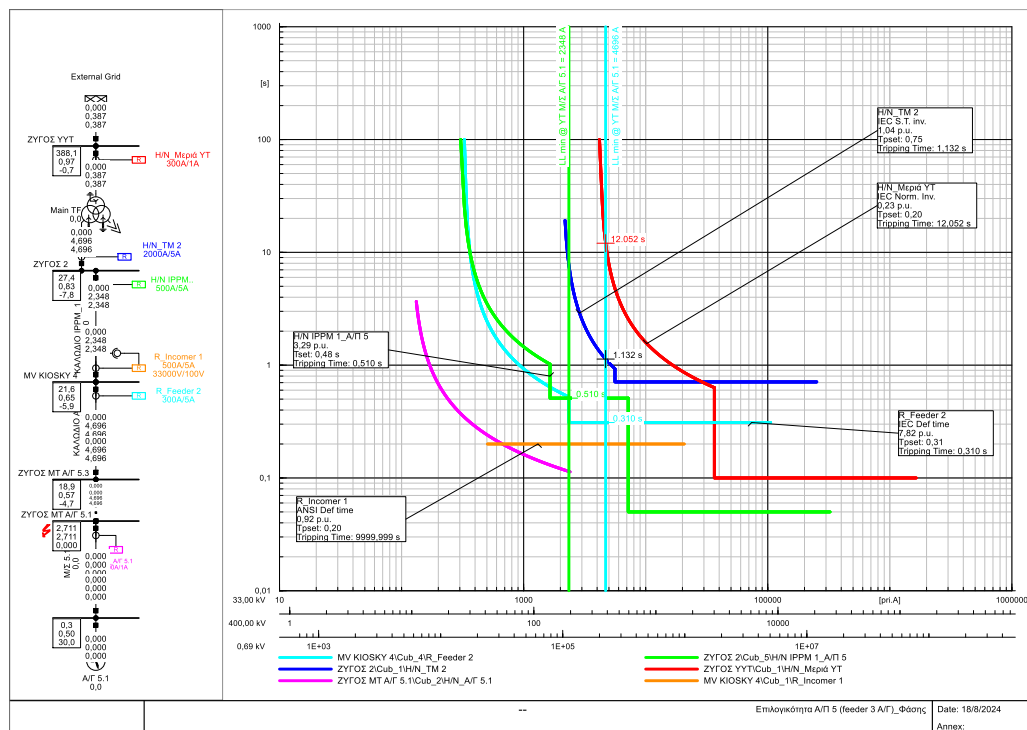
- Στοιχεία Γης H/N A/Π 4 feeder 4 A/Γ:



Εικόνα 5-124: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 5 feeder 2 A/Γ για LLG min YT A/Γ 5.4.

Η παραπάνω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διαφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 5.4 του feeder των 2 A/Γ, μας καθιστά σαφές, όπως ακριβώς και στα στοιχεία φάσης αυτών που δείξαμε παραπάνω, ότι η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms, ο H/N στην πλευρά YT του δικτύου δεν ανιχνεύει σφάλμα γης (**Εικόνα 5-124**).

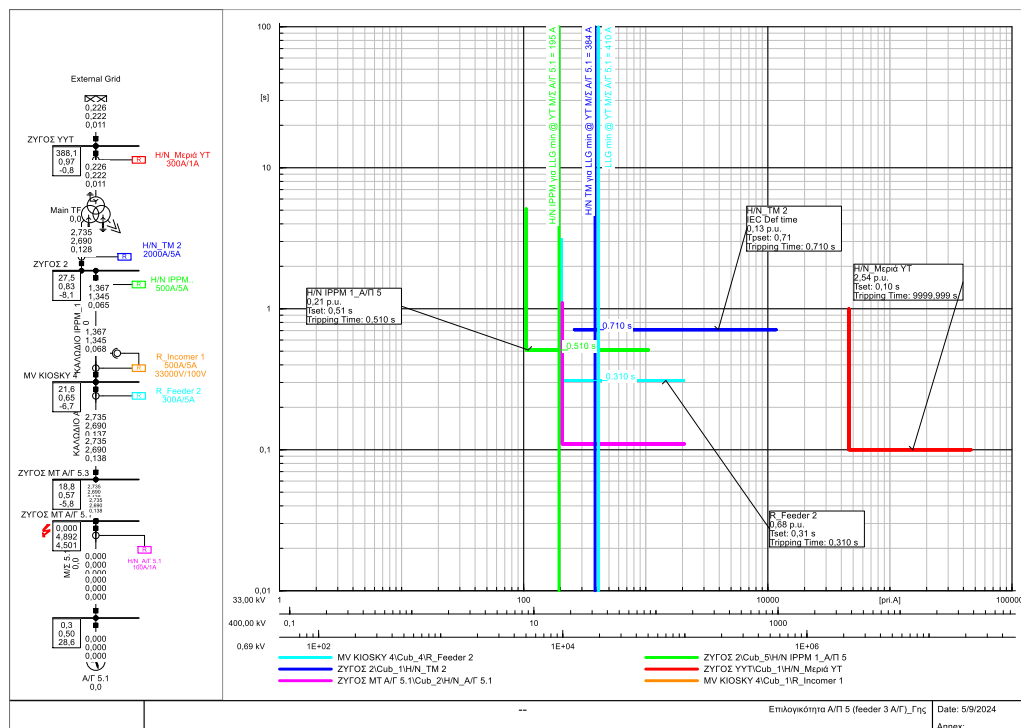
- Στοιχεία Φάσης H/N A/Π 5 feeder 3 A/Γ:



Εικόνα 5-125: Επιλογικότητα στοιχείων φάσης H/N A/Π 5 feeder 3 A/Γ για LL min YT A/Γ 5.1.

Μελετώντας την παραπάνω εικόνα (**Εικόνα 5-125**) εξάγουμε το συμπέρασμα ότι για ελάχιστο διαφασικό σφάλμα στον ζυγό YT της πιο απομακρυσμένης A/Γ 5.1 ο H/N που πρώτος θα αναλάβει δράση, και σε χρόνο 113 ms, για τη διακοπή του βραχυκυκλώματος είναι ο H/N_A/Γ 5.1. Ακολουθεί σε περίπτωση μη λειτουργίας του ο H/N του feeder των 3 A/Γ. Έπονται κατά σειρά οι H/N των IPPM οι οποίοι θα δουν ίδιο ρεύμα ικανό για να ενεργοποιηθούν σε 510 ms ταυτόχρονα. Οι H/N των incomer είναι κατευθυντικοί σε αυτό το πάρκο, επομένως δεν θα λειτουργήσουν γι' αυτό το σφάλμα. Τέλος, το ρεύμα αυτό θα το ανιχνεύει και η TM 2 στο στάδιο αντιστροφού χρόνου και αν χρειαστεί, θα κόψει σε χρόνο 1,132 s από την εμφάνιση του σφάλματος. Ο H/N στην πλευρά της YT του δικτύου θα ανιχνεύει ικανό ρεύμα σφάλματος για να ενεργοποιηθεί και σε χρόνο 12,052 s από την εμφάνιση του.

- Στοιχεία Γης H/N A/Π 5 feeder 3 A/Γ:



Εικόνα 5-126: Επιλογικότητα στοιχείων γης H/N A/Π 5 feeder 3 A/Γ για LLG min YT A/Γ 5.1.

Όπως έχουμε δείξει ως τώρα, έτσι και στην ανωτέρω εικόνα για τα στοιχεία γης και για διφασικό σφάλμα με γη στον πιο απομακρυσμένο ζυγό YT A/Γ 5.1 του feeder των 3 A/Γ, φαίνεται πως η επιλογικότητα μεταξύ όλων των H/N τηρείται με σταθερό CTI των 200 ms, ο H/N στην πλευρά YT του δικτύου δεν ανιχνεύει σφάλμα γης (**Εικόνα 5-126**).

Κεφάλαιο 6: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Πίνακας 6-1: Ελάχιστα τριφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	Ik" (kA)
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	6,961
ΖΥΓΟΣ 1	12,920
ΖΥΓΟΣ 2	12,930
MV KIOSKY 1	8,439
MV KIOSKY 2	6,727
MV KIOSKY 3	7,518
MV KIOSKY 4	7,619
MV KIOSKY 5	7,602
MV KIOSKY 6	7,711
MV KIOSKY 7	11,974
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	7,064
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	4,917
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	5,173
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	7,046
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	7,588
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	7,098
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	7,464
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	7,756
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	8,298
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	6,459
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	6,666
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	7,126
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	5,817
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	6,204
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	5,463
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	5,683
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	5,988

Πίνακας 6-1: Ελάχιστα τριφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	$I_{k''}$ (kA)
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	6,174
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	6,348
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	6,553
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	4,277
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	4,442
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	4,692
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	5,848
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	6,254
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	7,302
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	5,911
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	6,364
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	6,803
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	7,298
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	5,423
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	5,752
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	6,274
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	6,269
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	6,901
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	7,590
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	7,333
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	7,699
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	7,437
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	11,196
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	10,796
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	9,837
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	10,379
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	11,292
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	11,676
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	11,500

Πίνακας 6-2: Ελάχιστα διφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	Ik" B (kA)	Ik" C (kA)
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	6,028	6,028
ΖΥΓΟΣ 1	11,189	11,189
ΖΥΓΟΣ 2	11,197	11,197
MV KIOSKY 1	7,309	7,309
MV KIOSKY 2	5,826	5,826
MV KIOSKY 3	6,511	6,511
MV KIOSKY 4	6,598	6,598
MV KIOSKY 5	6,584	6,584
MV KIOSKY 6	6,678	6,678
MV KIOSKY 7	10,37	10,37
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	6,118	6,118
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	4,258	4,258
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	4,480	4,480
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	6,102	6,102
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	6,572	6,572
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	6,147	6,147
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	6,464	6,464
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	6,717	6,717
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	7,186	7,186
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	5,594	5,594
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	5,773	5,773
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	6,171	6,171
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	5,038	5,038
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	5,373	5,373
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	4,731	4,731
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	4,921	4,921
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	5,186	5,186
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	5,347	5,347

Πίνακας 6-2: Ελάχιστα διφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	Ik" B (kA)	Ik" C (kA)
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	5,498	5,498
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	5,675	5,675
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	3,704	3,704
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	3,847	3,847
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	4,064	4,064
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	5,064	5,064
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	5,416	5,416
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	6,324	6,324
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	5,119	5,119
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	5,512	5,512
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	5,892	5,892
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	6,320	6,320
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	4,696	4,696
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	4,981	4,981
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	5,433	5,433
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	5,429	5,429
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	5,976	5,976
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	6,573	6,573
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	6,350	6,350
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	6,668	6,668
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	6,440	6,440
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	9,696	9,696
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	9,349	9,349
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	8,519	8,519
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	8,989	8,989
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	9,779	9,779
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	10,112	10,112
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	9,959	9,959

Πίνακας 6-3: Ελάχιστα διφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	I_0 , (kA)	$3 \cdot I_0$, (kA)
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	2,539	7,617
ΖΥΓΟΣ 1	0,238	0,714
ΖΥΓΟΣ 2	0,184	0,552
MV KIOSKY 1	0,193	0,579
MV KIOSKY 2	0,173	0,519
MV KIOSKY 3	0,183	0,549
MV KIOSKY 4	0,152	0,456
MV KIOSKY 5	0,196	0,588
MV KIOSKY 6	0,197	0,591
MV KIOSKY 7	0,184	0,552
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	0,165	0,495
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	0,145	0,435
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	0,148	0,444
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	0,173	0,519
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	0,179	0,537
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	0,190	0,570
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	0,190	0,570
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	0,191	0,573
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	0,191	0,573
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	0,191	0,573
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	α0,191	0,573
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	0,192	0,576
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	0,189	0,567
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	0,190	0,570
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	0,157	0,471
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	0,159	0,477
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	0,163	0,489
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	0,163	0,489
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	0,168	0,504

Πίνακας 6-3: Ελάχιστα διαφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	I_0 , (kA)	$3 \cdot I_0$, (kA)
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	0,170	0,510
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	0,124	0,372
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	0,127	0,381
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	0,127	0,381
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	0,179	0,537
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	0,180	0,540
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	0,182	0,546
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	0,179	0,537
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	0,180	0,540
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	0,181	0,543
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	0,182	0,546
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	0,138	0,414
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	0,140	0,420
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	0,143	0,429
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	0,145	0,435
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	0,148	0,444
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	0,196	0,588
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	0,194	0,582
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	0,197	0,591
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	0,195	0,585
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	0,178	0,534
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	0,175	0,525
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	0,167	0,501
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	0,171	0,513
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	0,178	0,534
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	0,182	0,546
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	0,180	0,540

Πίνακας 6-4: Ελάχιστα μονοφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	$I_{k''} A \text{ (kA)} = 3 \cdot I_0$
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	7,274
ΖΥΓΟΣ 1	1,541
ΖΥΓΟΣ 2	1,120
MV KIOSKY 1	1,224
MV KIOSKY 2	1,090
MV KIOSKY 3	1,101
MV KIOSKY 4	0,904
MV KIOSKY 5	1,212
MV KIOSKY 6	1,220
MV KIOSKY 7	1,116
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	0,998
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	0,851
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	0,878
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	1,053
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	1,098
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	1,185
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	1,193
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	1,199
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	1,210
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	1,188
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	1,193
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	1,204
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	1,170
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	1,181
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	0,965
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	0,988
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	1,019
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	1,023
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	1,053

Πίνακας 6-4: Ελάχιστα μονοφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	$I_{k''} A \text{ (kA)} = 3 \cdot I_0$
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	1,073
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	0,750
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	0,766
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	0,772
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	1,057
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	1,069
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	1,097
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	1,061
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	1,074
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	1,087
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	1,097
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	0,805
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	0,822
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	0,847
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	0,850
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	0,876
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	1,211
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	1,194
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	1,219
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	1,202
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	1,072
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	1,049
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	0,997
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	1,025
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	1,074
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	1,097
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	1,090

Β. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Πίνακας 6-5: Μέγιστα τριφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	Ik" (kA)
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	14,79
ΖΥΓΟΣ 1	22,061
ΖΥΓΟΣ 2	20,809
MV KIOSKY 1	14,149
MV KIOSKY 2	11,489
MV KIOSKY 3	12,629
MV KIOSKY 4	12,776
MV KIOSKY 5	12,295
MV KIOSKY 6	12,467
MV KIOSKY 7	18,813
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	11,663
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	9,024
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	9,451
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	12,324
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	13,103
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	11,543
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	12,267
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	12,836
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	13,874
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	10,718
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	11,12
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	11,99
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	9,525
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	10,262
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	9,091
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	9,523
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	10,103
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	10,448

Πίνακας 6-5: Μέγιστα τριφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	I _k " (kA)
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	10,726
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	11,144
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	7,209
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	7,51
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	7,956
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	9,575
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	10,342
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	12,259
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	9,798
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	10,662
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	11,455
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	12,28
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	9,023
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	9,607
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	10,468
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	10,447
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	11,583
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	12,276
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	11,935
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	12,448
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	12,099
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	17,398
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	16,751
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	15,368
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	16,167
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	17,601
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	18,262
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	17,913

Πίνακας 6-6: Μέγιστα διφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	Ik" B (kA)	Ik" C (kA)
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	12,518	12,518
ΖΥΓΟΣ 1	16,026	16,026
ΖΥΓΟΣ 2	15,719	15,719
MV KIOSKY 1	10,257	10,257
MV KIOSKY 2	8,211	8,211
MV KIOSKY 3	9,141	9,141
MV KIOSKY 4	9,588	9,588
MV KIOSKY 5	9,662	9,662
MV KIOSKY 6	9,783	9,783
MV KIOSKY 7	14,386	14,386
MV KIOSKY 7(1)	9,244	9,244
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	6,99	6,99
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	7,293	7,293
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	9,332	9,332
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	9,882	9,882
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	8,572	8,572
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	9,035	9,035
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	9,401	9,401
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	10,075	10,075
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	7,939	7,939
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	8,197	8,197
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	8,761	8,761
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	7,149	7,149
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	7,631	7,631
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	6,653	6,653
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	6,924	6,924
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	7,293	7,293
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	7,518	7,518
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	7,74	7,74

Πίνακας 6-6: Μέγιστα διφασικά βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	Ik" B (kA)	Ik" C (kA)
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	7,996	7,996
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	5,345	5,345
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	5,542	5,542
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	5,841	5,841
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	7,119	7,119
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	7,62	7,62
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	8,888	8,888
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	7,241	7,241
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	7,8	7,8
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	8,325	8,325
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	8,892	8,892
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	6,876	6,876
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	7,281	7,281
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	7,891	7,891
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	7,982	7,982
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	8,759	8,759
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	9,648	9,648
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	9,411	9,411
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	9,77	9,77
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	9,528	9,528
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	13,431	13,431
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	12,992	12,992
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	12,038	12,038
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	12,598	12,598
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	13,574	13,574
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	14,018	14,018
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	13,779	13,779
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	12,518	12,518

Πίνακας 6-7: Μέγιστα διαφασικά με γη βραχυκυκλώματα σε όλους του ζυγούς.

Όνομα	I_0 (kA)	$3 \cdot I_0$ (kA)
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	3,771	11,313
MV KIOSKY 1	0,307	0,921
MV KIOSKY 2	0,236	0,708
MV KIOSKY 3	0,261	0,783
MV KIOSKY 4	0,24	0,72
MV KIOSKY 5	0,241	0,723
MV KIOSKY 6	0,214	0,642
MV KIOSKY 7	0,266	0,798
ΖΥΓΟΣ 1	0,267	0,801
ΖΥΓΟΣ 2	0,235	0,705
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	0,237	0,711
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	0,223	0,669
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	0,227	0,681
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	0,252	0,756
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	0,258	0,774
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	0,253	0,759
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	0,255	0,765
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	0,256	0,768
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	0,259	0,777
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	0,255	0,765
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	0,257	0,771
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	0,259	0,777
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	0,252	0,756
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	0,254	0,762
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	0,217	0,651
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	0,222	0,666
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	0,227	0,681
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	0,228	0,684
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	0,233	0,699

Πίνακας 6-7: Μέγιστα διαφασικά με γη βραχυκυκλώματα σε όλους του ζυγούς.

Όνομα	I_0 (kA)	$3 \cdot I_0$ (kA)
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	0,237	0,711
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	0,193	0,579
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	0,197	0,591
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	0,198	0,594
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	0,233	0,699
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	0,236	0,708
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	0,241	0,723
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	0,235	0,705
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	0,238	0,714
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	0,24	0,72
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	0,241	0,723
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	0,194	0,582
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	0,197	0,591
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	0,202	0,606
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	0,202	0,606
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	0,208	0,624
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	0,266	0,798
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	0,264	0,792
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	0,267	0,801
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	0,265	0,795
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	0,229	0,687
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	0,226	0,678
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	0,219	0,657
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	0,223	0,669
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	0,229	0,687
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	0,232	0,696
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	0,231	0,693

Πίνακας 6-8: Μέγιστα μονοφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	$I_{k''} A \text{ (kA)} = 3 \cdot I_0$
ΖΥΓΟΣ ΥΥΤ	12,547
ΖΥΓΟΣ 1	1,636
ΖΥΓΟΣ 2	1,284
MV KIOSKY 1	1,385
MV KIOSKY 2	1,260
MV KIOSKY 3	1,265
MV KIOSKY 4	1,145
MV KIOSKY 5	1,499
MV KIOSKY 6	1,502
MV KIOSKY 7	1,288
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1	1,327
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.1	1,212
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.2	1,234
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.3	1,364
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 1.4	1,394
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.1	1,355
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.2	1,361
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.3	1,365
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.4	1,373
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.5	1,368
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.6	1,372
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.7	1,380
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.8	1,354
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 2.9	1,363
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.1	1,146
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.2	1,167
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.3	1,196
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.4	1,199
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.5	1,227

Πίνακας 6-8: Μέγιστα μονοφασικά βραχυκυκλώματα με γη σε όλους τους ζυγούς.

Όνομα	$I_{k''} A \text{ (kA)} = 3 \cdot I_0$
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.6	1,245
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.7	1,023
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.8	1,044
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 3.9	1,050
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.1	1,229
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.2	1,240
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.3	1,263
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.4	1,236
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.5	1,248
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.6	1,258
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 4.7	1,263
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.1	1,035
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.2	1,054
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.3	1,081
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.4	1,085
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Α/Γ 5.5	1,114
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.1_1.2	1,498
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 1.3_1.4	1,488
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.1_2.2	1,502
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 2.3_2.4	1,491
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.11_3.12	1,264
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.13_3.14	1,251
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.1_3.2	1,217
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.3_3.4	1,235
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.5_3.6	1,264
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.7_3.8	1,278
ΖΥΓΟΣ ΜΤ Φ/Β 3.9_3.10	1,274

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Κ. ΠΑΠΑΔΙΑΣ, *ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΟΣ Ι ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ*. ΑΘΗΝΑ, 1985.
- [2] ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Κ. ΠΑΠΑΔΙΑΣ, *ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΜΟΣ ΙΙ ΑΣΣΥΜΕΤΡΕΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ*. ΑΘΗΝΑ, 1985.
- [3] ALSTOM, *Network Protection & Automation Guide Protective Relay, Measurement & Control*., 2011.
- [4] Charles Henville, Rasheek Rifaat, Brian Johnson, Sakis Meliopoulos Paul M. Anderson, *Power System Protection* , 2nd ed.: Wiley, 2021.
- [5] Μ.Π Παπαδόπουλος, *ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*. ΑΘΗΝΑ, 1997.
- [6] Mark Brown, Ben Ramesh Les Hewitson, *Practical Power Systems Protection*, 1st ed. Newnes: Elsevier, 2004.
- [7] Arun G. Phadke Stanley H. Horowitz, *POWER SYSTEM RELAYING*, 4th ed. United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd, 2014.
- [8] Walter A. Elmore, *Protective Relaying Theory and Applications*, 2nd ed. United States of America: Marcel Dekker, Inc.
- [9] Γεώργιος Κορρές, "Θεωρία Προστασίας Υπερέντασης," 2019.
- [10] Νικόλαος Α. Βοβός, *Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη, 2023.
- [11] Siemens, *Power Engineering Guide*, 8th ed., 2012.
- [12] CIGRE, *Substations*, 1st ed., John Finn Terry Krieg, Ed. Paris, France: Springer, 2019.
- [13] JOHN D. McDONALD, *ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING*, 3rd ed. United States of America: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012.
- [14] Thomas J. Domin J. Lewis Blackburn, *Protective Relaying Principles and Applications*, 3rd ed., Muhammad H. Rashid H. Lee Willis, Ed. United States of America: Taylor & Francis Group, LLC, 2006.

- [15] ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Ε., *ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤD-16/4: ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 150KV*. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ, 2012.
- [16] ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε., *ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ SS-131 / 6: ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΦΑΣΕΩΝ & ΓΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ & ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΓΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ & ΠΥΛΩΝ Μ/Σ 150 kV*. Αθήνα, Ελλάδα, 2008.
- [17] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT AIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΓΜ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [18] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT GIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΓΜ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [19] ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε., *ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤD-51/4: ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΤΗΣ ΤΜ*. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ, 2008.
- [20] ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε., *ΤD-41/4: ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤD-40/4: ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΦΑΣΕΩΣ & ΓΗΣ*. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ, 2008.
- [21] ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε., *ΤD-40/4: ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤD-40/4: ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΠΥΚΝΩΤΩΝ ΑΠΟ ΑΣΣΥΜΕΤΡΙΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ*. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ, 2008.
- [22] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT AIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ Μ/Σ 150 kV/MT, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [23] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT GIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ Μ/Σ 150 kV/MT, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [24] ΑΔΜΗΕ, *Τεχνική περιγραφή Έργων επέκτασης του ΕΣΜΗΕ για την σύνδεση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας*. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ: ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2015.

- [25] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT AIS ΠΥΛΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΖΥΓΩΝ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [26] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT GIS ΠΥΛΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΖΥΓΩΝ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [27] ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε., *ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ SS-131 / 6 ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΦΑΣΕΩΝ & ΓΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ & ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΓΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ & ΠΥΛΩΝ Μ/Σ 150 kV*. ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ, 2008.
- [28] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT AIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΗΝΙΟΥ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [29] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT GIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΗΝΙΟΥ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [30] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT AIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΑΚΗΣ ΓΜ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [31] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT GIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΑΚΗΣ ΓΜ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [32] ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε., *ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ TD-38/4: ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ Ε ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΠΥΚΝΩΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ 155KV*. Αθήνα, Ελλάδα, 2006.
- [33] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT AIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΥΚΝΩΤΗ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.
- [34] ΑΔΜΗΕ-ΔΝΕΜ Τομέας Μελετών Υ/Σ, "ΕΡΓΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΕΣΜΗΕ Υ/Σ 150 kV/MT GIS ΠΥΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΥΚΝΩΤΗ 150 kV, ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ," 2014.

- [35] DIgSILENT, *Power Factory Technical References*. Gomaringen, Germany: DIgSILENT, 2021.
- [36] R.Datta and V.T. Ranganathan, "Variable wind power generation using doubly fed wound rotor machine - a comparison with alternative schemes," *IEEE Trans. Energy Conversion*, pp. 414-421, July 2002.
- [37] Ron Harley, EMC (Co-Chair) ,Dean Miller, PSRC (Co-Chair) ,Gene Henneberg, PSRC (Vice Chair) Joint Working Group: Reigh Walling T&D (Co-Chair), "Fault Current Contribution from Wind Plants," *Power System Relaying Comittee of the IEEE Power and Energy Society*, 2015.
- [38] Stavros A. Papathanassiou Thekla N. Boutsika, "Short-circuit calculations in networks with distributed generation," pp. 1181-1191, December 2007.
- [39] Edward J. Holmes Juan M. Gers, *Protection of Electricity Distribution Networks*, 3rd ed. United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2011.
- [40] Elmer Sorrentino Virgilio De Andrade, "Typical expected values of the fault resistance," *IEEE*, pp. 602-609, November 2010.
- [41] Velimir Lackovic. Overcurrent Protection Fundamentals. [Online]. <https://www.cedengineering.com/userfiles/Overcurrent%20Protection%20Fundamentals-R1.pdf>