



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Μελέτη Βιομηχανικής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης με Υποσταθμό  
MT/XT με Βάση το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 – Ανάλυση Σφαλμάτων για  
δίκτυο XT TN-C-S και Ηλεκτρική Προστασία Έναντι Αναμενόμενων  
Τάσεων Επαφής**

**Διπλωματική Εργασία**

**Βαλκανιώτης Δημήτριος**

**Επιβλέπων: Περαντζάκης Γεώργιος**

**Βόλος 2020**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

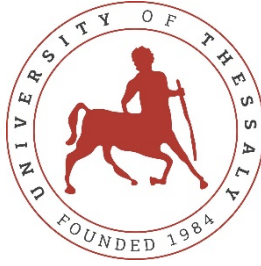
**Μελέτη Βιομηχανικής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης με Υποσταθμό  
MT/XT με Βάση το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 – Ανάλυση Σφαλμάτων για  
δίκτυο XT TN-C-S και Ηλεκτρική Προστασία Έναντι Αναμενόμενων  
Τάσεων Επαφής**

*Διπλωματική Εργασία*

**Βαλκανιώτης Δημήτριος**

**Επιβλέπων: Περαντζάκης Γεώργιος**

**Βόλος 2020**



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**Study of Industrial Electrical Installation with MV/LV Substation  
According to Standard ELOT HD 384 – Fault Analysis of LV Network  
TN-C-S and Electrical Protection Against Prospective Touch Voltages**

Diploma Thesis

**Valkaniotis Dimitrios**

**Supervisor: Perantzakis Goergi**

Volos 2020

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα πρώτα απ' όλα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή Γεώργιο Περαντζάκη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, τις συμβουλές, τις παρατηρήσεις του και την αμέριστη στήριξη και συνδρομή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την οικογένεια μου για την συμπαράσταση και την πλήρη στήριξη τους.

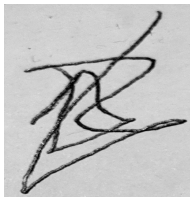
Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω την διπλωματική αυτή εργασία στον πατέρα μου.



## ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο Δηλών



Βαλκανιώτης Δημήτριος  
7/7/2020

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η ηλεκτρολογική μελέτη εγκατάστασης μιας βιομηχανικής μονάδας παραγωγής πυρηνέλαιου με ιδιωτικό υποσταθμό MT/XT βάση του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384. Αρχικά γίνεται συλλογή όλων των ονομαστικών τιμών των μηχανημάτων που εγκαθίστανται στη βιομηχανία. Έπειτα γίνεται κατανομή του φορτίου στους επιμέρους υποπίνακες και διαστασιολόγηση των γραμμών τροφοδοσίας τερματικών κυκλωμάτων και διανομής βάση του προτύπου. Εκλέγονται τα κατάλληλα μέσα προστασίας για την ασφάλεια των μηχανημάτων αλλά και ολόκληρης της εγκατάστασης και παρουσιάζονται τα μονογραμμικά διαγράμματα των πινάκων. Στη συνέχεια γίνεται σχεδιασμός του συστήματος γειώσεων TN-C-S της εγκατάστασης και προσδιορίζονται τα κύρια σφάλματα που μπορεί να συμβούν στο δίκτυο XT, τα οποία αντιμετωπίζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου. Τέλος γίνεται μελέτη και σχεδίαση του ιδιωτικού υποσταθμού MT/XT, η οποία περιλαμβάνει την εκλογή τύπου παροχής και μετασχηματιστή, τη διαστασιολόγηση γραμμών MT και μέσων προστασίας και ζεύξης καθώς και τη διάταξη των κυψελών και του χώρου όπου στεγάζεται.

## **ABSTRACT**

The present dissertation presents the electrical study of the installation of an industrial unit for the production of oil with a private ML/LV substation according to Standard ELOT HD 384. Initially, all the nominal values of the machines installed in the industry are collected. The load is distributed to the individual sub-panels and the route of feeders and terminal circuits is decided. The calculation of the cross sections of power lines is accomplished according to Standard ELOT HD 384. The appropriate protection devices for ensuring safety operation of machines and power lines against overload- and short circuit conditions are selected. The single-line electric diagrams of the main panel as well as of the sub-panels are presented. The electrical installation is designed as a TN-C-S system, namely as a TN-C system from substation transformer up to the incoming points in main panel and sub-panels and as a TN-S system for terminal circuits. The main faults concerning with the TN-C-S system are described and analyzed taking into account the appearance of prospective touch voltages as well as the disconnecting time of automatic protective devices. Finally, a study and design of the private MV / LV substation is carried out, which includes the selection of supply type and transformer, the dimensioning of MV lines and means of protection and coupling as well as the layout of the MV panel and the space where it is housed.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	4
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	4
2.1 Ονομαστικές τιμές λειτουργίας των σταθερών φορτίων.....	4
2.2 Θέση των μηχανημάτων στο χώρο.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	11
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΥΠΟΠΙΝΑΚΕΣ.....	11
3.1 Κατανομή των σταθερών φορτίων στους επιμέρους υποπίνακες.....	11
3.2 Μέγιστη ταυτόχρονη ισχύς ζήτησης υποπινάκων.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	18
ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	19
4.1 Υπολογισμός διατομής καλωδίων.....	19
4.1.1 Υπολογισμός διατομής με βάση τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμική φόρτιση αγωγών και καλωδίων χαμηλής τάσης κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.5.523 (Διατομή ασφαλούς λειτουργίας).....	19
4.1.2 Προσδιορισμός διατομής με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης (Διατομή καλής λειτουργίας).....	20
4.2 Εγκατάσταση καλωδίων.....	22
4.3 Μέσα ηλεκτρικής προστασίας γραμμών και κινητήρων και ζεύξης/απόζευξης φορτίων.....	24
4.3.1 Προστασία γραμμών έναντι βραχυκυκλώματος – ζεύξη/απόζευξη κυκλώματος.....	24

4.3.2 Προστασία κινητήρων έναντι υπερθέρμανσης από υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα...	27
<b>4.4 Εκκίνηση κινητήρων.....</b>	<b>28</b>
4.4.1 Προσδιορισμός τρόπου εκκίνησης κινητήρα.....	28
4.4.2 Βραχυχρόνια φόρτιση αγωγών κατά την εκκίνηση κινητήρα.....	29
<b>4.5 Διαστασιολόγηση γραμμών και μέσων προστασίας.....</b>	<b>30</b>
4.5.1 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.1.....	33
4.5.2 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.2.....	40
4.5.3 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.3.....	47
4.5.4 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.4.....	53
4.5.5 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.5.....	57
4.5.6 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.6.....	63
4.5.7 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.7.....	69
4.5.8 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.8.....	77
4.5.9 Υποπίνακας ωμικών φορτίων ΥΠ.Ω.1.....	82
4.5.10 Υποπίνακας ωμικών φορτίων ΥΠ.Ω.2.....	85
4.5.11 Υποπίνακας ωμικών φορτίων ΥΠ.Ω.3.....	89
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>93</b>
<b>ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΠΟΠΙΝΑΚΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ-ΡΕΥΜΑΤΟΔΟΤΩΝ.....</b>	<b>93</b>
5.1 Θέση υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών.....	93
5.2 Ισχύς υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών.....	95
5.3 Διαστασιολόγηση γραμμών τροφοδοσίας και μέσων προστασίας υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών.....	96
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>101</b>
<b>ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....</b>	<b>101</b>
6.1 Διαστασιολόγηση γραμμής – μέσα προστασίας.....	101
6.2 Έλεγχος σε συνθήκη βραχυκυκλώματος.....	102
6.3 Επιλεκτική συνεργασία των μέσων προστασίας.....	103
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>	<b>105</b>

<b>ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΕΙΩΣΕΩΝ TN-C-S ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.....</b>	<b>105</b>
7.1 Είδη γειώσεων.....	105
7.2 Εγκατάσταση γειώσεων στα κτήρια της βιομηχανίας.....	106
7.3 Ισοδυναμικές συνδέσεις.....	109
7.4 Εγκατάσταση γειώσεων στο κτήριο του υποσταθμού.....	109
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....</b>	<b>112</b>
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ</b>	
<b>ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ TN-C-S.....</b>	<b>112</b>
8.1 Κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.....	112
8.2 Υπολογισμός τάσεων επαφής.....	112
8.2.1 Σφάλμα φάσης-αγωγού προστασίας.....	113
8.2.2 Σφάλμα φάσης-γης.....	114
8.2.3 Σφάλμα διακοπής του ουδετέρου.....	115
8.2.4 Σφάλμα υποσταθμού με κοινή γείωση MT-XT.....	116
8.3 Έλεγχος έναντι ηλεκτροπληξίας για τα μηχανήματα που τροφοδοτούνται από τα δυσμενέστερα τερματικά κυκλώματα.....	117
8.4 Έλεγχος χρόνου διακοπής σφαλμάτων από τα αυτόματα μέσα προστασίας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ HD 384.....	130
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....</b>	<b>132</b>
<b>ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΩΤΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ MT/XT.....</b>	<b>132</b>
9.1 Επιλογή τύπου παροχής και μετασχηματιστή ισχύος.....	132
9.1.1 Επιλογή τύπου παροχής MT.....	132
9.1.2 Εκλογή κατάλληλου μετασχηματιστή ισχύος.....	132
9.1.3 Εγκατάσταση και ψύξη μετασχηματιστή.....	134
9.2 Διαστασιολόγηση καλωδίων MT.....	136
9.3 Προστασία MT.....	137
9.3.1 Μέσα προστασίας γραμμών MT της ΔΕΗ.....	137
9.3.2 Προστασία μετασχηματιστή έναντι βραχυκυκλωμάτων.....	138

9.3.3 Προστασία μετασχηματιστή έναντι υπερφορτίσεων.....	141
9.4 Διατάξεις κυψελών ΜΤ.....	141
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.....</b>	<b>144</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>144</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>146</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>147</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>147</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο «ηλεκτρική εγκατάσταση», εννοείται ένα σύνολο ηλεκτρολογικών υλικών, τα οποία έχουν κατάλληλα χαρακτηριστικά και συνδέονται με κατάλληλο τρόπο μεταξύ τους, ώστε να μπορούν να επιτελούν ένα συγκεκριμένο σκοπό.

Κατά την μελέτη μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης πρέπει να πληρούνται οι εξής απαιτήσεις:

- ασφάλεια των ανθρώπων
- ασφάλεια των μηχανημάτων
- ομαλή λειτουργία όλων των συσκευών
- διαστασιολόγηση της εγκατάστασης ώστε να εξασφαλίζεται ανοχή σε πιθανά σφάλματα
- οικονομική λειτουργία
- εκμηδενισμός κινδύνου καταστροφής ιδιωτικής περιουσίας (πυρκαγιά, έκρηξη)

Οι εγκαταστάσεις σχεδιάζονται ανάλογα με την περιοχή που βρίσκονται και τις ανάγκες του ιδιοκτήτη.

Ως βιομηχανικές εγκαταστάσεις χαρακτηρίζονται εκείνες που το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου τους προέρχεται από μηχανήματα που περιλαμβάνουν κινητήρες. Τα κυκλώματα μιας βιομηχανικής εγκατάστασης διακρίνονται συνήθως στις εξής κατηγορίες:

- i. κίνησης
- ii. υψικαμίνων ή συγκολλήσεων
- iii. συσκευών με υψηλά ρεύματα εκκίνησης
- iv. φωτισμού
- v. ρευματοδοτών
- vi. λοιπών λειτουργιών

Τα φορτία της ηλεκτρικής εγκατάστασης του Πυρηνελαιουργείου που αναλύεται στις επόμενες ενότητες ομαδοποιούνται σε κυκλώματα κίνησης, ωμικών φορτίων, ρευματοδοτών και φορτίων φωτισμού. Η τροφοδοσία των μηχανημάτων γίνεται με την πολική τάση της ΔΕΗ (400V), ενώ το υπόλοιπο μέρος της εγκατάστασης που περιλαμβάνει το φωτισμό και τους ρευματοδότες τροφοδοτείται με τη φασική τάση της ΔΕΗ (230V).

Η μελέτη της εγκατάστασης πρέπει να περιλαμβάνει αρκετές πληροφορίες ώστε αφενός ο κατασκευαστής να μπορέσει να υλοποιήσει με ακρίβεια το έργο που του έχει ανατεθεί και αφετέρου ο καταναλωτής να μπορεί να δει τι έχει προβλεφθεί για την εγκατάστασή του. Έτσι η μελέτη πρέπει να περιλαμβάνει τους ακριβείς υπολογισμούς για τη διαστασιολόγηση των



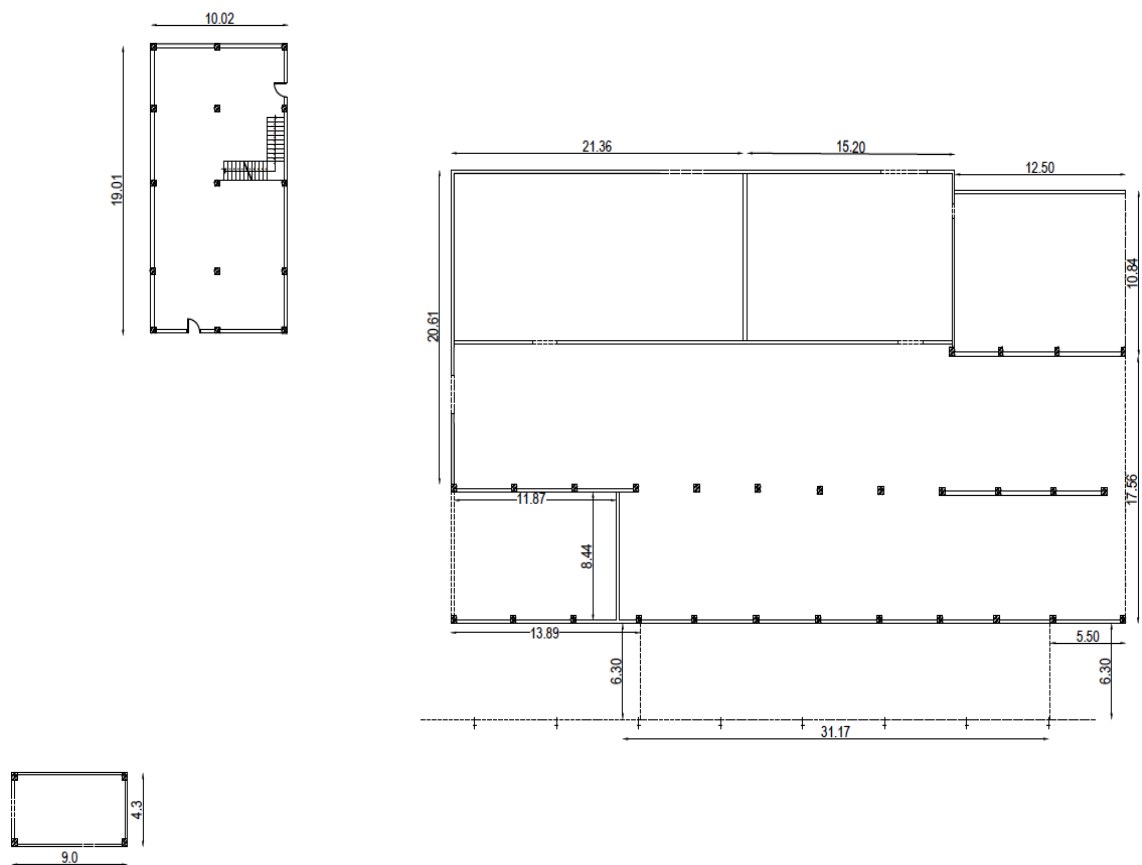
ηλεκτρολογικών υλικών και συσκευών καθώς και σχέδια των κυκλωμάτων της εγκατάστασης και οριοθέτησης τους στο χώρο.

Τα ηλεκτρολογικά υλικά, οι συσκευές και ο τρόπος εγκατάστασης τους προσδιορίζονται από πρότυπα. Από το Φεβρουάριο του 2014 ισχύει για τις εγκαταστάσεις υποχρεωτικά στην ελληνική επικράτεια το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 “Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις”. Πρόκειται για κείμενο κοινής αποδοχής εγκεκριμένο από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) που εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις κτηρίων, για ονομαστικές τιμές εναλλασσόμενης τάσης (ενεργός τιμή) μικρότερη των 1000V (χαμηλή τάση) ή συνεχούς τάσης μικρότερης των 1400V. Για εγκαταστάσεις μέσης τάσης και υψηλής τάσης ( $>1\text{kV}$ ), υπάρχει το ευρωπαϊκό πρότυπο IEC 61936 το οποίο είναι ισοδύναμο σε πολλά σημεία με το γερμανικό πρότυπο VDE EN 101.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, περιλαμβάνει τους κανόνες που πρέπει να τηρούνται κατά τη μελέτη, την κατασκευή, την επιθεώρηση και τη συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Οι απαιτήσεις οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται, αποσκοπούν στην ασφαλή λειτουργία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και καθίσταται υποχρεωτική η εναρμόνιση της εγκατάστασης με αυτές, καθώς υπάρχει μεγάλος κίνδυνος σε περίπτωση σφάλματος ηλεκτροπληξίας των ανθρώπων και πυρκαγιάς ή έκρηξης λόγω υπερθέρμανσης αγωγών ή σπινθήρων ή ηλεκτρικού τόξου. Για τον λόγο αυτό το Υπουργείο Ανάπτυξης εκδίδει μετά από σχετική εισήγηση του ΕΛΟΤ, το κείμενο των προτύπων με το περίβλημα της θεσμοθέτησης

Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις που η προβλεπόμενη ισχύς τους υπερβαίνει τα 250kVA ενδείκνυται η εγκατάσταση ιδιωτικού υποσταθμού μέσης τάσης. Ο ιδιωτικός Υ/Σ εγκαθίσταται σε κατάλληλο χώρο στην ιδιοκτησία του καταναλωτή και συμβάλλει αφενός στην ομαλή λειτουργία του δικτύου της ΔΕΗ και αφετέρου στην οικονομική ελάφρυνση του καταναλωτή, καθώς η τιμή χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικά μικρότερη.

Στο Σχήμα 1.1 απεικονίζεται η κάτοψη των κτηρίων που απαρτίζουν τη βιομηχανία παρασκευής πυρηνέλαιου (πυρηνελαιουργείο).



Σχήμα 1.1 : Κάτοψη κτηρίων Πυρηνελαιουργείου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

#### 2.1 Ονομαστικές τιμές λειτουργίας των σταθερών φορτίων

Η βιομηχανία, για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της, χρειάζεται ένα σύνολο σταθερών μηχανημάτων. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα ονόματα των μηχανημάτων με τον αύξοντα αριθμό τους καθώς και τα ονομαστικά δεδομένα των μηχανών.

Από τη βιβλιογραφία[1] αντλήθηκαν οι παρακάτω τιμές (Πίνακας 2.1):

- Η μηχανική ισχύς που αποδίδουν
- Ο συντελεστής ισχύος
- Ο βαθμός απόδοσης ( $\eta$ )
- Το ρεύμα απευθείας εκκίνησης ως πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος λειτουργίας

Υπολογίστηκε η μηχανική ισχύς σε kW (1HP=745.699872WATT), η ηλεκτρική ισχύς και το ονομαστικό Ρεύμα λειτουργίας, σύμφωνα με τις σχέσεις 2.1, 2.2 αντίστοιχα (Πίνακας 2.1).

Η μηχανική ισχύς των κινητήρων, που δίνεται στις ονομαστικές τιμές λειτουργίας τους, είναι η ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας στο φορτίο. Με βάση το βαθμό απόδοσης του κάθε κινητήρα, η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά απ' το δίκτυο δίνεται από τη σχέση:

$$P_{in}=P_{out}/\eta \quad (2.2)$$

όπου:  $P_{out}$  = η ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας στο φορτίο και  $\eta$  = ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα

Το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας των μηχανημάτων δίνεται από τη σχέση:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} \quad (2.3)$$

όπου:  $P$  = η πραγματική ισχύς που απορροφά το φορτίο από το δίκτυο,  $V$  = η πολική τάση δικτύου που είναι συνδεδεμένος ο κινητήρας (400V) και  $\cos\varphi$  = ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα.

Πίνακας 2.1: Ονομαστικές τιμές λειτουργίας

Α/Α	Ονομασία Μηχανήματος	Μηχανικ ή Ισχύς		Σ.Ι.	η	Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Ονομαστικό Ρεύμα λειτουργίας (A)	Ρεύμα εκκίνησης ( $I_{ek}/I_N$ )	Ρεύμα απευθείας εκκίνησης (A)
		HP	kW						
1	Καυστήρας Εστίας Ξηράνσεως (R1)	20	15	1,0	1,0	15	21,6	-	-
2	Φούρνος Ξηραντηρίου (R2)	7,5	5,5	1,0	1,0	5,5	7,9	-	-
3	Ξηραντήριο (R3)	20	15	1,0	1,0	15	21,6	-	-
4	Μεταφορική Ταινία Πυρήνα (M4)	7,5	5,5	0,85	0,84	6,5	11	7,0	77
5	Κοχλίας Ξηραντηρίου (M5)	7,5	5,5	0,85	0,84	6,5	11	7,0	77
6	Απορροφητήρας (M6)	40	30	0,86	0,918	32,6	54,7	6,4	350
7	Θάλαμος Παραλαβής Ξηρού Πυρήνα	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Κυκλώνας (M8)	15	11	0,84	0,88	12,5	21,4	7,6	162,6
9	Κοχλίας Μεταφοράς Πυρήνα (M9)	10	7,5	0,85	0,86	8,7	14,7	7,7	113,2
10	Εξουδετήτες Ελαιοπυρήνα (M10)	20	15	0,85	0,89	16,8	28,5	7,7	219,4
11	Σφυρόμυλος και Διαλογέας Πυρηνόξυλου (M11)	50	37	0,86	0,923	40	67,1	6,7	449,5
12	Δεξαμενή Ελαιόλαδου	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Διαχωριστήρας Πυρηνόξυλου (M12)	75	55	0,87	0,935	58,8	97,5	6,7	653,2

Α/Α	Ονομασία Μηχανήματος	Μηχανικ ή Ισχύς		Σ.Ι.	η	Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Ονομαστικό Ρεύμα λειτουργίας (A)	Ρεύμα εκκίνησης ( $I_{ek}/I_N$ )	Ρεύμα απευθείας εκκίνησης (A)
		HP	kW						
14	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λιπαρών Οξέων (M13)	5,5	4	0,80	0,83	4,8	8,6	7,0	60,2
15	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λιπαρών Οξέων (M15)	5,5	4	0,80	0,83	4,8	8,6	7,0	60,2
16	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λιπαρών Οξέων (M16)	5,5	4	0,80	0,83	4,8	8,6	7,0	60,2
17	Καυστήρας Εστίας Ξηράνσεως (R17)	15	11	1,0	1,0	11	15,8	-	-
18	Φούρνος Ξηραντηρίου (R18)	5,5	4	1,0	1,0	4	5,7	-	-
19	Ξηραντήριο (R19)	25	18,5	1,0	1,0	18,5	26,7	-	-
20	Μεταφορική Ταινία Πυρήνα (M20)	7,5	5,5	0,85	0,84	6,5	11	7,0	77
21	Κοχλίας Ξηραντηρίου (M21)	7,5	5,5	0,85	0,84	6,5	11	7,0	77
22	Απορροφητήρας (M22)	50	37	0,86	0,923	40	67,1	6,7	449,5
23	Θάλαμος Παραλαβής Ξηρού Πυρήνα	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Κυκλώνας (M24)	15	11	0,84	0,88	12,5	21,4	7,6	162,6
25	Αντλίες Τροφοδοτήσεων Λεβητών (M25)	15	11	0,84	0,88	12,5	21,4	7,6	162,6

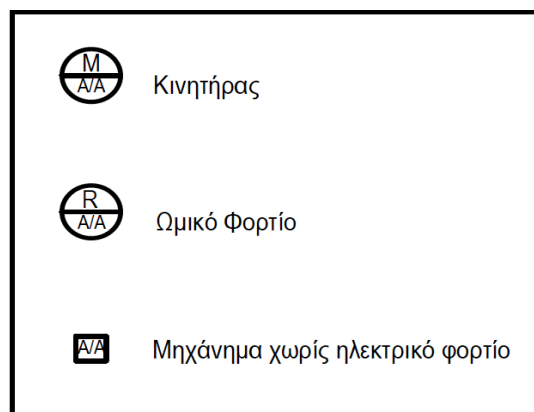
Α/Α	Ονομασία Μηχανήματος	Μηχανικ ή Ισχύς		Σ.Ι.	η	Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Ονομαστικό Ρεύμα λειτουργίας (A)	Ρεύμα εκκίνησης (I <sub>εκ</sub> /I <sub>N</sub> )	Ρεύμα απευθείας εκκίνησης (A)
		HP	kW						
26	Ατμολέβητας: 2.200kgr/h (M26)	10	10	7,5	0,85	0,86	14,7	7,7	113,2
27	Ατμολέβητας (Εφεδρικός): 1.700kgr/h (M27)	7,5	7,5	5,5	0,85	0,84	11	7,0	77
28	Καυστήρας Ξηραντηρίου (R28)	10	7,5	1,0	1,0	7,5	10,8	-	-
29	Τροφοδοτής (M29)	5,5	4	0,80	0,83	4,8	8,6	7,0	60,2
30	Ανεβατόρια (M30)	10	7,5	0,85	0,86	8,7	14,7	7,7	113,2
31	Μύλος Αλέσεως (M31)	30	22	0,85	0,912	24,1	40,9	6,4	261,7
32	Κοχλίας Μεταφοράς Πυρήνα (M32)	5,5	4	0,80	0,83	4,8	8,6	7,0	60,2
33	Ξηραντήριο (R33)	15	11	1,0	1,0	11	15,8	-	-
34	Θάλαμος Παραλαβής Ξηρού Πυρήνα	-	-	-	-	-	-	-	-
35	Απορροφητήρας (M35)	40	30	0,86	0,918	32,6	54,7	6,4	350
36	Κυκλώνας	-	-	-	-	-	-	-	-
37	Κοχλίας Μεταφοράς Ξηρού Πυρήνα (M37)	7,5	5,5	0,85	0,84	6,5	11	7,0	77
38	Ανεβατόριο Ξηρού Πυρήνα (M38)	5,5	4	0,80	0,83	4,8	8,6	7,0	60,2

Α/Α	Ονομασία Μηχανήματος	Μηχανικ ή Ισχύς		Σ.Ι.	η	Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Ονομαστικό Ρεύμα λειτουργίας (A)	Ρεύμα εκκίνησης (I <sub>εκ</sub> /I <sub>N</sub> )	Ρεύμα απευθείας εκκίνησης (A)
		HP	kW						
39	Εκχυλιστήρες	-	-	-	-	-	-	-	-
40	Αποστακτήρες	-	-	-	-	-	-	-	-
41	Διαχωριστήρας Βενζίνης	-	-	-	-	-	-	-	-
42	Συσκευή Ανακτίσεως	-	-	-	-	-	-	-	-
43	Κοχλίας Τροφοδοσίας Εκχυλίσεως (M43)	5,5	4	0,80	0,83	4,8	8,6	7,0	60,2
44	Σίλο	-	-	-	-	-	-	-	-
45	Δεξαμενές Ψύξεως Βενζίνης	-	-	-	-	-	-	-	-
46	Δεξαμενές Βενζίνης	-	-	-	-	-	-	-	-
47	Αντλίες Βενζίνης (M47)	20	15	0,85	0,89	16,8	28,5	7,7	219,4
48	Φορητές Αντλίες Βενζίνης (M48)	30	22	0,85	0,912	24,1	40,9	6,4	261,7
49	Φορητά Μηχανικά Πτύα (M49)	15	11	0,84	0,88	12,5	21,4	7,6	162,6
50	Καυστήρας Εστίας Ξηράνσεως (R50)	40	30	1,0	1,0	30	43,3	-	-
51	Φούρνος Ξηραντηρίου (R51)	7,5	5,5	1,0	1,0	5,5	7,9	-	-

Α/Α	Ονομασία Μηχανήματος	Μηχανική ή Ισχύς		Σ.Ι.	η	Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Ονομαστικό Ρεύμα λειτουργίας (A)	Ρεύμα εκκίνησης ( $I_{ek}/I_N$ )	Ρεύμα απευθείας εκκίνησης (A)
		HP	kW						
52	Ξηραντήριο (R52)	25	18,5	1,0	1,0	18,5	26,7	-	-
53	Μεταφορική Ταινία Πυρήνα (M53)	10	7,5	0,85	0,86	8,7	14,7	7,7	113,2
54	Κοχλίας Ξηραντηρίου (M54)	10	7,5	0,85	0,86	8,7	14,7	7,7	113,2
55	Απορροφητήρας (M55)	50	37	0,86	0,923	40	67,1	6,7	449,5
56	Θάλαμος Παραλαβής Ξηρού Πυρήνα	-	-	-	-	-	-	-	-
57	Κυκλώνας (M57)	20	15	0,85	0,89	16,8	28,5	7,7	219,4
58	Κοχλίας Μεταφοράς Πυρήνα (M58)	20	15	0,85	0,89	16,8	28,5	7,7	219,4
Σύνολο		829				667			

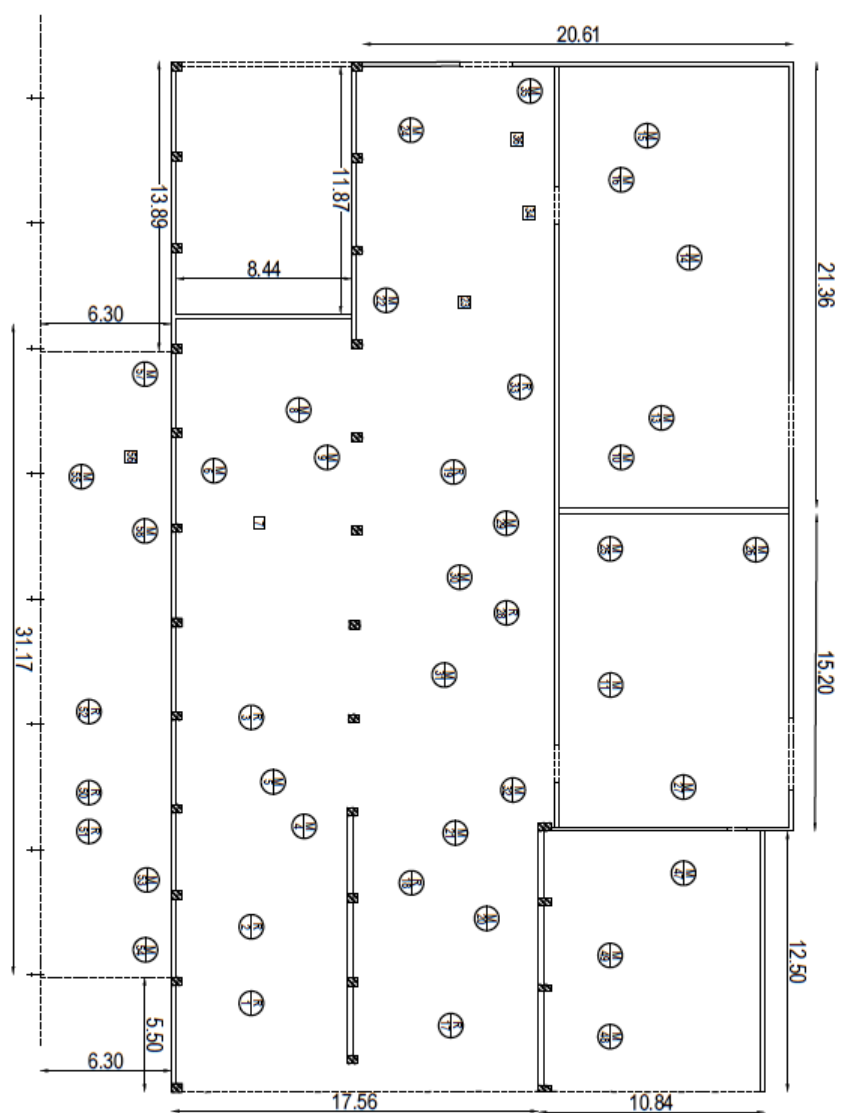
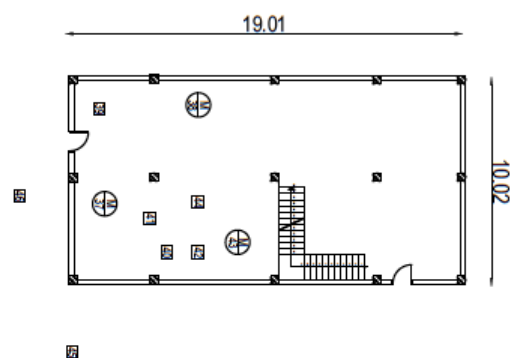
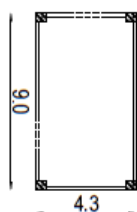
## 2.2 Θέση των μηχανημάτων στο χώρο

Στο Σχήμα 2.2 αποτυπώνεται η ακριβής θέση των σταθερών μηχανημάτων στην κάτοψη του κτηρίου και αναγράφεται στο καθένα ο αύξων αριθμός που αντιστοιχεί σε αυτό (Α/Α).



Σχήμα 2.1: Υπόμνημα συμβόλων των μηχανημάτων





Σχήμα 2.2: Σχεδιασμός φορτίων στην κάτοψη των κτηρίων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΥΠΟΠΙΝΑΚΕΣ

#### 3.1 Κατανομή των σταθερών φορτίων στους επιμέρους υποπίνακες

Η εγκατεστημένη μηχανική ισχύς των μηχανημάτων είναι 829HP (Πίνακας 2.1) και η συνολική πραγματική ηλεκτρική ισχύς ζήτησης είναι 667 kW (Πίνακας 2.1).

Συνεπώς απαιτείται να γίνει κατανομή του συνολικού φορτίου του κεντρικού ηλεκτρικού πίνακα στους επιμέρους υποπίνακες. Στα ωμικά φορτία η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται από τους υποπίνακες ωμικών φορτίων (ΥΠ.Ω.Α/Α) , ενώ στους κινητήρες από τους υποπίνακες κίνησης (ΥΠ.Κ.Α/Α).

Η τοποθέτηση ενός ηλεκτρικού υποπίνακα διανομής γίνεται σε τέτοιο σημείο του χώρου, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα της εύκολης χρήσης του (εύκολη προσπέλαση), της προφύλαξης του από καταπονήσεις και ταυτόχρονα της προστασίας του από υγρασία. Ακόμη, πρέπει να τοποθετείται σε σημείο του χώρου τέτοιο, ώστε τα κυκλώματα διακλάδωσης που αναχωρούν από αυτόν, να έχουν περίπου το ίδιο μήκος γραμμής.

Για τον κάθε υποπίνακα με βάση τα φορτία που τροφοδοτεί, υπολογίζεται σύμφωνα με τις σχέσεις 3.1, 3.2, 3.3 ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων, η συνολική πραγματική ισχύς και η φαινόμενη.

Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων δίνεται από τη σχέση:

$$\cos\varphi_m = \frac{\sum_1^n P_1 \cos\varphi_1 + P_2 \cos\varphi_2 + \dots + P_n \cos\varphi_n}{\sum_1^n P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad (3.1)$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος (VA) δίνεται από τη σχέση:

$$|S| = P_{\text{total}} / \cos\varphi_m \quad (3.2)$$

όπου:  $P_{\text{total}}$  = η συνολική πραγματική εγκατεστημένη ισχύς (W)

Η συνολική μιγαδική ισχύς (VA) δίνεται από τη σχέση:

$$\vec{S} = |S| < \varphi_m^o \quad (3.3)$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 1 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.1):

Πίνακας 3.1: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.1

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 4	7,5	0,85	0,84	6,5
Μηχάνημα 5	7,5	0,85	0,84	6,5
Μηχάνημα 6	40	0,86	0,918	32,6
Μηχάνημα 8	15	0,84	0,88	12,5
Μηχάνημα 9	10	0,85	0,86	8,7
<b>Σύνολο:</b>				66,8

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Κ.1 είναι 66,8 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\phi_m = \frac{6,5*0,85+6,5*0,85+32,6*0,86+12,5*0,84+8,7*0,85}{6,5+6,5+32,6+12,5+8,7} = \frac{56,981}{66,8} = 0,853$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S|=P_{total}/\cos\phi_m=66,8/0,853=78,3 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S}=78,3 < \cos^{-1}(0,853)=78,3 < 31,46^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 2 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.2):

Πίνακας 3.2: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.2

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 10	20	0,85	0,89	16,8
Μηχάνημα 13	75	0,87	0,935	58,8
Μηχάνημα 14	5,5	0,80	0,83	4,8
Μηχάνημα 15	5,5	0,80	0,83	4,8
Μηχάνημα 16	5,5	0,80	0,83	4,8
<b>Σύνολο:</b>				90

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Κ.2 είναι 90 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\phi_m = \frac{16,8*0,85+58,8*0,87+4,8*0,8+4,8*0,8+4,8*0,80}{16,8+58,8+4,8+4,8+4,8} = \frac{76,956}{90} = 0,855$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S|=90/0,855=105,2 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S}=105,2 < \cos^{-1}(0,855)=105,2 < 31,24^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 3 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.3):

Πίνακας 3.3: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.3

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 25	15	0,84	0,88	12,5
Μηχάνημα 26	10	0,85	0,86	8,7
Μηχάνημα 27	7,5	0,85	0,84	6,5
Μηχάνημα 11	50	0,86	0,923	40
<b>Σύνολο:</b>				67,7

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Κ.3 είναι 67,7 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\phi_m = \frac{12,5 * 0,84 + 8,7 * 0,85 + 6,5 * 0,85 + 40 * 0,86}{12,5 + 8,7 + 6,5 + 40} = \frac{57,82}{67,7} = 0,854$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S| = 67,7 / 0,854 = 79,2 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S} = 79,2 < \cos^{-1}(0,854) = 79,2 < 31,35^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 4 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.4):

Πίνακας 3.4: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.4

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 47	20	0,85	0,89	16,8
Μηχάνημα 48	30	0,85	0,912	24,1
Μηχάνημα 49	15	0,84	0,88	12,5
<b>Σύνολο:</b>				53,4

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Κ.4 είναι 53,4 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\phi_m = \frac{16,8 * 0,85 + 24,1 * 0,85 + 12,5 * 0,84}{16,8 + 24,1 + 12,5} = \frac{45,265}{53,4} = 0,847$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S| = 53,4 / 0,847 = 63 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S} = 63 < \cos^{-1}(0,847) = 63 < 32,11^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 5 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.5):

Πίνακας 3.5: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.5

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 37	7,5	0,85	0,84	6,5
Μηχάνημα 38	5,5	0,80	0,83	4,8
Μηχάνημα 43	5,5	0,80	0,83	4,8
<b>Σύνολο:</b>				16,1

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Κ.5 είναι 16,1 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\varphi_m = \frac{6,5*0,85+4,8*0,8+4,8*0,8}{6,5+4,8+4,8} = \frac{13,205}{16,1} = 0,82$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S|=16,1/0,82=19,6 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S}=19,6 < \cos^{-1}(0,82)=19,6 < 34,91^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 6 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.6):

Πίνακας 3.6: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.6

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 53	10	0,85	0,86	8,7
Μηχάνημα 54	10	0,85	0,86	8,7
Μηχάνημα 55	50	0,86	0,923	40
Μηχάνημα 57	20	0,85	0,89	16,8
Μηχάνημα 58	20	0,85	0,89	16,8
<b>Σύνολο:</b>				91

Η ισχύς του ΥΠ.Κ.6 είναι 91 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\varphi_m = \frac{8,7*0,85+8,7*0,85+40*0,86+16,8*0,85+16,8*0,85}{8,7+8,7+40+16,8+16,8} = \frac{77,75}{91} = 0,854$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S|=91/0,854=106,5 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S}=106,5 < \cos^{-1}(0,854)=106,5 < 31,35^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 7 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.7):

Πίνακας 3.7: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.7

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 20	7,5	0,85	0,84	6,5
Μηχάνημα 21	7,5	0,85	0,84	6,5
Μηχάνημα 31	30	0,85	0,912	24,1
Μηχάνημα 32	5,5	0,80	0,83	4,8
Μηχάνημα 29	5,5	0,80	0,83	4,8
Μηχάνημα 30	10	0,85	0,86	8,7
<b>Σύνολο:</b>				55,4

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Κ.7 είναι 55,4 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\varphi_m =$$

$$\frac{6,5*0,85+6,5*0,85+24,1*0,85+4,8*0,8+4,8*0,8+8,7*0,85}{6,5+6,5+24,1+4,8+4,8+8,7} = \frac{46,61}{55,4} = 0,841$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S|=55,4/0,841=65,8 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S}=65,8 < \cos^{-1}(0,841)=65,8 < 32,75^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα κίνησης 8 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.8):

Πίνακας 3.8: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Κ.8

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 22	50	0,86	0,923	40
Μηχάνημα 24	15	0,84	0,88	12,5
Μηχάνημα 35	40	0,86	0,918	32,6
<b>Σύνολο:</b>				85,1

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Κ.8 είναι 85,1 kW. Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος των φορτίων σύμφωνα με τη σχέση 3.1 είναι:

$$\cos\varphi_m = \frac{40*0,86+12,5*0,84+32,6*0,86}{40+12,5+32,6} = \frac{72,936}{85,1} = 0,857$$

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.2 είναι:

$$|S|=85,1/0,86=99,2 \text{ kVA}$$

Η συνολική μιγαδική ισχύς σύμφωνα με τη σχέση 3.3 είναι:

$$\vec{S}=99,2 < \cos^{-1}(0,857)=99,2 < 30,01^\circ \text{ kVA}$$

Από τον υποπίνακα ωμικών φορτίων 1 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.9):

*Πίνακας 3.9: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Ω.1*

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 1	20	1,0	1,0	15
Μηχάνημα 2	7,5	1,0	1,0	5,5
Μηχάνημα 3	20	1,0	1,0	15
<b>Σύνολο:</b>				35,5

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Ω.1 είναι 35,5 kW, η οποία είναι ίση με την φαινόμενη λόγω ωμικών φορτίων ( $\Sigma I.=1$ ). Άρα  $|S|=S=35,5$  kVA.

Από τον υποπίνακα ωμικών φορτίων 2 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.10):

*Πίνακας 3.10: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Ω.2*

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 17	15	1,0	1,0	11
Μηχάνημα 18	5,5	1,0	1,0	4
Μηχάνημα 19	25	1,0	1,0	18,5
Μηχάνημα 28	10	1,0	1,0	7,5
Μηχάνημα 33	15	1,0	1,0	11
<b>Σύνολο:</b>				52

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Ω.2 είναι 52 kW, η οποία είναι ίση με την φαινόμενη λόγω ωμικών φορτίων ( $\Sigma I.=1$ ). Άρα  $|S|=S=52$  kVA.

Από τον υποπίνακα ωμικών φορτίων 3 τροφοδοτούνται τα εξής φορτία (Πίνακας 3.11):

*Πίνακας 3.11: Φορτία που τροφοδοτεί ο ΥΠ.Ω.3*

Ονομασία Μηχανήματος	P <sub>M</sub> (HP)	cosφ	η	P <sub>E</sub> (kW)
Μηχάνημα 50	40	1,0	1,0	30
Μηχάνημα 51	7,5	1,0	1,0	5,5
Μηχάνημα 52	25	1,0	1,0	18,5
<b>Σύνολο:</b>				54

Η πραγματική ισχύς του ΥΠ.Ω.3 είναι 54 kW, η οποία είναι ίση με την φαινόμενη λόγω ωμικών φορτίων ( $\Sigma I.=1$ ). Άρα  $|S|=S=54$  kVA.

### 3.2 Μέγιστη ταυτόχρονη ισχύς ζήτησης υποπινάκων

Σύμφωνα με την παραγωγική διαδικασία του εργοστασίου υφίσταται ετεροχρονισμός στη λειτουργία των μηχανημάτων. Επομένως πρέπει να ληφθούν κάποιοι συντελεστές ταυτοχρονισμού

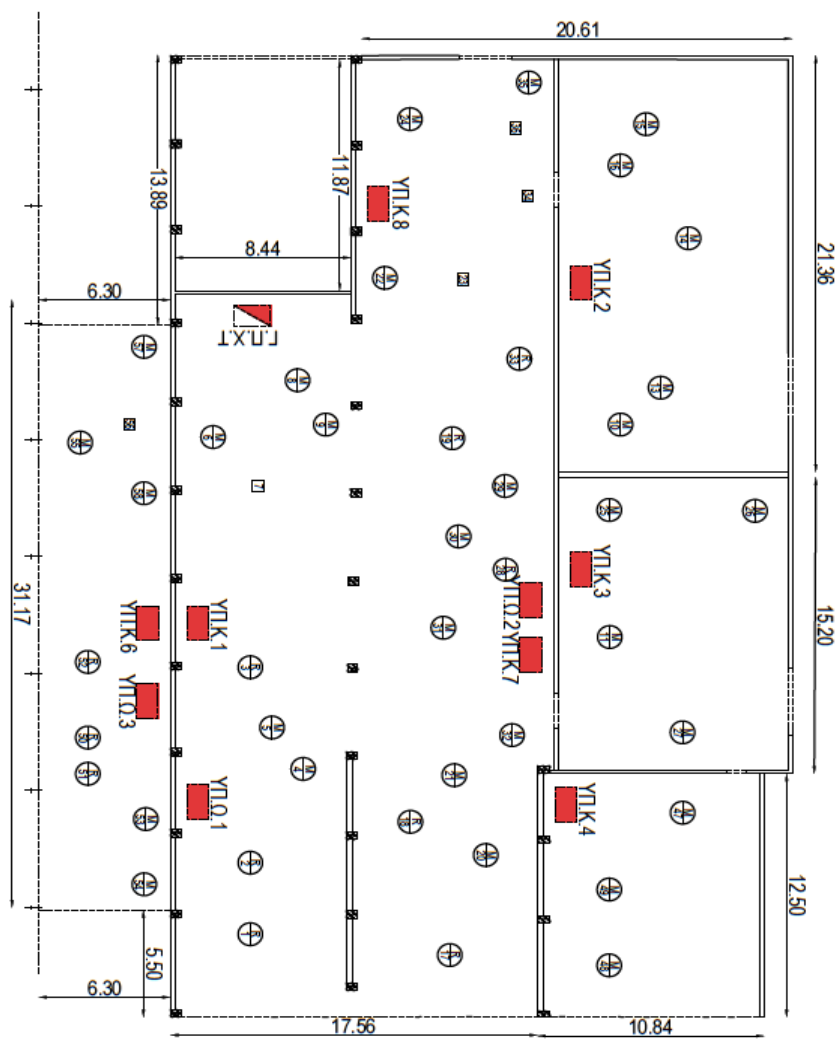
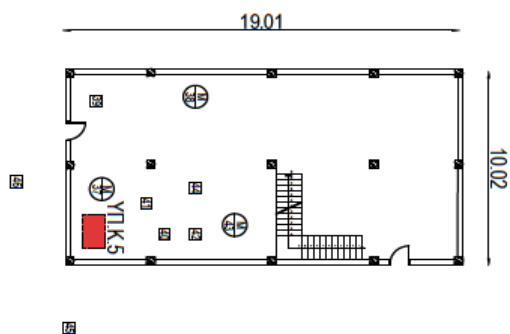
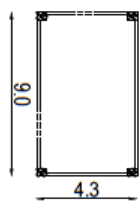
σε κάθε υποπίνακα, ώστε να προσδιοριστεί η μέγιστη πραγματική ισχύς ζήτησης. Ο συντελεστής ταυτοχρονισμού (g) εκφράζει το ποσοστό των φορτίων που είναι ενεργοποιημένα την ίδια στιγμή στον κάθε υποπίνακα. Οι πληροφορίες για τον συντελεστή g λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία [1].

Πίνακας 3.12: Ισχύς υποπινάκων - συντελεστής ζήτησης

Υποπίνακας	Εγκατεστημένη φαινόμενη ισχύς πίνακα kVA	Μέσος συντελεστής ισχύος	Εγκατεστημένη πραγματική ισχύς πίνακα kW	g	Μέγιστη πραγματική ισχύς ζήτησης πίνακα kW (3x4)
	1	2	3	4	5
ΥΠ.Κ.1	78,3	0,853	66,8	0,7	46,8
ΥΠ.Κ.2	105,2	0,855	90	0,7	63
ΥΠ.Κ.3	79,2	0,854	67,7	0,8	54,1
ΥΠ.Κ.4	63	0,847	53,4	0,9	48
ΥΠ.Κ.5	19,6	0,82	16,1	0,9	14,5
ΥΠ.Κ.6	106,5	0,854	91	0,7	63,7
ΥΠ.Κ.7	65,8	0,841	55,4	0,6	33,2
ΥΠ.Κ.8	99,2	0,857	85,1	0,9	76,6
ΥΠ.Ω.1	35,5	1,0	35,5	0,9	32
ΥΠ.Ω.2	52	1,0	52	0,7	36,4
ΥΠ.Ω.3	54	1,0	54	0,9	48,6
<b>Σύνολο:</b>	758,3		667		516,9

Στο Σχήμα 3.1 δίνεται η θέση των υποπινάκων κίνησης και ωμικών φορτίων και του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης στην κάτοψη. Το ύψος τοποθέτησης των πινάκων από το δάπεδο είναι 1,7m.





Σχήμα 3.1: Σχεδιασμός πινάκων στην κάτοψη των κτηρίων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ

#### 4.1 Υπολογισμός διατομής καλωδίων

4.1.1 Υπολογισμός διατομής με βάση τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμική φόρτιση αγωγών και καλωδίων χαμηλής τάσης κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.5.523 (Διατομή ασφαλούς λειτουργίας)

Η διατομή των καλωδίων που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρική εγκατάσταση της βιομηχανίας επιλέγεται, ώστε η θερμοκρασία της μόνωσης να μην υπερβεί ένα όριο που εξαρτάται από το μονωτικό υλικό σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 : Μέγιστες θερμοκρασίες αγωγών κατά τη λειτουργία ανάλογα με το υλικό μόνωσης

Υλικό μόνωσης	Θερμοκρασία °C
Πολυβινυλχλωρίδιο (PVC)	70
Πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού (XLPE) ή Ελαστικό αιθυλενιοπροπυλενίου (EPR)	90

Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα  $I_0$  είναι εκείνο που προκαλεί τέτοια οριακή θερμοκρασία  $\theta_c$  στον αγωγό, που δεν βλάπτει τη μόνωση.

Για τις γραμμές τροφοδοσίας των μηχανημάτων και των υποπινάκων χρησιμοποιούνται καλώδια μονωμένα με PVC, ενώ για τη τροφοδοσία του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης καλώδια μονωμένα με XLPE εντός εδάφους.

Για εγκαταστάσεις εκτός εδάφους η επιλογή διατομής καλωδίου γίνεται με βάση τη μέγιστη επιτρεπτή φόρτιση με ανώτατο όριο ρεύματος φόρτισης  $I_0$ , λαμβάνοντας υπ' όψιν το συντελεστή διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας  $f_\theta$  και το συντελεστή διόρθωσης λόγω πλήθους (ομαδοποίησης) καλωδίων  $f_n$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_b' = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} \quad (4.1)$$

όπου:  $I_N$  = το ονομαστικό ρεύμα από το οποίο διαρρέεται συνεχώς η γραμμή.

Η διατομή εκλέγεται με βάση το ρεύμα αναφοράς της  $I_0$ , έτσι ώστε να ισχύει  $I_0 > I_b'$ .

Η επιλογή της διατομής των αγωγών των γραμμών γίνεται από τους πίνακες του προτύπου ΕΛΟΤ HD384, οι οποίοι είναι οι 52-K1 (Πίνακας Π.1) και 52-K2 (Πίνακας Π.2) για εγκατάσταση

καλωδίων εκτός εδάφους. Ο συντελεστής  $f_{\theta}$  λαμβάνεται από τον 52-Δ1 (Πίνακας Π.4) για καλώδια στον αέρα και ο συντελεστής πλήθους καλωδίων  $f_n$  εκτός εδάφους λαμβάνεται από τους: Πίνακας 52-E1 (Πίνακας Π.7), 52-E4 (Πίνακας Π.8) και 52-E5 (Πίνακας Π.9).

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος βάση της οποίας πραγματοποιείται η ηλεκτρολογική μελέτη είναι 40°.

Για εγκαταστάσεις μέσα στο έδαφος η επιλογή διατομής καλωδίου γίνεται με βάση τη μέγιστη επιτρεπτή φόρτιση με ανώτατο όριο ρεύματος φόρτισης  $I_0$ , λαμβάνοντας υπ' όψιν το συντελεστή διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας εδάφους  $f_{\theta}$ , το συντελεστή διόρθωσης λόγω ειδικής αντίστασης του εδάφους  $f_c$  και το συντελεστή διόρθωσης λόγω πλήθους (ομαδοποίησης) καλωδίων  $f_i$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_b' = \frac{I_N}{f_{\theta} * f_c * f_i} \quad (4.2)$$

Η διατομή εκλέγεται με βάση το ρεύμα αναφοράς της  $I_0$ , έτσι ώστε να ισχύει  $I_0 > I_b'$ .

Η επιλογή της διατομής των αγωγών των γραμμών γίνεται από τους πίνακες του προτύπου ΕΛΟΤ HD384, ο οποίος είναι ο 52-K3 (Πίνακας Π.3) για εγκατάσταση καλωδίων εντός εδάφους. Ο συντελεστής  $f_{\theta}$  λαμβάνεται από τον 52-Δ2 (Πίνακας Π.5), ο συντελεστής  $f_c$  από τον 52-Δ3 (Πίνακας Π.6) και ο συντελεστής  $f_i$  από τους: Πίνακας 52-E2 (Πίνακας Π.10) και 52-E3 (Πίνακας Π.11).

Το κλίμα της περιοχής για την οποία γίνεται η μελέτη χαρακτηρίζεται υπερτροπικό με κανονική βροχόπτωση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [1] λαμβάνεται η θερμοκρασία εδάφους 25° C και η ειδική θερμική αντίσταση του 1K\*m/W.

Η ελάχιστη διατομή καλωδίων, βάση ΕΛΟΤ, για εγκαταστάσεις κίνησης είναι 1,5mm<sup>2</sup>. Η διατομή του αγωγού προστασίας εξαρτάται από τις διατομές των αγωγών των φάσεων σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Διατομές αγωγών προστασίας σε συσχετισμό με τις διατομές των φάσεων κατά ΕΛΟΤ HD384

Διατομές των αγωγών φάσεων της εγκατάστασης S (mm <sup>2</sup> )	Ελάχιστη διατομή του αντίστοιχου αγωγού προστασίας S <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )
S<16	S
16<S<35	16
S>35	S/2

4.1.2 Προσδιορισμός διατομής με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης (Διατομή καλής λειτουργίας)

Η διατομή ενός καλωδίου πρέπει να εξασφαλίζει τόσο την ασφαλή λειτουργία για την αποφυγή βλάβης της μόνωσης του, αλλά και την ομαλή λειτουργία του φορτίου, ώστε να μην υπάρχει μεγάλη πτώση τάσης στον αγωγό, γεγονός που επιφυλάσσει λειτουργικά προβλήματα στο φορτίο. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384.525, η αποδεκτή συνολική πτώση τάσης σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να είναι  $\leq 4\%$  της ονομαστικής τάσης τροφοδότησης. Στη βιομηχανική εγκατάσταση ο έλεγχος πτώσης τάσης στα κυκλώματα διακλάδωσης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων γίνεται από το δευτερεύον του ΜΣ έως το πιο δυσμενές φορτίο, δηλαδή αυτό που παρουσιάζει το μεγαλύτερο γινόμενο μήκους επί ρεύματος. Ο έλεγχος για τα φορτία κίνησης γίνεται κατά τη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας, η οποία είναι:

- για τη γραμμή τροφοδοσίας ενός κινητήρα η εκκίνηση του
- για τη γραμμή ενός υποπίνακα η εκκίνηση του μεγαλύτερου σε ισχύ κινητήρα, ενώ την ίδια στιγμή λειτουργούν με την ονομαστική τους ισχύ οι υπόλοιποι κινητήρες σύμφωνα με το συντελεστή ταυτοχρονισμού του Πίνακα 3.12

Ο υπολογισμός πτώσης τάσης σε μια τριφασική γραμμή γίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \frac{l * Y' * P_3}{V_{\pi}^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos \varphi}{V_{\pi}} \quad (4.3)$$

όπου:  $l$  = το μήκος της γραμμής σε m,  $Y'$  = η ισοδύναμη αντίσταση ανά μονάδα μήκους,  $P_3$  = η ισχύς σε W των τριών φάσεων,  $V_{\pi}$  = η πολική τάση δικτύου,  $I$  = το ρεύμα που διαρέει τη γραμμή,  $\cos \varphi$  = ο συντελεστής ισχύος του φορτίου

Η ισοδύναμη αντίσταση ανά μονάδα μήκους είναι συνάρτηση της ωμικής αντίστασης και επαγωγικής αντίδρασης της γραμμής, καθώς του συντελεστή ισχύος του φορτίου και δίνεται από τη σχέση:

$$Y' = R' + X' * \tan \varphi \quad (4.4)$$

Η ανα μονάδα μήκους ωμική αντίσταση της γραμμής ( $\Omega/m$ ) υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$R' = \frac{\rho}{q} \quad (4.5)$$

όπου:  $\rho$  = η ειδική αντίσταση του υλικού κατασκευής του αγωγού ( $\Omega mm^2/m$ ) και  $q$  = η διατομή του αγωγού ( $mm^2$ ).

Οι αγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και σπάνια από αλουμίνιο. Στη μελέτη της ηλεκτρικής εγκατάστασης της βιομηχανίας θα χρησιμοποιηθούν χάλκινοι αγωγοί. Η ειδική αντίσταση του χαλκού είναι  $0,0168 \Omega mm^2/m$  σε θερμοκρασία  $20^\circ C$ . Σε διαφορετική θερμοκρασία λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\rho(T) = 0,0168 [1 + 3,9 * 10^{-3} (T - 20)] \quad (4.6)$$

όπου:  $T$  = η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

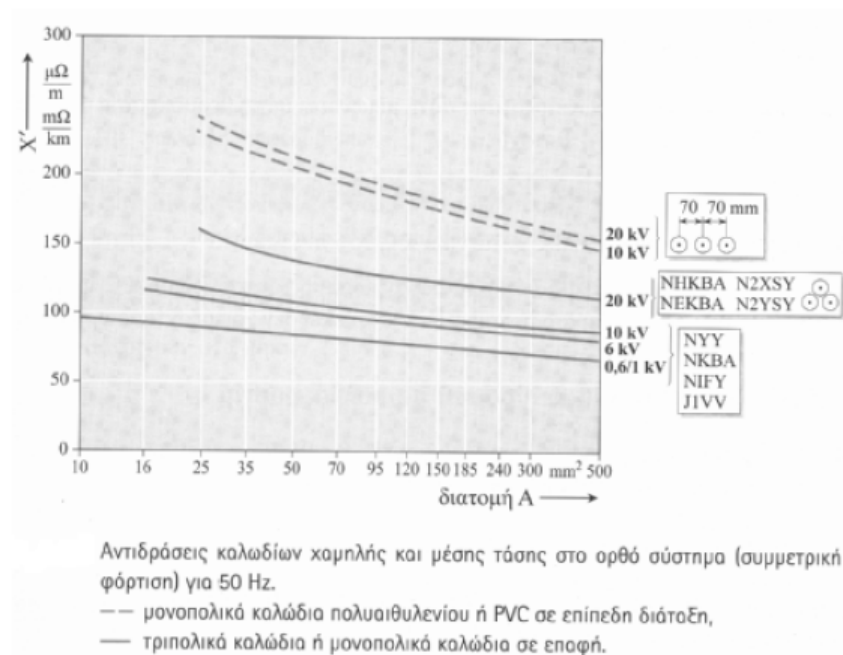
Μελετώντας τη συνθήκη μέγιστης επιτρεπτής θερμοκρασίας του αγωγού ανάλογα με το μονωτικό

(Πίνακας 4.1), υπολογίζεται η ειδική αντίσταση του χαλκού στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Ειδική αντίσταση του χαλκού ανάλογα με τη μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία της μόνωσης του αγωγού

Υλικό μόνωσης	$\rho(T)$ ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )
Πολυβινυλχλωρίδιο (PVC)	0,02
Πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού (XLPE) ή Ελαστικό αιθυλενιοπροπυλενίου (EPR)	0,0213

Η ανά μονάδα μήκους επαγωγική αντίδραση της γραμμής ( $\Omega/\text{m}$ ) προσδιορίζεται από το σχήμα 4.1. Για διατομές  $q < 16 \text{ mm}^2$  η επαγωγική αντίδραση της γραμμής είναι πολύ μικρότερη από την ωμική και αγνοείται και έτσι  $Y' \approx X'$



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα επαγωγικής αντίδρασης καλωδίων σε συνάρτηση με τη διατομή του καλωδίου και την τάση λειτουργίας [1]

## 4.2 Εγκατάσταση καλωδίων

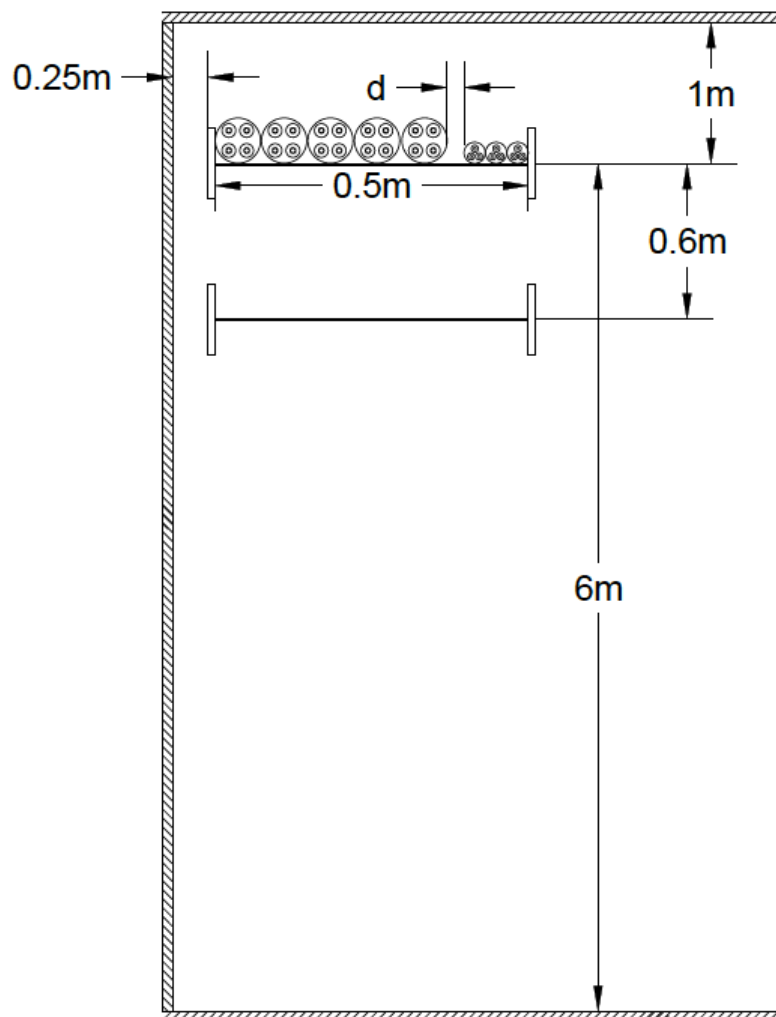
Τα καλώδια, που τροφοδοτούν τα φορτία κίνησης και τους υποπίνακες στον κύριο χώρο παραγωγής της βιομηχανίας εγκαθίστανται με τους εξής τρόπους:

- Μέσω χαλυβδοσωλήνων στερεωμένοι στον τοίχο και στο πάτωμα. Τα καλώδια αυτοματισμών των κινητήρων οδεύουν μέσω ενός ξεχωριστού χαλυβδοσωλήνα σε επαφή με αυτόν που φέρει το καλώδιο ισχύος του αντίστοιχου μηχανήματος.
- Μέσω οριζόντιας διάτρητης μεταλλικής σχάρας σε απλή στρώση (Σχήμα 4.2)

Τα καλώδια στο έδαφος εγκαθίστανται σε βάθος 0,7m μέσα σε σωλήνες.

Η ελάχιστη εσωτερική διάμετρος ενός σωλήνα υπολογίζεται από την εξωτερική διάμετρο του καλωδίου  $d_k$  που οδεύει σε αυτόν από τη σχέση:

$$D_x > 1,35 \cdot d_k \quad (4.7)$$



Σχήμα 4.2: Σκαρίφημα μεταλλικής σχάρας που φέρει πέντε καλώδια ισχύος και τρία αυτοματισμών

Σημειώσεις Σχήματος 4.2:

- Η πάνω μεταλλική σχάρα εξυπηρετεί τα κυκλώματα κίνησης και η κάτω φωτισμού-ρευματοδοτών
- Στην αριστερή πλευρά της σχάρας εγκαθίστανται τα καλώδια ισχύος σε επαφή μεταξύ τους και στη δεξιά τα καλώδια αυτοματισμών σε επαφή μεταξύ τους
- Η απόσταση  $d$  είναι μεγαλύτερη του διπλάσιου της διαμέτρου των δυο καλωδίων

### 4.3 Μέσα ηλεκτρικής προστασίας γραμμών και κινητήρων και ζεύξης/απόζευξης φορτίων

#### 4.3.1 Προστασία γραμμών έναντι βραχυκυκλώματος – ζεύξη/απόζευξη κυκλώματος

Κάθε γραμμή ενός υποπίνακα πρέπει να προστατεύεται έναντι υπερθέρμανσης λόγω βραχυκυκλώματος, που συνεπάγεται βλάβη της μόνωσης και από υπερφορτίσεις. Για το λόγο αυτό, τοποθετείται στην αναχώρηση της όργανο προστασίας, το οποίο ανοίγει αυτόματα το κύκλωμα, όταν το ρεύμα υπερβεί μια τιμή σε καθορισμένο χρόνο. Υπάρχουν τα εξής μέσα προστασίας:

- Ασφάλειες τήξης
- Αυτόματοι διακόπτες

Οι ασφάλειες τήξης χωρίζονται στους εξής τύπους:

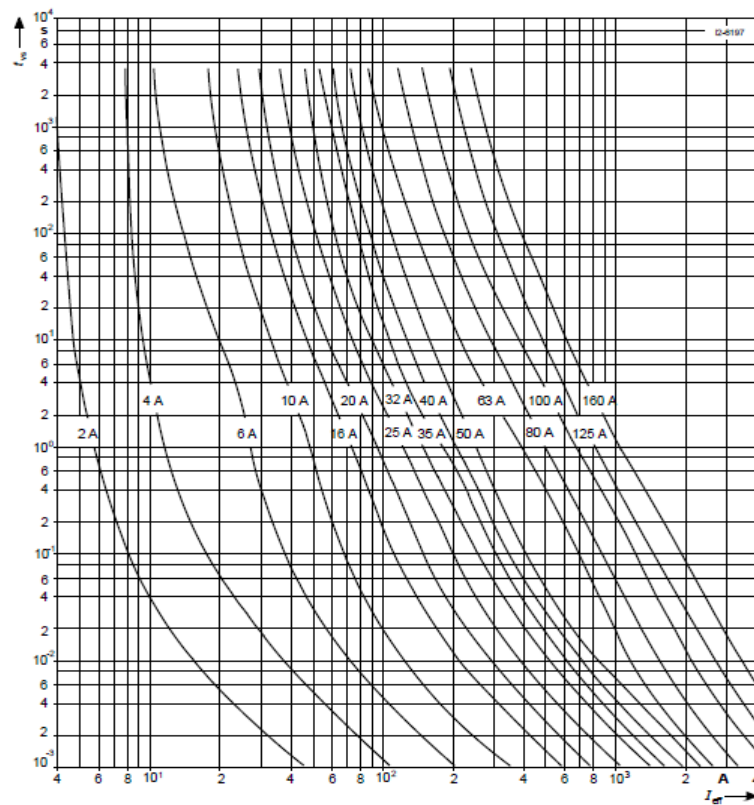
- Ασφάλειες D (Diazed-ασφάλειες)
- Ασφάλειες D0 (Neozed-ασφάλεις)
- Ασφάλειες NH (μαχαιρωτές ασφάλειες)
- Ασφάλειες G (μικρο ασφάλειες σε γυάλινο κύλινδρο)

Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες λειτουργίας των ασφαλειών είναι:

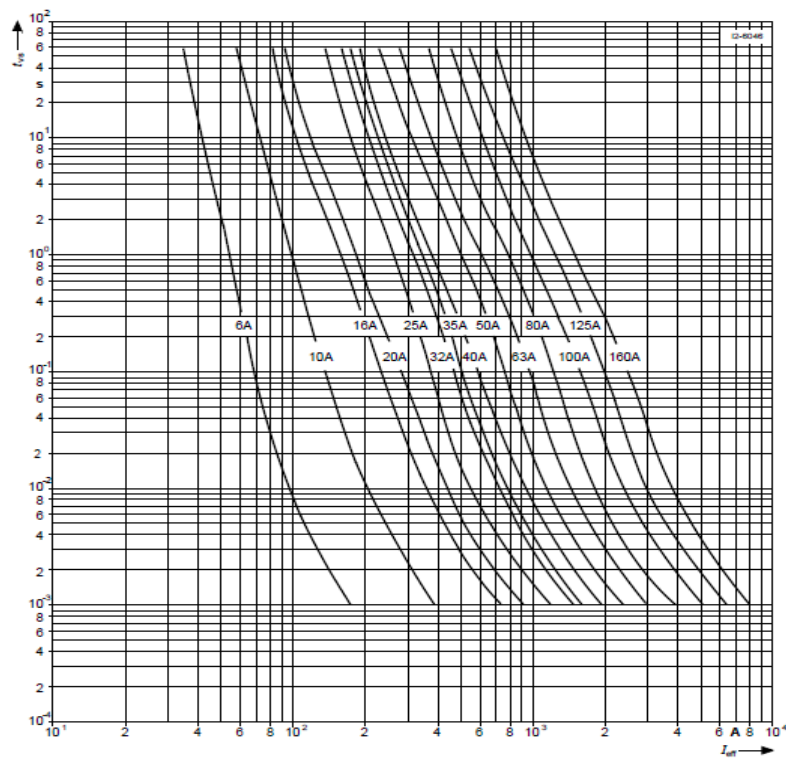
- gG = πλήρης προστασία στη γενική χρήση
- gL = πλήρης προστασία για γραμμές
- aM = μερική προστασία σε υψηλά ρεύματα για κινητήρες

Οι ασφάλειες χαρακτηρίζονται, επίσης, από το ονομαστικό ρεύμα, το μικρό ρεύμα δοκιμής (στο οποίο δεν λιώνει σε χρόνο δοκιμής 1h), το μεγάλο ρεύμα δοκιμής (στο οποίο λιώνει σε χρόνο δοκιμής 1h) και τις χαρακτηριστικές τους καμπύλες. Για την προστασία των γραμμών κινητήρων προτιμάται η χρήση ασφαλειών aM, καθώς επιτρέπουν την εκκίνηση του κινητήρα με ρεύμα πολλαπλάσιο του ονομαστικού και τήκονται σε υψηλά ρεύματα βραχυκύκλωσης. Επίσης, προστατεύουν τον κινητήρα και τον διακόπτη σε βραχυκυκλώματα χωρίς να τήκονται στην εκκίνηση για απ' ευθείας εκκίνηση μέχρι 5sec και για εκκίνηση με διακόπτη Y/Δ μέχρι 10sec. Οι ασφάλειες D και D0 έχουν την ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκύκλωσης της τάξης των 80kA, ενώ για υψηλότερα ρεύματα βραχυκύκλωσης χρησιμοποιούνται ασφάλειες τύπου NH. Επιλέγονται με τέτοιον τρόπο, ώστε να εξασφαλίζουν επιλογική συνεργασία με τις ασφάλειες προστασίας στον τοπικό πίνακα κινητήρα [1]. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των ασφαλειών NH

κατηγορίας gL και aM στα Σχήματα 4.3 και 4.4 αντίστοιχα δείχνουν τον χρόνο διακοπής σε συνάρτηση με το ρεύμα σφάλματος.



Σχήμα 4.3: Χαρακτηριστικές ασφαλειών NH, κατηγορίας gL/gG (δεδομένα κατασκευαστή)



Σχήμα 4.4: Χαρακτηριστικές ασφαλειών NH, κατηγορίας aM (δεδομένα κατασκευαστή)



Οι αυτόματοι διακόπτες (μικροαυτόματοι για την προστασία γραμμών) είναι ένα ακόμη μέσο προστασίας έναντι υψηλών ρευμάτων βραχυκυκλωμάτων. Πρέπει να έχουν την ικανότητα να διακόπτουν το κύκλωμα σε ρεύμα μικρότερο ή ίσο του επιτρεπόμενου για την ασφάλεια της μόνωσης της γραμμής, αλλά ταυτόχρονα να επιτρέπουν συνεχώς τη διέλευση του ονομαστικού ρεύματος. Χωρίζονται σε 3 ομάδες I, II, III με αντίστοιχες ικανότητες διακοπής υψηλού ρεύματος 3, 6 και 10kA αντίστοιχα. Η σχέση ρεύματος πτώσης σκανδαλισμού και χρόνου λέγεται χαρακτηριστική και χωρίζονται με βάση αυτή στις εξής κατηγορίες:

- A-Χαρακτηριστική : έχει προβλεφθεί για γραμμές που τροφοδοτούν ημιαγωγούς, όπου το ρεύμα που προκαλεί την πτώση είναι τριπλάσιο
- B-Χαρακτηριστική : είναι μια γενική χαρακτηριστική για κυκλώματα, όπου δεν τροφοδοτούνται κινητήρες
- C-Χαρακτηριστική : έχει προβλεφθεί για κυκλώματα συσκευών με υψηλά ρεύματα εκκίνησης
- D-Χαρακτηριστική : έχει προβλεφθεί για κυκλώματα συσκευών με υψηλά κρουστικά ρεύματα
- Χαρακτηριστική K : αντιστοιχεί στο εθνικό γερμανικό πρότυπο DIN 60898 και χρησιμοποιείται αντί της D-Χαρακτηριστικής με κάποιες διαφορές στην έκταση των θερμικών και ηλεκτρομαγνητικών στοιχείων
- Χαρακτηριστική Z : προβλέπεται για κυκλώματα συσκευών με ημιαγωγούς και είναι παρόμοια με την A-Χαρακτηριστική

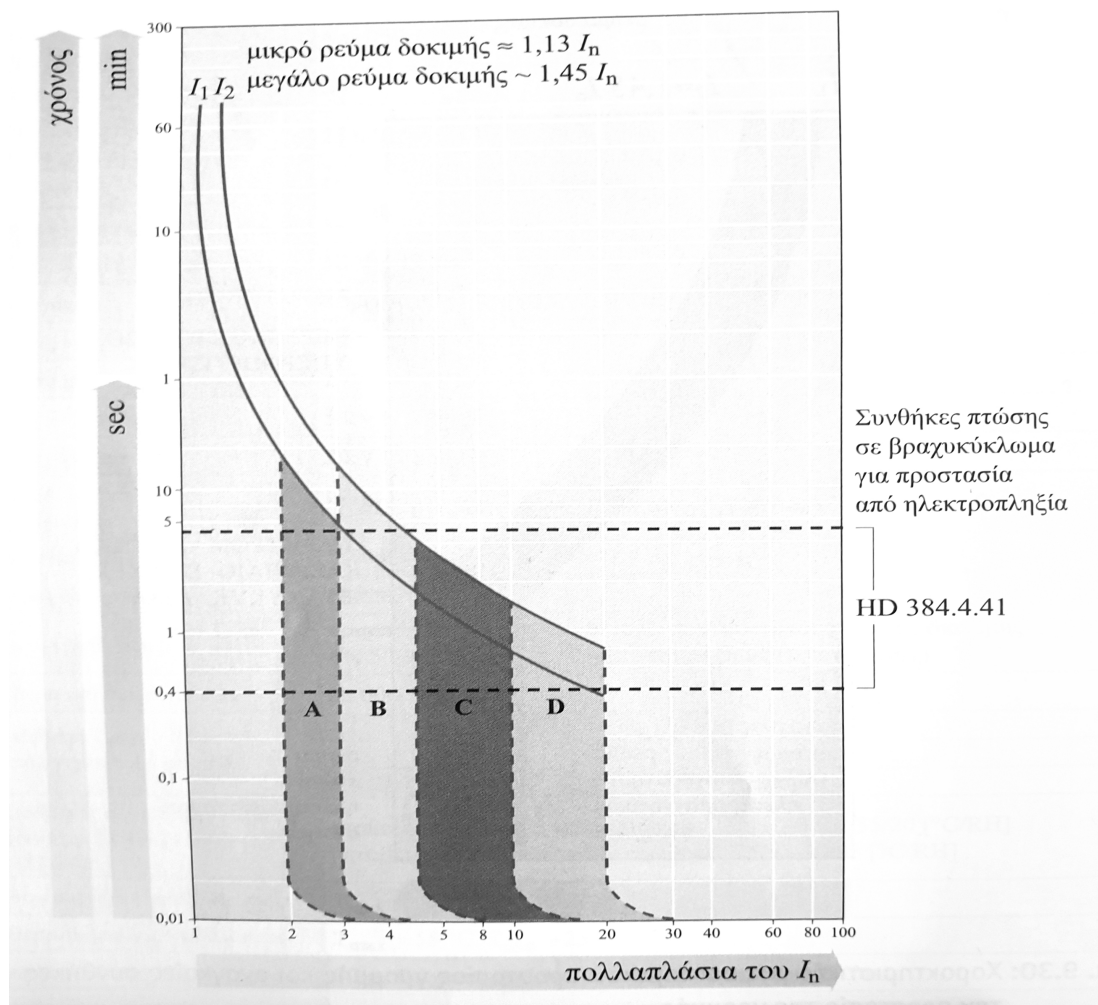
Χαρακτηρίζονται επίσης, όπως και οι ασφάλειες, από το ονομαστικό ρεύμα, το μικρό ρεύμα δοκιμής (στο οποίο δεν διακόπτει το κύκλωμα σε χρόνο δοκιμής 1h), το μεγάλο ρεύμα δοκιμής (στο οποίο διακόπτει το κύκλωμα σε χρόνο δοκιμής 1h) καθώς και τις χαρακτηριστικές τους καμπύλες (Σχήμα 4.5). Για την προστασία των κινητήρων χρησιμοποιούνται αυτόματοι διακόπτες C-Χαρακτηριστικής και η επιλογή τους γίνεται σύμφωνα με τον πίνακα Π.14 του παραρτήματος [1].

Για τη ζεύξη/απόζευξη του κυκλώματος από το δίκτυο χειροκίνητα, χρησιμοποιούνται διακόπτες φορτίου, οι οποίοι πρέπει να έχουν την ικανότητα απόσβεσης του ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται στις επαφές τους κατά την ζεύξη/απόζευξη σε ρεύματα πολλαπλάσια του ονομαστικού για ονομαστική τάση, ώστε να μπορούν να συνδέουν και να αποσυνδέουν επαγωγικά ρεύματα κατά την εκκίνηση των κινητήρων. Οι διακόπτες δεν έχουν τη δυνατότητα διακοπής υψηλών ρευμάτων βραχυκύκλωσης και για το λόγο αυτό προτάσσονται πάντα οι ασφάλειες για την προστασία τους από βραχυκυκλώματα. Η ονομαστική ένταση του διακόπτη πρέπει να είναι

τουλάχιστον ίση ή μεγαλύτερη της προτασσύμενης ασφάλειας [1].

Οι κατηγορίες χρήσης διακοπών φορτίου εναλλασσόμενου ρεύματος είναι οι εξής:

- AC-20 : για χειρισμό χωρίς φορτίο
- AC-21 : για χειρισμό ωμικών φορτίων
- AC-22 : για χειρισμό μικτών φορτίων
- AC-23 : για χειρισμό κινητήρων ή επαγωγικών φορτίων
- AC-24 : για χειρισμό επαγωγικών κινητήρων, όταν απαιτείται και αναστροφή λειτουργίας των κινητήρων



Σχήμα 4.5: Χαρακτηριστικές αυτόματων διακοπών A,B,C,D σύμφωνα με το πρότυπο EN 60898 [1]

#### 4.3.2 Προστασία κινητήρων έναντι υπερθέρμανσης από υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα

Οι κινητήρες προστατεύονται από υψηλά ρεύματα βραχυκύκλωσης μέσω ασφαλειών τήξεως D,

D0, NH τύπου αΜ ή αυτόματων διακοπών Χαρακτηριστικής C, που τοποθετούνται στον τοπικό υποπίνακα του κινητήρα. Για να υπάρχει επιλογική συνεργασία, οι ασφάλειες που τοποθετούνται στον υποπίνακα κίνησης πρέπει να είναι μεγαλύτερης τάξης από αυτές του τοπικού πίνακα, ώστε σε συνθήκη βραχυκυκλώματος να τήκονται πρώτα αυτές που βρίσκονται πιο κοντά στο σφάλμα. Μια ασφάλεια μπορεί να προστατέψει τη γραμμή από βραχυκύκλωμα μέχρι και τρεις τάξεις μεγαλύτερη του ονομαστικού ρεύματος γραμμής. Η ζεύξη/απόζευξη των κινητήρων γίνεται με την τοποθέτηση διακοπών φορτίου κατηγορίας AC-23 και AC-23 ανάλογα με τις απαιτήσεις χειρισμού.

Η προστασία των κινητήρων έναντι συνεχούς υπερφόρτισης γίνεται με:

- θερμικά διαμεταλλικά ή ηλεκτρονικά στοιχεία
- θερμίστορ PTC (Positive Temperature Coefficient, PTC)
- θερμομετρικές αντιστάσεις Pt100
- αυτόματους ηλεκτρομαγνητικούς διακόπτες

Τα θερμικά στοιχεία συνδέονται σε σειρά με τις φάσεις του τροφοδοτικού καλωδίου (σε περίπτωση που χρησιμοποιείται χειροκίνητος διακόπτης Y/Δ) και ρυθμίζονται στο ρεύμα γραμμής, είτε σε σειρά με τα τυλίγματα του κινητήρα (αυτόματος διακόπτης Y/Δ) και ρυθμίζονται στο ρεύμα που τα διαρρέει σε συνδεσμολογία τριγώνου το οποίο είναι (προτιμάται γιατί εξασφαλίζει προστασία του κινητήρα από διαφασική λειτουργία):

$$I_{th} = \frac{I_{line}}{\sqrt{3}} \quad (4.8)$$

## 4.4 Εκκίνηση κινητήρων

### 4.4.1 Προσδιορισμός τρόπου εκκίνησης κινητήρα

Οι κινητήρες, που χρησιμοποιούνται στα μηχανήματα της βιομηχανίας, είναι ασύγχρονοι κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού, οι οποίοι εκτελούν όλοι σπάνιες εκκινήσεις και το δίκτυο της ΔΕΗ είναι εναέριο. Το ρεύμα εκκίνησης τους είναι 4 έως 8 φορές μεγαλύτερο από το ρεύμα ονομαστικής λειτουργίας τους. Συνεπώς, η απευθείας εκκίνηση του κινητήρα σε συνδεσμολογία τριγώνου δημιουργεί προβλήματα στο δίκτυο (πτώση τάσης). Για το λόγο αυτό η ΔΕΗ έχει εκδώσει σχετική οδηγία (Οδηγία 33 της ΔΕΗ), όπου ορίζεται ότι η ζεύξη τριφασικών κινητήρων επιτρέπεται να πραγματοποιηθεί χωρίς ιδιαίτερο έλεγχο, αν ικανοποιείται τουλάχιστον μία εκ των παρακάτω συνθηκών:

α) Το ρεύμα εκκίνησης είναι μικρότερο των καθορισμένων τιμών, που αναγράφονται στον Πίνακα 4.4. Σπάνιες χαρακτηρίζονται οι εκκινήσεις που γίνονται το πολύ μια ανά ώρα και συχνές μέχρι μια εκκίνηση ανά λεπτό.

Πίνακας 4.4: Επιτρεπτές τιμές ρεύματος για απ' ευθείας εκκίνηση [Οδηγία 33 της ΔΕΗ]

Μονοφασικοί Κινητήρες			
Εναέρια Δίκτυα		Υπόγεια Δίκτυα	
27Α(1PS)		40Α(1,5PS)	
Τριφασικοί Κινητήρες			
Εναέρια Δίκτυα		Υπόγεια Δίκτυα	
Σπάνιες Εκκινήσεις	Συχνές Εκκινήσεις	Σπάνιες Εκκινήσεις	Συχνές Εκκινήσεις
50Α(4/12,55PS)	30Α(2,5/7,5PS)	70Α(6/17PS)	50Α(4/12,5PS)

β) Η σχέση ρεύματος εκκίνησης προς ονομαστικό ρεύμα να είναι μικρότερη του 2 για κινητήρες με ισχύ μέχρι 10PS (7,3kW) και μικρότερη από 1,6 για κινητήρες πάνω από 10PS.

Για τους κινητήρες, που δεν πληρούν τις απαιτήσεις της ΔΕΗ, προβλέπεται η χρήση διακόπτη Υ/Δ. Ο κινητήρας εκκινεί σε συνδεσμολογία αστέρα και, όταν αποκτήσει τις ονομαστικές του στροφές, αλλάζει μέσω του διακόπτη σε τρίγωνο. Το ρεύμα εκκίνησης κινητήρα με διακόπτη Υ/Δ είναι:

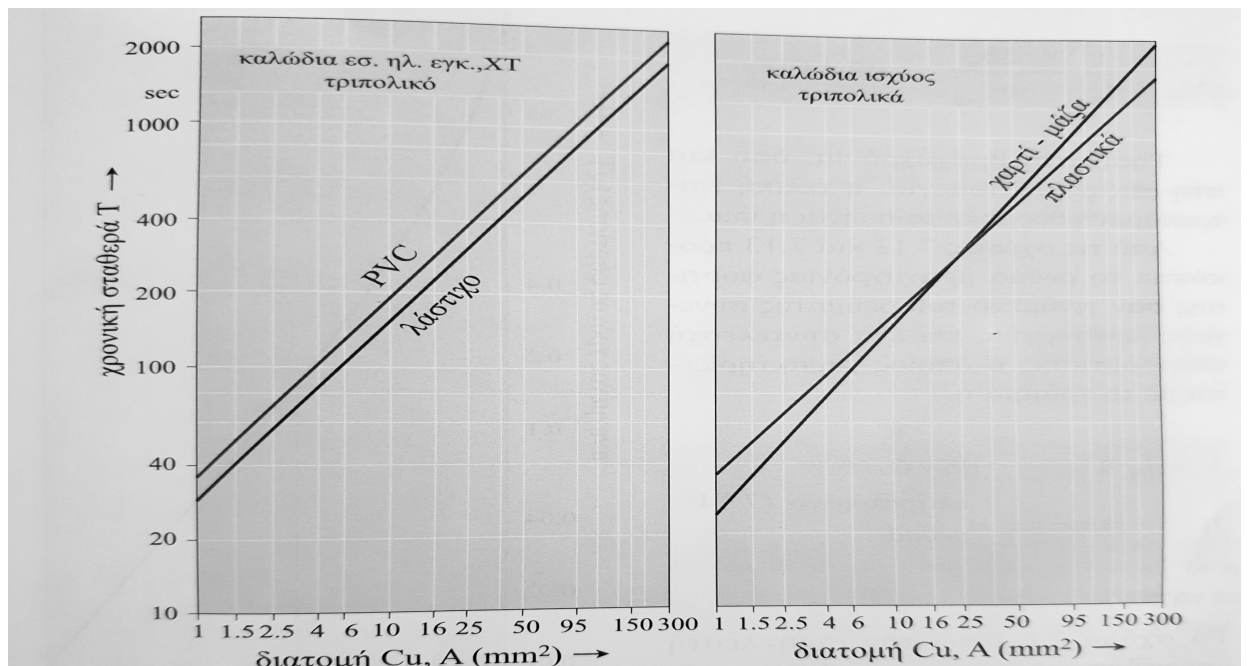
$$I_{A,Y/\Delta} = I_{εκκ}/3 \quad (4.9)$$

#### 4.4.2 Βραχυχρόνια φόρτιση αγωγών κατά την εκκίνηση κινητήρα

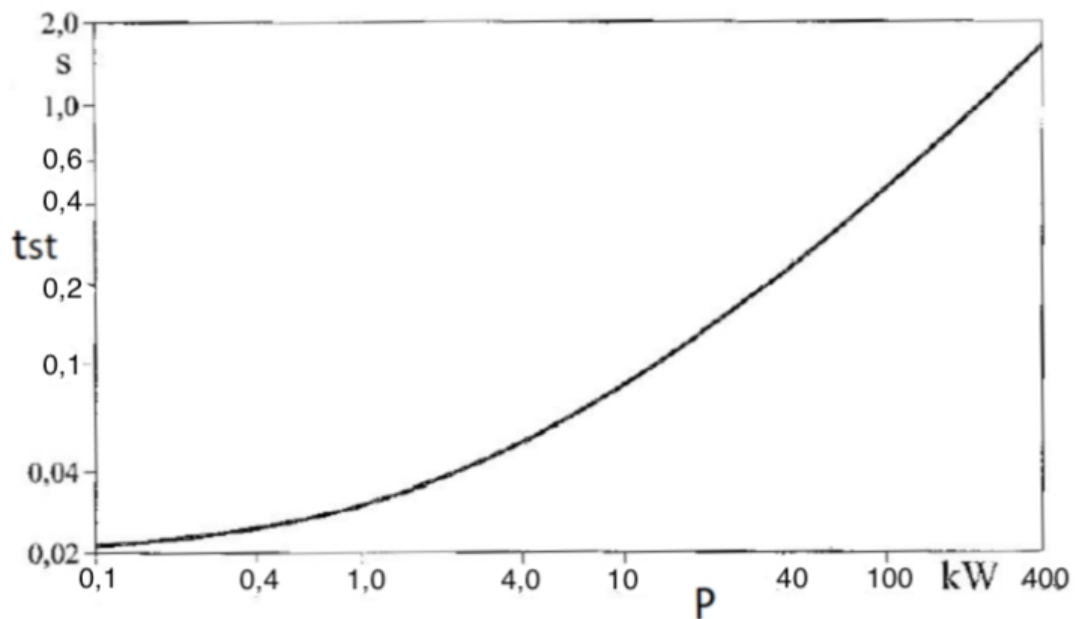
Το καλώδιο δεν πρέπει να υπερθερμανθεί πάνω από την επιτρεπόμενη θερμοκρασία του (Πίνακας 4.1) σε συνθήκες βραχυχρόνιας φόρτισης, δηλαδή, κατά τη διάρκεια εκκίνησης των κινητήρων. Βραχυχρόνια φόρτιση θεωρείται η συνθήκη κατά την οποία, η μέγιστη φόρτιση διαρκεί λιγότερο από ότι η χρονική σταθερά  $T$  του καλωδίου (Σχήμα 4.6). Το μέγιστο ρεύμα σε βραχυχρόνια λειτουργία  $I$  δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{I_N}{\sqrt{1 - e^{(-t_b/T)}}} \quad (4.10)$$

όπου:  $t_b$  = ο χρόνος εκκίνησης του κινητήρα (Σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.6: Χρονική σταθερά τριπολικών καλωδίων χαλκού [1]



Σχήμα 4.7: Χρόνος εκκίνησης κινητήρων ATK χωρίς φορτίο σε συνάρτηση με την ισχύ τους [2]

#### 4.5 Διαστασιολόγηση γραμμών και μέσων προστασίας

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική μελέτη των γραμμών αναχώρησης από τους υποπίνακες καθώς και επιλογή των μέσων ζεύξης και προστασίας των γραμμών. Γίνεται, επίσης, διαστασιολόγηση των οργάνων προστασίας των κινητήρων που τοποθετούνται στον τοπικό πίνακα

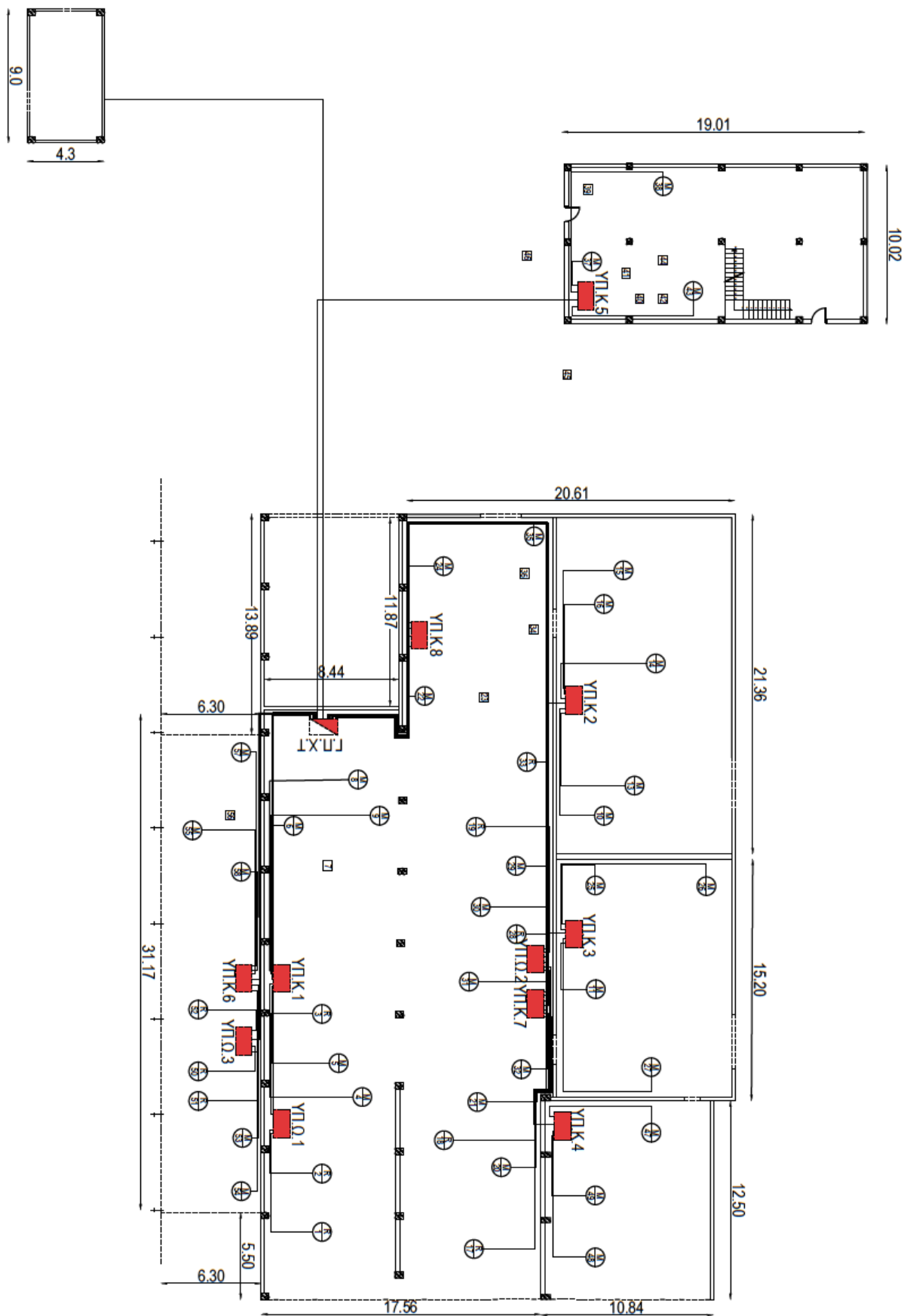
του εκάστοτε μηχανήματος.

Στο Σχήμα 4.8 έχουν αποτυπωθεί στην κάτοψη του κτηρίου οι ηλεκτρικές γραμμές που αναχωρούν από τους υποπίνακες κίνησης και ωμικών φορτίων και τροφοδοτούν τους αντίστοιχους τοπικούς πίνακες των μηχανημάτων.

Για τον υπολογισμό των διατομών των γραμμών, γίνεται ένας αρχικός αυθαίρετος καταμερισμός της συνολικής πτώσης τάσης στα επιμέρους τμήματα της εγκατάστασης ως εξής: 1% από το δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ έως τον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης και 1,5% της γραμμής από αυτόν έως τον κάθε υποπίνακα. Το διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για τις γραμμές διακλάδωσης των υποπινάκων είναι  $4\%-1\%-1,5\%=1,5\%$ . Μετά από τον οριστικό υπολογισμό των διατομών, θα υπολογίζεται η πραγματική πτώση τάσης στο εξεταζόμενο τμήμα και θα προσδιορίζεται εκ νέου το υπόλοιπο διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης.

Για τους αυτοματισμούς των κινητήρων στον τοπικό πίνακα αναχωρεί από τον αντίστοιχο υποπίνακα κίνησης καλώδιο A05VV-U3G1,5 και ασφαλίζεται με μικροαυτόματο διακόπτη ονομαστικής έντασης 10A, Χαρακτηριστικής B και κατηγορίας AC-20.

Στο Σχήμα 4.9 δίνεται το υπόμνημα των συμβόλων των μονογραμμικών διαγραμμάτων των υποπινάκων.



Σχήμα 4.8: Σχεδιασμός γραμμών στην κάτοψη των κτηρίων



Σχήμα 4.9: Υπόμνημα ηλεκτρικών συμβόλων μονογραμμικών διαγραμμάτων υποπινάκων

#### 4.5.1 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.1

Στον Πίνακα 4.5 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.5: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.1

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M4	10,3	7,1	5,3	1	23,7
Γ-M5	10,3	4,8	3,6	1	19,7
Γ-M6	10,3	9,3	0,9	1	21,5
Γ-M8	10,3	11,9	5	1	28,2
Γ-M9	10,3	9,5	6,2	1	27
Γ-ΥΠ.Κ.1	8,6	19,2	-	1	28,8

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M4

Ο κινητήρας, βάσει του Πίνακα 2.1 και του Πίνακα 4.1, πρέπει να εκκινεί με διακόπτη Υ/Δ, όπου (Σχέση 4.9):  $I_{A,Y/\Delta} = 77 / 3 = 25,7A$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα τρία πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n = 0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0 = 0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και



τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{11}{0,87 * 0,78} = 16,2A$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=1,5mm^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=18,5A$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R' = \frac{\rho}{q} = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 2.1 και τον Πίνακα 4.5 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * I * Y' * I \frac{\cos \varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 23,7 * 0,01333 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0298 \quad \text{ή } u\% = 2,98\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=2,5mm^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=25A$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R' = \frac{\rho}{q} = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 2.1 και τον Πίνακα 4.5 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * I * Y' * I \frac{\cos \varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 23,7 * 0,008 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0179 \quad \text{ή } u\% = 1,79\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=4mm^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=34A$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R' = \frac{\rho}{q} = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 2.1 και τον Πίνακα 4.5 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * I * Y' * I \frac{\cos \varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 23,7 * 0,005 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0112 \quad \text{ή } u\% = 1,12\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G4. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 17mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

$$D_x > 1,35 * 17 = 22,95mm$$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 25A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 6,3Α-10Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα
- $I_{th} = 11 / \sqrt{3} = 6,35\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M5

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 77 / 3 = 25,7\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{11}{0,87 * 0,78} = 16,2\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 1,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 19,7 * 0,01333 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0248 \quad \text{ή } u\% = 2,48\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 19,7 * 0,008 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0149 \quad \text{ή } u\% = 1,49\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 25Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)

- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 6,3A-10A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th}= 11 / \sqrt{3} = 6,35A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M6

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=350 / 3=116,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{54,7}{0,87 * 0,77} = 81,6A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=25mm^2$

$$R' = \frac{0,02}{25} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 92 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 8 \cdot 10^{-4} + 0,92 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,86)) = 8,55 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 21,5 * 0,000855 * 116,7 \frac{0,86}{400} = 0,0079 \quad \text{ή } u\% = 0,79\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G25+16.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 27mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 27 = 36,45mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 80A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 60A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 22A-32A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 54,7 / \sqrt{3} = 31,58A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 63A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M8

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=162,6 / 3=54,2A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{21,4}{0,87 \cdot 0,77} = 31,9A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 28,2 \cdot 0,005 \cdot 54,2 \frac{0,84}{400} = 0,0277 \quad \text{ή } u\% = 2,77\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6mm^2$ .

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 28,2 \cdot 0,00333 \cdot 54,2 \frac{0,84}{400} = 0,0185 \quad \text{ή } u\% = 1,85\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=10mm^2$ .

$$Y'=R' = \frac{0,02}{10} \Omega/m = 2 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 28,2 \cdot 0,002 \cdot 54,2 \frac{0,84}{400} = 0,0111 \quad \text{ή } u\% = 1,11\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G10.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 20mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_s > 1,35 \cdot 20 = 27mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 30A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 8A-12,5A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{\text{th}} = 21,4 / 3 = 12,35A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M9

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=113,2 / 3=37,7\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4)

$$I_b = \frac{14,7}{0,87 \cdot 0,77} = 21,9\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 27 \cdot 0,008 \cdot 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0299 \quad \text{ή } u\% = 2,99\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4\text{mm}^2$ .

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 27 \cdot 0,005 \cdot 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0187 \quad \text{ή } u\% = 1,87\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 27 \cdot 0,005 \cdot 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0124 \quad \text{ή } u\% = 1,24\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_s > 1,35 \cdot 18 = 24,3\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 8A-12,5A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 14,7 / \sqrt{3} = 8,48\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 25A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.1

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{46800}{\sqrt{3} * 400 * 0,853} = 79,2 \text{ A}$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα τέσσερα πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{79,2}{0,87 * 0,77} = 118,2 \text{ A}$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=35\text{mm}^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=126\text{A}$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,51% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{35} \Omega/m = 5,71 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 87 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 5,71 \cdot 10^{-4} + 0,87 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,853)) = 6,24 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας:

$I=116,7+(11+11+21,4+14,7)*0,7=157,4\text{A}$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l * Y' * P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos\varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 28,8 * 0,000624 * 157,4 \frac{0,853}{400} = 0,0104 \quad \text{ή}$$

$$u\%=1,04\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G35+16. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 26mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

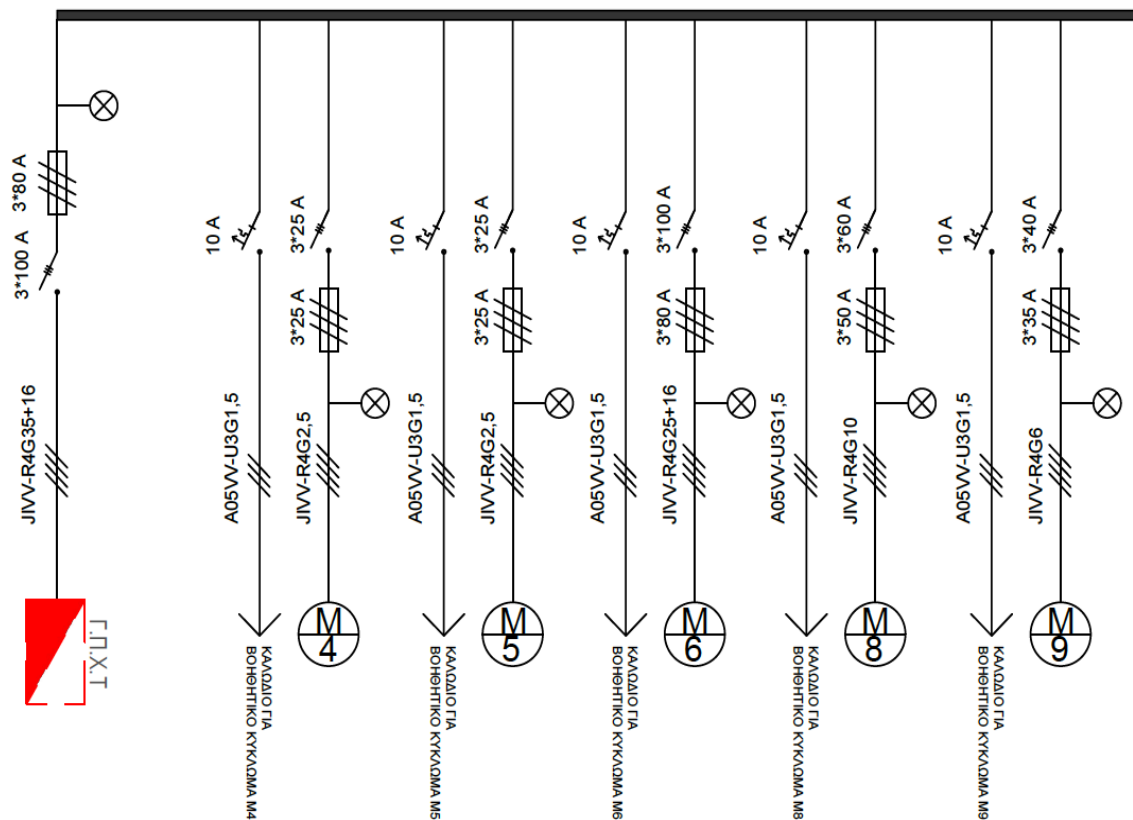
$$D_x > 1,35 * 26 = 35,1 \text{ mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 80A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 100A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.10: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.1

#### 4.5.2 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.2

Στον Πίνακα 4.6 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.6: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.2

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M10	10,3	6,7	2,2	1	20,2
Γ-M13	10,3	4,6	4	1	19,9
Γ-M14	10,3	2,2	5,4	1	18,9
Γ-M15	10,3	7,4	3,2	1	21,9
Γ-M16	10,3	5,7	1,9	1	18,9
Γ-ΥΠ.Κ.2	8,6	39,9	-	1	49,5

Διαστασιολόγηση γραμμής κινήτρια Μ10

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=219,4 / 3=73,1A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{28,5}{0,87*0,86} = 38,1A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 20,2 * 0,00333 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0180 \quad \text{ή } u\%=1,80\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=10mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{10} \Omega/m = 2 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 20,2 * 0,002 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0108 \quad \text{ή } u\%=1,08\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G10.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 20mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_s > 1,35 * 20 = 27mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 30A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 16A-25A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 28,5 / \sqrt{3} = 16,45A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M13

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=653,2 / 3=217,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{97,5}{0,87*0,86} = 130,3A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=50mm^2$



$$R' = \frac{0,02}{50} \Omega/m = 4 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 82 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 4 \cdot 10^{-4} + 0,82 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,87)) = 4,46 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 19,9 * 0,000446 * 217,7 \frac{0,87}{400} = 0,0072 \quad \text{ή } u\% = 0,72\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G50+25.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 31mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 31 = 41,85\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 125A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 110A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 50A-63A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 97,5 / \sqrt{3} = 56,29\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 100A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M14

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 60,2 / 3 = 20,1\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,80$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta} = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{8,6}{0,87 * 0,80} = 12,4\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 1,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 18,9 * 0,01333 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0175 \quad \text{ή } u\% = 1,75\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 18,9 * 0,008 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0105 \quad \text{ή } u\% = 1,05\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 20Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 4Α-6,3Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 8,6 / \sqrt{3} = 4,96\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M15

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 60,2 / 3 = 20,1\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,80$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta} = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{8,6}{0,87 * 0,80} = 12,4\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 1,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 21,9 * 0,01333 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0203 \quad \text{ή } u\% = 2,03\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 21,9 * 0,008 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0121 \quad \text{ή } u\% = 1,21\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 20Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 4Α-6,3Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 8,6 / \sqrt{3} = 4,96\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M16

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=60,2 / 3=20,1\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,80$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{8,6}{0,87 \cdot 0,80} = 12,4\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 18,9 \cdot 0,01333 \cdot 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0175 \quad \text{ή } u\%=1,75\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 18,9 \cdot 0,008 \cdot 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0105 \quad \text{ή } u\%=1,05\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλβοδοσολήγων:  $D_x > 1,35 \cdot 14 = 18,9\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 20Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 4Α-6,3Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 8,6 / \sqrt{3} = 4,96A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.2

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{63000}{\sqrt{3} * 400 * 0,855} = 106,4 A$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα έξι πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,75$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{106,4}{0,87 * 0,75} = 163,1A$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=70\text{mm}^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=196A$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,79% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{70} \Omega/m = 2,85 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 80 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 2,85 \cdot 10^{-4} + 0,8 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,855)) = 3,33 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας,

$I=217,7+(28,5+8,6+8,6+8,6)*0,7=255,7A$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l * Y' * P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos\varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 49,5 * 0,000333 * 255,7 \frac{0,855}{400} = 0,0156 \quad \text{ή}$$

$$u\%=1,56\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G70+35. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 32mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

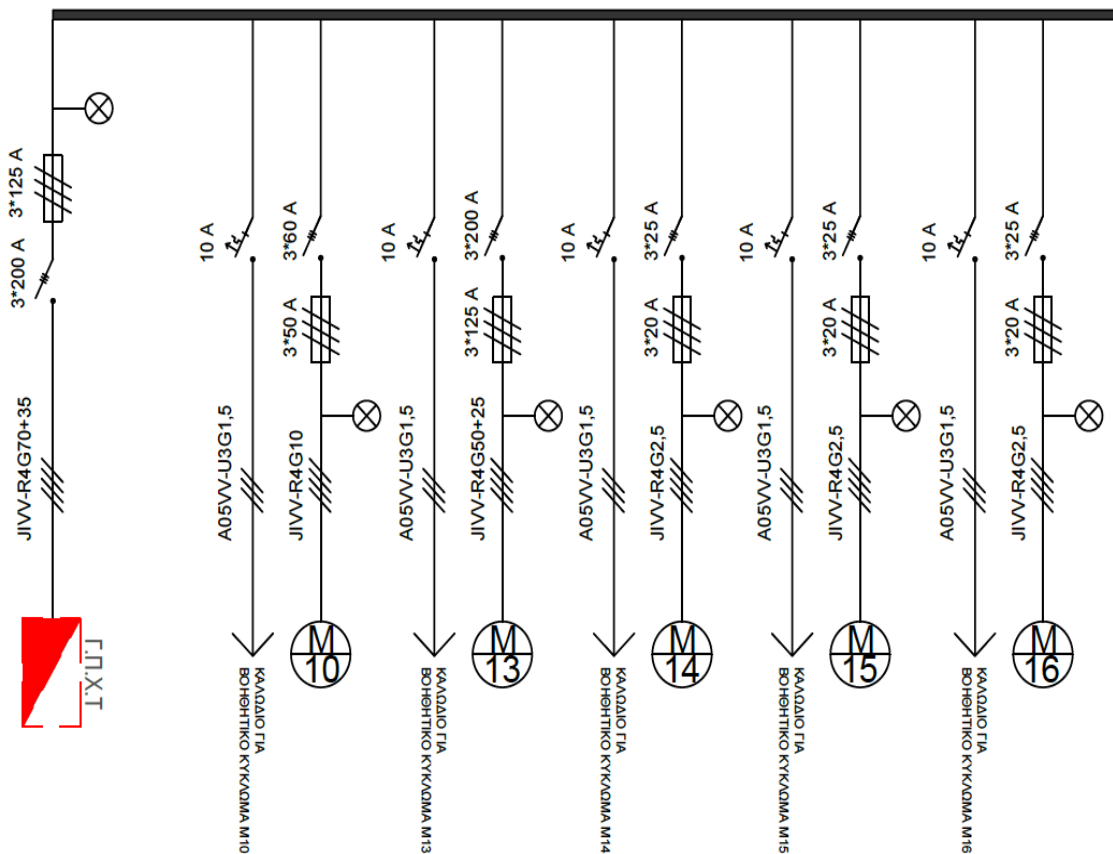
$$D_x > 1,35 \cdot 32 = 43,2 \text{ mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 125Α
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 160Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.11: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.2

#### 4.5.3 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.3

Στον Πίνακα 4.7 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.7: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.3

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M11	10,3	2,9	1,6	1	15,8
Γ-M25	10,3	5,8	0,7	1	17,8
Γ-M26	10,3	13,3	0,8	1	25,4
Γ-M27	10,3	15,1	0,9	1	27,3
Γ-ΥΠ.Κ.3	8,6	55	-	1	64,6

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M11

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=449,5 / 3=149,8A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{67,1}{0,87 \cdot 0,86} = 89,7A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=25mm^2$

$$R' = \frac{0,02}{25} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 92 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 8 \cdot 10^{-4} + 0,92 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,86)) = 8,55 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 15,8 \cdot 0,000855 \cdot 149,8 \frac{0,86}{400} = 0,0076 \quad \text{ή } u\% = 0,76\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G25+16.

Έλεγχος διατομής σε βραχυχρόνια φόρτιση κατά την εκκίνηση:

- $t_b = 0,2s$  (Σχήμα 4.7)
- $T=400$  (Σχήμα 4.6)
- $$I = \frac{I_N}{\sqrt{1 - e^{(-t_b/T)}}} = \frac{67,1}{\sqrt{1 - e^{(-0,2/400)}}} = 3001,2 A \quad (\text{Σχέση 4.10})$$

Το καλώδιο αντέχει την ψυχρή εκκίνηση καθώς  $I_{εκκ}=149,8A < 3001,2$ . Με παρόμοιο τρόπο γίνεται έλεγχος και στα υπόλοιπα κυκλώματα διακλάδωσης.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 27mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_s > 1,35 \cdot 27 = 36,45mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 100Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 90Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 36Α-50Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 67,1 / \sqrt{3} = 38,74\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 80Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M25

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 162,6 / 3 = 54,2\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{21,4}{0,87 * 0,86} = 28,6\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 4\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{4} \Omega / m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega / m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 17,8 * 0,005 * 54,2 \frac{0,84}{400} = 0,0175 \quad \text{ή } u\% = 1,75\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 6\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{6} \Omega / m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega / m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 17,8 * 0,00333 * 54,2 \frac{0,84}{400} = 0,0070 \quad \text{ή } u\% = 1,16\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 18 = 24,3\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 30Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 10Α-16Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 21,4 / \sqrt{3} = 12,35\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M26

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 113,2 / 3 = 37,7\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0 = 0,87$  (Πίνακας Π.4). "

$$I'_b = \frac{14,7}{0,87 \cdot 0,86} = 19,6\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 25,4 \cdot 0,008 \cdot 37,7 \cdot \frac{0,85}{400} = 0,0281 \quad \text{ή } u\% = 2,81\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 4\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 25,4 \cdot 0,005 \cdot 37,7 \cdot \frac{0,85}{400} = 0,0176 \quad \text{ή } u\% = 1,76\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 6\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 25,4 \cdot 0,00333 \cdot 37,7 \cdot \frac{0,85}{400} = 0,0111 \quad \text{ή } u\% = 1,11\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 18 = 24,3\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:



- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 8Α-12,5Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 14,7 / \sqrt{3} = 8,48A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 25Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M27

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 77 / 3 = 25,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{11}{0,87 * 0,86} = 14,7A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 1,5mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 27,3 * 0,01333 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0344 \quad \text{ή } u\% = 3,44\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 27,3 * 0,008 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0206 \quad \text{ή } u\% = 2,06\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 4mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 27,3 * 0,005 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0129 \quad \text{ή } u\% = 1,29\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G4

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 17 = 22,95mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 25Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 6,3Α-10Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα
- $I_{th} = 11 / \sqrt{3} = 6,35A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.3

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{54100}{\sqrt{3} * 400 * 0,854} = 91,4 A$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα επτά πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{91,4}{0,87 * 0,74} = 142A$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=50mm^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=153A$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,71% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{50} \Omega/m = 4 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 82 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 4 \cdot 10^{-4} + 0,82 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,854)) = 4,49 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας,  $I=149,8+(21,4+14,7+11)*0,8=187,5A$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l * Y' * P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos\varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 64,6 * 0,000449 * 187,5 \frac{0,854}{400} = 0,0201 \quad \text{ή}$$

$$u\% = 2,01\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=70mm^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=196A$ , Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{70} \Omega/m = 2,85 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 80 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 2,85 \cdot 10^{-4} + 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,854)) = 3,34 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 4.7 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας, θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} \cdot 64,6 \cdot 0,000334 \cdot 187,5 \frac{0,854}{400} = 0,0149 \quad \text{ή } u\% = 1,49\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JIVV-R4G70+35. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 32mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλβοδοσωλήνων πρέπει να είναι:

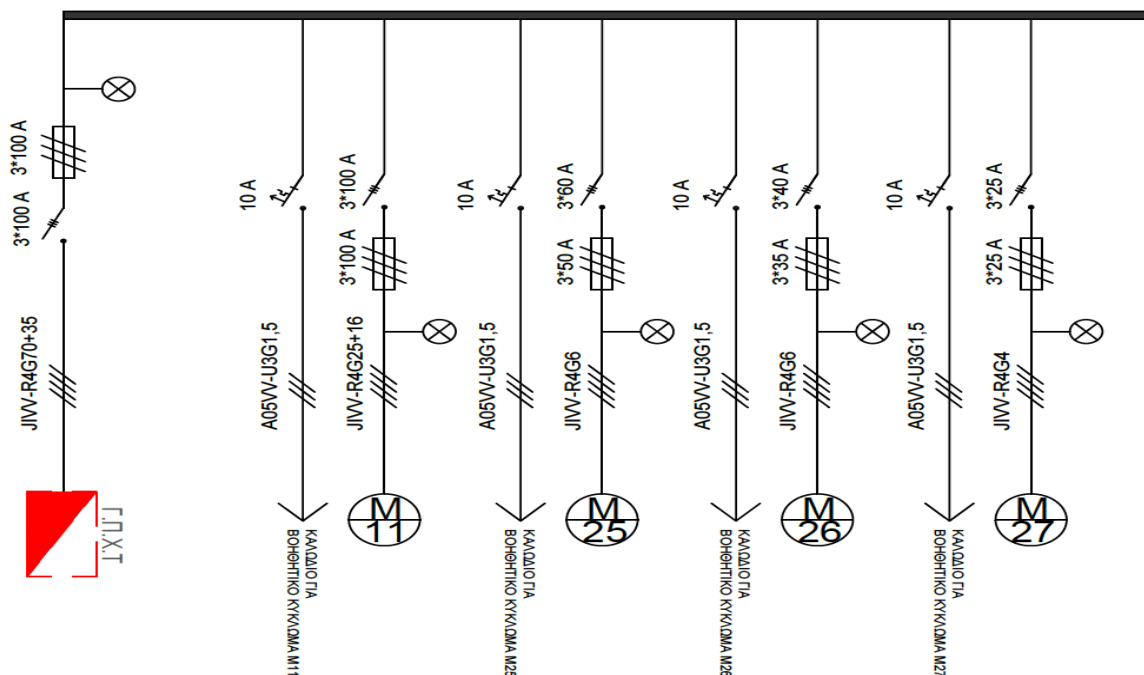
$$D_x > 1,35 \cdot 32 = 43,2 \text{ mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 100Α
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 125Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.12: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.3

#### 4.5.4 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.4

Στον Πίνακα 4.8 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.8: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.4

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M47	10,3	7	1,1	1	19,4
Γ-M48	10,3	3,8	2,2	1	17,3
Γ-M49	10,3	8	2,1	1	21,4
Γ-ΥΠ.Κ.4	8,6	67,5	-	1	77,1

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M47

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=219,4 / 3=73,1A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=1,00$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{28,5}{0,87 * 1,00} = 32,8A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 19,4 * 0,005 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0260 \quad \text{ή } u\% = 2,60\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 19,4 * 0,00333 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0173 \quad \text{ή } u\% = 1,73\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=10mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{10} \Omega/m = 2 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 19,4 * 0,002 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0104 \quad \text{ή } u\% = 1,04\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G10

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 20mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_s > 1,35 * 20 = 27mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 30Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 16Α-25Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 28,5 / \sqrt{3} = 16,45A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M48

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 261,7 / 3 = 87,2A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{40,9}{0,87 * 0,86} = 54,7A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 10mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{10} \Omega / m = 2 \cdot 10^{-3} \Omega / m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 17,3 * 0,002 * 87,2 \frac{0,85}{400} = 0,0111 \quad \text{ή } u\% = 1,11\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G10.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 20mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 20 = 27mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 63Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 60Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 16Α-25Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα

$$I_{th} = 40,9 / \sqrt{3} = 23,61A \text{ (Σχέση 4.8)}$$

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M49

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=162,6 / 3=54,2A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{21,4}{0,87 \cdot 0,86} = 28,6A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 21,4 \cdot 0,005 \cdot 54,2 \cdot \frac{0,84}{400} = 0,0210 \quad \text{ή } u\%=2,10\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 21,4 \cdot 0,00333 \cdot 54,2 \cdot \frac{0,84}{400} = 0,0140 \quad \text{ή } u\%=1,40\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 18 = 24,3mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 30A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 10A-16A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 21,4 / \sqrt{3} = 12,35A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.4

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{48000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,847} = 81,8 \text{ A}$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα επτά πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta \cdot f_n} = \frac{81,8}{0,87 \cdot 0,74} = 127 \text{ A}$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=50\text{mm}^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=153\text{A}$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,6% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{50} \Omega/m = 4 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 82 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 4 \cdot 10^{-4} + 0,82 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,847)) = 4,51 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας,  $I=87,2+(28,5+21,4) \cdot 0,9=132,1\text{A}$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l \cdot Y' \cdot P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} \cdot l \cdot Y' \cdot I \frac{\cos \varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 77,1 \cdot 0,000451 \cdot 132,1 \cdot \frac{0,847}{400} = 0,0168 \quad \text{ή}$$

$$u\% = 1,68\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=70\text{mm}^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=196\text{A}$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{70} \Omega/m = 2,85 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 80 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 2,85 \cdot 10^{-4} + 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,847)) = 3,35 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 4.8 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας, θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 77,1 \cdot 0,000335 \cdot 132,1 \cdot \frac{0,847}{400} = 0,0125 \quad \text{ή } u\% = 1,25\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-

R4G70+35. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 32mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

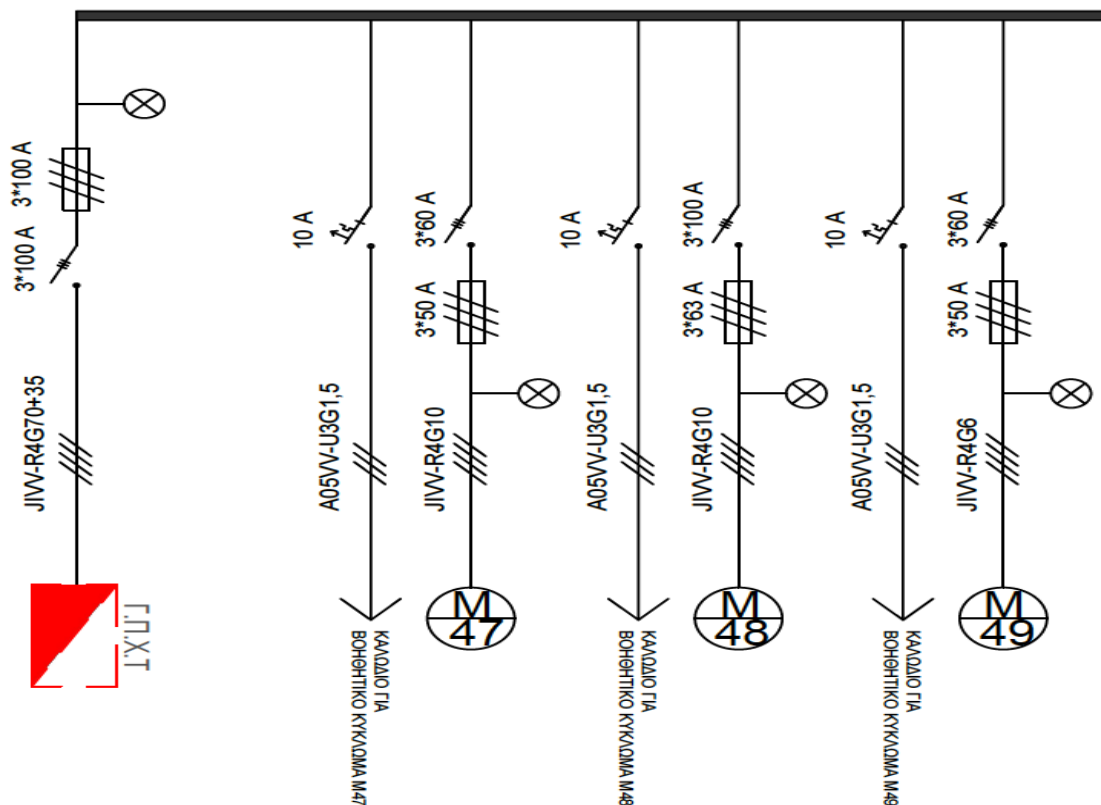
$$D_x > 1,35 \cdot 32 = 43,2 \text{ mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 100Α
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 125Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.13: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.4

#### 4.5.5 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.5

Στον Πίνακα 4.9 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.



Πίνακας 4.9: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.5

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M37	10,3	1,5	0,7	1	13,5
Γ-M38	10,3	13,4	0,3	1	25
Γ-M43	10,3	8,2	1	1	20,5
Γ-ΥΠ.Κ.5					47,1

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M37

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=77 / 3=25,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I_b' = \frac{11}{0,87*0,86} = 14,7A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 13,5 * 0,01333 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0170 \quad \text{ή } u\%=1,70\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 13,5 * 0,008 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0102 \quad \text{ή } u\%=1,02\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 20A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)

- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 6,3A-10A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα
- $I_{th} = 11 / \sqrt{3} = 6,35A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 16A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M38

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 60,2 / 3 = 20,1A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I_b = \frac{8,6}{0,87 * 0,86} = 11,5A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 1,5mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 25 * 0,01333 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0232 \quad \text{ή } u\% = 2,32\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 25 * 0,008 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0139 \quad \text{ή } u\% = 1,39\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 20A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 4A-6,3A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  
 $I_{th} = 8,6 / \sqrt{3} = 4,96A$  (Σχέση 4.8)

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M43

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=60,2 / 3=20,1\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=1,00$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Έτσι σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I_b = \frac{8,6}{0,87 * 1,00} = 9,9\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 20,5 * 0,01333 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0190 \quad \text{ή } u\%=1,90\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 20,5 * 0,008 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0114 \quad \text{ή } u\%=1,14\%$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 20Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 4Α-6,3Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 8,6 / \sqrt{3} = 4,96\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 16Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.5

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{14500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,82} = 25,5 \text{ A}$$

Το καλώδιο βρίσκεται μόνο του σε σωλήνα μέσα στο έδαφος και έτσι λαμβάνεται  $f_i=1$ ,  $f_0=0,95$  (Πίνακας Π.5) και  $f_c=1,18$  (Πίνακας Π.6). Σύμφωνα με τη Σχέση 4.2 είναι:

$$I_b = \frac{I_N}{f_0 \cdot f_c \cdot f_i} = \frac{25,5}{0,95 \cdot 1,18 \cdot 1} = 22,7 \text{ A}$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=2,5 \text{ mm}^2$  (Πίνακας Π.3) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=29 \text{ A}$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,61% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας,  $I=25,7+(8,6+8,6) \cdot 0,9=41,2 \text{ A}$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l \cdot Y' \cdot P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} \cdot l \cdot Y' \cdot I \frac{\cos \varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 47,1 \cdot 0,008 \cdot 41,2 \frac{0,82}{400} = 0,0551 \quad \text{ή } u\%=5,51\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=4 \text{ mm}^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=38 \text{ A}$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 4.9 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας, θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 47,1 \cdot 0,005 \cdot 41,2 \frac{0,82}{400} = 0,0344 \quad \text{ή } u\%=3,44\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=6 \text{ mm}^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=47 \text{ A}$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 4.9 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας, θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 47,1 \cdot 0,00333 \cdot 41,2 \frac{0,82}{400} = 0,0229 \quad \text{ή } u\%=2,29\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή

$q=10\text{mm}^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=63\text{A}$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R'=\frac{0,02}{10}\Omega/m=2\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 4.9 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας, θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 47,1\cdot 0,002\cdot 41,2\frac{0,82}{400}=0,0137 \quad \text{ή } u\%=1,37\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G10.

Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 20mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των σωλήνων πρέπει να είναι:

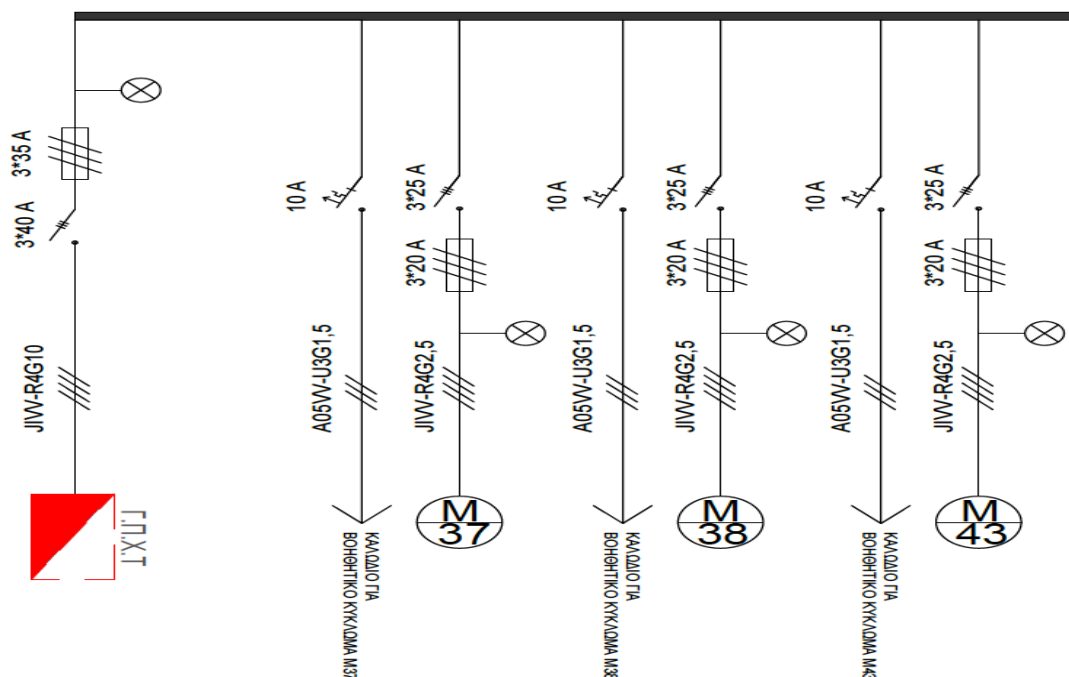
$$D_s>1,35\cdot 20=27\text{mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 35A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 50A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.14: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.5

#### 4.5.6 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.6

Στον Πίνακα 4.10 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.10: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.6

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M53	10,3	9,6	0,5	1	21,4
Γ-M54	10,3	12,6	0,5	1	24,4
Γ-M55	10,3	9	3,4	1	23,7
Γ-M57	10,3	13,4	0,4	1	25,1
Γ-M58	10,3	6,2	0,5	1	18
Γ-ΥΠ.Κ.6	8,6	20	-	1	29,6

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M53

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=113,2 / 3=37,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{14,7}{0,87 * 0,78} = 21,7A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 21,4 * 0,008 * 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0237 \quad \text{ή } u\%=2,37\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 21,4 * 0,005 * 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0148 \quad \text{ή } u\%=1,48\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G4.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 17 = 22.95mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 35A

- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 8Α-12,5Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 14,7 / \sqrt{3} = 8,48A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 25Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M54

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 113,2 / 3 = 37,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{14,7}{0,87 * 0,78} = 21,7A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 24,4 * 0,008 * 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0270 \quad \text{ή } u\% = 2,70\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 4mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 24,4 * 0,005 * 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0169 \quad \text{ή } u\% = 1,69\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 6mm^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 24,4 * 0,00333 * 37,7 \frac{0,85}{400} = 0,0112 \quad \text{ή } u\% = 1,12\%$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδосωλήνων:  $D_s > 1,35 * 18 = 24,3mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35Α

- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 8A-12,5A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 14,7 / \sqrt{3} = 8,48A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 25A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M55

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 449,5 / 3 = 149,8A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{67,1}{0,87 * 0,77} = 100,2A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 25mm^2$

$$R' = \frac{0,02}{25} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 92 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 8 \cdot 10^{-4} + 0,92 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,86)) = 8,55 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 23,7 * 0,000855 * 149,8 \frac{0,86}{400} = 0,0113 \quad \text{ή } u\% = 1,13\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G25+16.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 27mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 27 = 36,45mm$ :

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 100A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 90A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 36A-50A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα



$$I_{th} = 67,1 / \sqrt{3} = 38,74A \text{ (Σχέση 4.8)}$$

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 80Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M57

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=219,4 / 3=73,1A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{28,5}{0,87 * 0,77} = 42,5A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 25,1 * 0,00333 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0224 \text{ ή } u\% = 2,24\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=10mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{10} \Omega/m = 2 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 25,1 * 0,002 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0135 \text{ ή } u\% = 1,35\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G10.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 20mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 20 = 27mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 30Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 16Α-25Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 28,5 / \sqrt{3} = 16,45A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M58

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=219,4 / 3=73,1A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{28,5}{0,87 * 0,77} = 42,5A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 18 * 0,00333 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0161 \quad \text{ή } u\%=2,24\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=10mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{10} \Omega/m = 2 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 18 * 0,002 * 73,1 \frac{0,85}{400} = 0,0096 \quad \text{ή } u\%=0,96\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G10.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 20mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_s > 1,35 * 20 = 27mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 30A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 16A-25A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 28,5 / \sqrt{3} = 16,45A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.6

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{63700}{\sqrt{3} * 400 * 0,854} = 107,7 A$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα τέσσερα πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική

σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{107,7}{0,87 \cdot 0,77} = 160,8A$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=70\text{mm}^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=196A$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,52% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{70} \Omega/m = 2,85 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 80 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 2,85 \cdot 10^{-4} + 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,854)) = 3,34 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας,

$I=149,8+(14,7+14,7+28,5+28,5) \cdot 0,7=210,3A$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l \cdot Y' \cdot P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} \cdot l \cdot Y' \cdot I \frac{\cos \varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 29,6 \cdot 0,000334 \cdot 210,3 \frac{0,854}{400} = 0,0077 \quad \text{ή}$$

$$u\% = 0,77\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G70+35. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 32mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

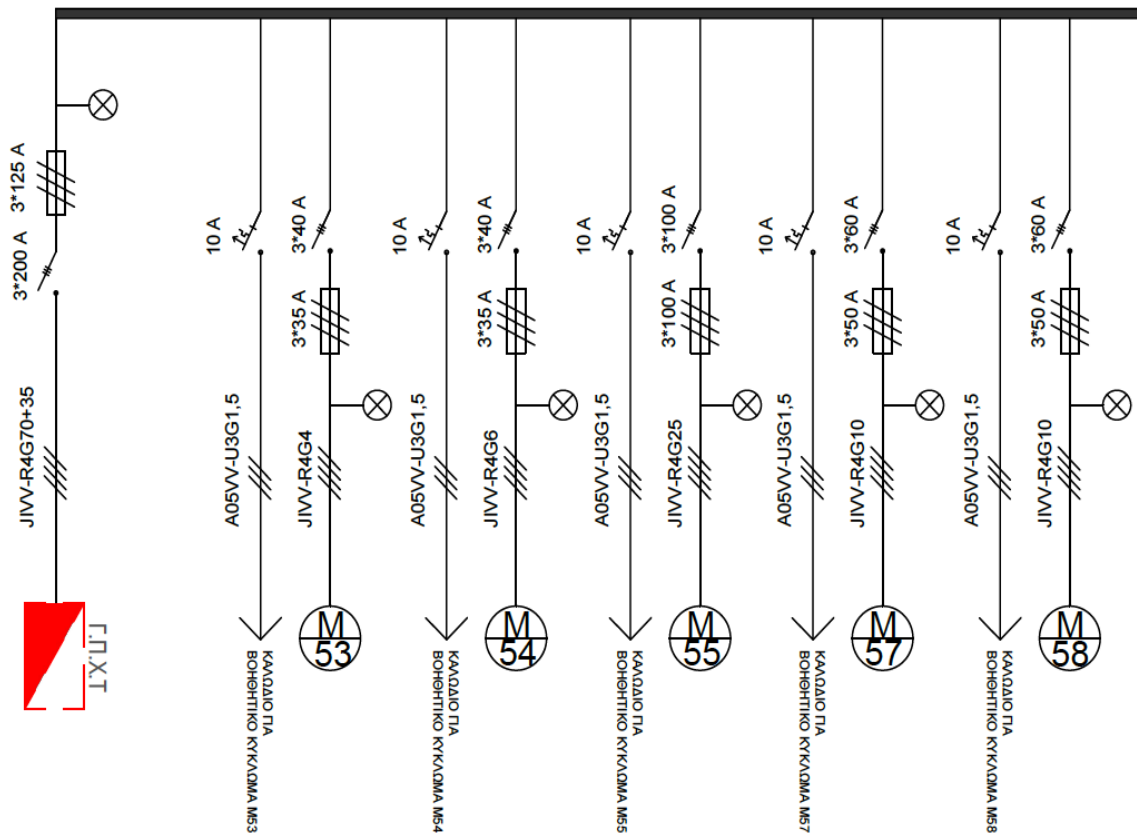
$$D_x > 1,35 \cdot 32 = 43,2\text{mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 125A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200A και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 160A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200A και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.15: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.6

#### 4.5.7 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.7

Στον Πίνακα 4.11 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.11: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.7

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M20	10,3	10,5	1,6	1	23,4
Γ-M21	10,3	6,3	3,2	1	20,8
Γ-M29	10,3	7,9	1,5	1	20,7
Γ-M30	10,3	5,6	3,6	1	20,5
Γ-M31	10,3	1,2	4,4	1	16,9
Γ-M32	10,3	3,7	1	1	16
Γ-ΥΠ.Κ.7	8,6	58,3	-	1	67,9

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M20

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=77 / 3=25,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,76$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{11}{0,87 * 0,76} = 16,6A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 23,4 * 0,01333 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0295 \quad \text{ή } u\%=2,95\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 23,4 * 0,008 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0177 \quad \text{ή } u\%=1,77\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 23,4 * 0,005 * 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0110 \quad \text{ή } u\%=1,10\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G4.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδосωλήνων:  $D_x > 1,35 * 17 = 22.95mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας aM και ονομαστικής έντασης 25A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 6,3A-10A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα
- $I_{th} = 11 / \sqrt{3} = 6,35A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας aM και ονομαστικής έντασης 16A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M21

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=77 / 3=25,7A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,76$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{11}{0,87 \cdot 0,76} = 16,6A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 20,8 \cdot 0,01333 \cdot 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0262 \quad \text{ή } u\%=2,62\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 20,8 \cdot 0,008 \cdot 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0157 \quad \text{ή } u\%=1,57\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 20,8 \cdot 0,005 \cdot 25,7 \frac{0,85}{400} = 0,0098 \quad \text{ή } u\%=0,98\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G4.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 17 = 22.95mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας aM και ονομαστικής έντασης 25A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 6,3A-10A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα
- $I_{th} = 11 / \sqrt{3} = 6,35A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας aM και ονομαστικής έντασης 16A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M29

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=60,2 / 3=20,1\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{8,6}{0,87 * 0,74} = 13,4\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 20,7 * 0,01333 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0192 \quad \text{ή } u\%=1,92\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 20,7 * 0,008 * 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0115 \quad \text{ή } u\%=1,15\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδосωλήνων:  $D_s > 1,35 * 14 = 18,9\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 20A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 4A-6,3A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 8,6 / \sqrt{3} = 4,96\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 16A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M30

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=113,2 / 3=37,7\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{14,7}{0,87 * 0,74} = 22,8\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{2,5}\Omega/m=8\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi}=\sqrt{3}\cdot 20,5\cdot 0,008\cdot 37,7\frac{0,85}{400}=0,0227 \quad \text{ή } u\%=2,27\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{4}\Omega/m=5\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi}=\sqrt{3}\cdot 20,5\cdot 0,005\cdot 37,7\frac{0,85}{400}=0,0142 \quad \text{ή } u\%=1,42\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G4.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x>1,35\cdot 17=22.95\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Y/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 8A-12,5A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th}=14,7/\sqrt{3}=8,48\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 25A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M31

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=261,7/3=87,2\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,75$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b=\frac{40,9}{0,87\cdot 0,75}=62,7\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=16\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{16}\Omega/m=1,25\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi}=\sqrt{3}\cdot 16,9\cdot 0,00125\cdot 87,2\frac{0,85}{400}=0,0068 \quad \text{ή } u\%=0,68\%, \text{ αποδεκτή}$$



Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G16.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 22mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 22 = 29,7 \text{ mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 63A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 60A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 16A-25A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 40,9 / \sqrt{3} = 23,61 \text{ A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M32

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 60,2 / 3 = 20,1 \text{ A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,76$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{8,6}{0,87 \cdot 0,76} = 13 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 1,5 \text{ mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega / m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega / m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 16 \cdot 0,01333 \cdot 20,1 \frac{0,80}{400} = 0,0148 \quad \text{ή } u\% = 1,48\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G1,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 13mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 13 = 17,55 \text{ mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 20A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 22A, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας

Π.13)

- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 4A-6,3A (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 8,6 / \sqrt{3} = 4,96A$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αM και ονομαστικής έντασης 16A (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.7

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{33200}{\sqrt{3} * 400 * 0,841} = 57A$$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{57}{0,87 * 0,74} = 88,5A$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=25mm^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=101A$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,52% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{25} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 92 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 8 \cdot 10^{-4} + 0,92 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,841)) = 8,59 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας,

$I=87,2+(11+11+8,6+14,7+8,6)*0,6=119,5A$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l * Y' * P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos\varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 67,9 * 0,000859 * 119,5 \frac{0,841}{400} = 0,0253 \quad \text{ή}$$

$$u\% = 2,53\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=35mm^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=126A$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{35} \Omega/m = 5,71 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 87 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 5,71 \cdot 10^{-4} + 0,87 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,841)) = 6,27 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 4.11 η πτώση τάσης στη γραμμή

τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 67,9 * 0,000627 * 119,5 \frac{0,841}{400} = 0,0185 \quad \text{ή } u\% = 1,85\%$$

Η διατομή των αγωγών δεν γίνεται αποδεκτή, οπότε επιλέγεται η επόμενη τυποποιημένη διατομή  $q=50\text{mm}^2$  με ρεύμα αναφοράς  $I_0=153\text{A}$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{50} \Omega/m = 4 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 82 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 4 \cdot 10^{-4} + 0,82 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,841)) = 4,53 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 4.11 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 67,9 * 0,000453 * 119,5 \frac{0,841}{400} = 0,0133 \quad \text{ή } u\% = 1,33\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G50+25. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 31mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβοδοσολήνων πρέπει να είναι:

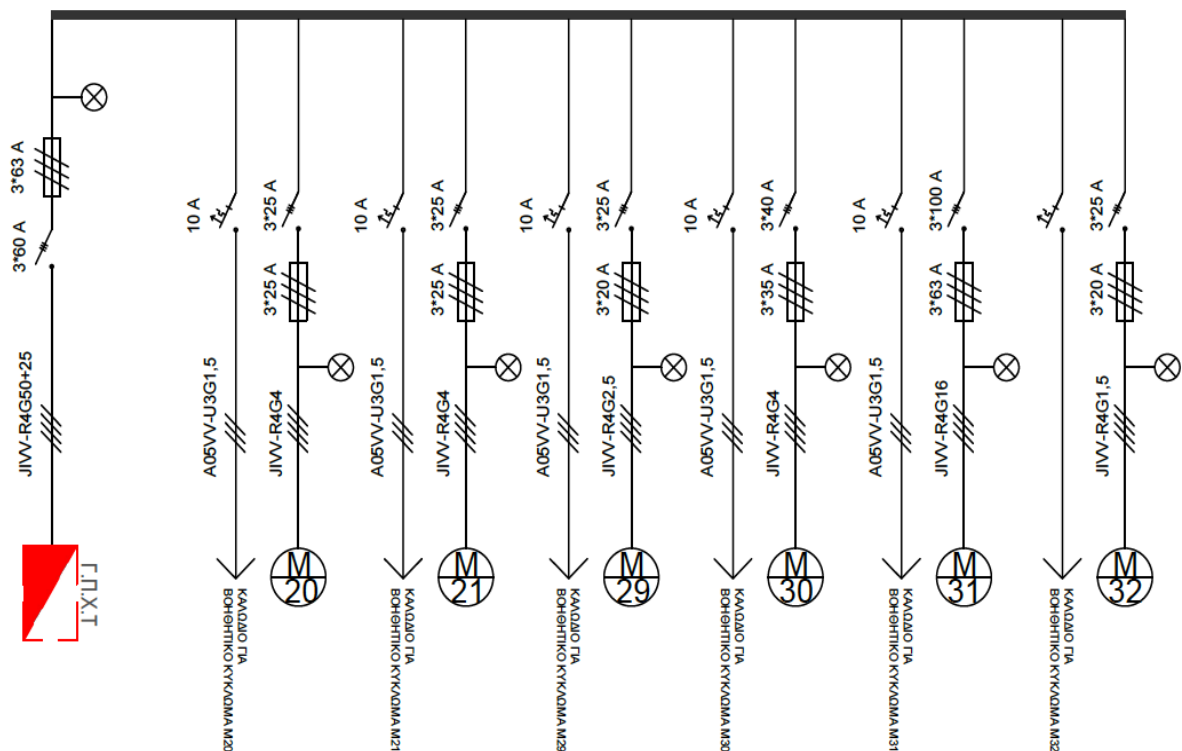
$$D_x > 1,35 * 31 = 41,85\text{mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 63A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 80A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.16: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.7

#### 4.5.8 Υποπίνακας κίνησης ΥΠ.Κ.8

Στον Πίνακα 4.12 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.12: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Κ.8

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-M22	10,3	3,1	0,5	1	14,9
Γ-M24	10,3	3,9	1,6	1	16,8
Γ-M35	10,3	14,2	0,3	1	25,8
Γ-ΥΠ.Κ.8	8,6	12,5	-	1	22,1

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M22

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta}=449,5 / 3=149,8A$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,75$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{67,1}{0,87 \cdot 0,75} = 102,9 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=35 \text{ mm}^2$

$$R' = \frac{0,02}{35} \Omega/m = 5,71 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 87 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 5,71 \cdot 10^{-4} + 0,87 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,86)) = 6,22 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 23,7 \cdot 0,000622 \cdot 149,8 \frac{0,86}{400} = 0,0082 \quad \text{ή } u\% = 0,82\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G35+16.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 26mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_s > 1,35 \cdot 26 = 35,1 \text{ mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 100Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 90Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 36Α-50Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 67,1 / \sqrt{3} = 38,74 \text{ A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 80Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M24

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 162,6 / 3 = 54,2 \text{ A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,75$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{21,4}{0,87 \cdot 0,75} = 32,8 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4 \text{ mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 16,8 \cdot 0,005 \cdot 54,2 \frac{0,84}{400} = 0,0165 \quad \text{ή } u\% = 1,65\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6 \text{ mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{6}\Omega/m=3,33\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 16,8\cdot 0,0033\cdot 54,2\frac{0,84}{400}=0,00110 \quad \text{ή } u\%=1,10\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 18 = 24,3\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 50Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 30Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 10Α-16Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 21,4 / \sqrt{3} = 12,35\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 35Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής κινητήρα M35

Ρεύμα εκκίνησης κινητήρα (Πίνακας 2.1):  $I_{A,Y/\Delta} = 350 / 3 = 116,7\text{A}$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,75$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta} = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{54,7}{0,87 \cdot 0,75} = 83,1\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 25\text{mm}^2$

$$R' = \frac{0,02}{25}\Omega/m = 8 \cdot 10^{-4}\Omega/m$$

$$X' = 92 \cdot 10^{-6}\Omega/m$$

$$Y' = 8 \cdot 10^{-4} + 0,92 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,86)) = 8,55 \cdot 10^{-4}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} \cdot 25,8 \cdot 0,000853 \cdot 116,7 \frac{0,86}{400} = 0,0096 \quad \text{ή } u\% = 0,96\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G25+16.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 27mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 27 = 36,45\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 80Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100Α και κατηγορίας AC-23

Στον τοπικό πίνακα του κινητήρα επιλέγεται:

- αυτόματος διακόπτης Υ/Δ ονομαστικής έντασης 60Α, κατηγορίας χρήσης AC-3 (Πίνακας Π.13)
- θερμικά στοιχεία περιοχής ρύθμισης 22Α-32Α (Πίνακας Π.12) και ρυθμίζονται στο ρεύμα  $I_{th} = 54,7 / \sqrt{3} = 31,58\text{A}$  (Σχέση 4.8)
- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 63Α (Πίνακας Π.13)
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60Α και κατηγορίας AC-23 (Πίνακας Π.13).

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Κ.8

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{76600}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,857} = 129\text{A}$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα έξι πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,75$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta \cdot f_n} = \frac{129}{0,87 \cdot 0,75} = 197,7\text{A}$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=95\text{mm}^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=238\text{A}$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,90% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{95} \Omega/m = 2,1 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 78 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 2,1 \cdot 10^{-4} + 0,78 \cdot 10^{-4} \cdot \tan(\cos^{-1}(0,857)) = 2,57 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3, τον Πίνακα 3.12, τον Πίνακα 4.5, τον Πίνακα 2.1 και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα στη δυσμενέστερη συνθήκη λειτουργίας,  $I=149,8+(21,4+54,7) \cdot 0,9=218,3\text{A}$ , η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \frac{l * Y' * P_3}{V_{\pi}^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos \varphi}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 29,6 * 0,000257 * 218,3 \frac{0,854}{400} = 0,0061 \quad \text{ή}$$

$$u\% = 0,61\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G90+50. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 37mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

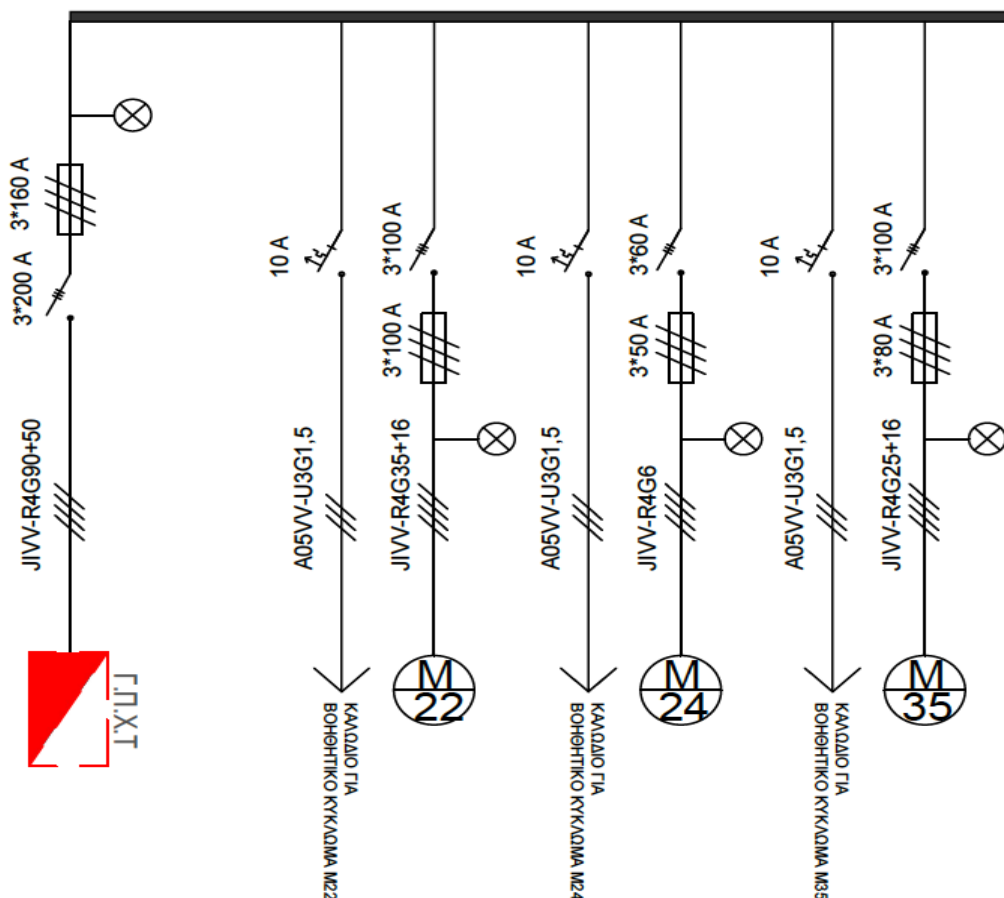
$$D_x > 1,35 * 37 = 49,95 \text{ mm}$$

Στον υποπίνακα κίνησης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 160Α
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α και κατηγορίας AC-23

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας αΜ και ονομαστικής έντασης 200Α
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α και κατηγορίας AC-23



Σχήμα 4.17: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Κ.8



#### 4.5.9 Υποπίνακας ωμικών φορτίων ΥΠ.Ω.1

Στον Πίνακα 4.13 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.13: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Ω.1

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-R1	10,3	6,2	2,6	1	20,1
Γ-R2	10,3	2,8	2,7	1	16,8
Γ-R3	10,3	6,3	2,6	1	20,2
Γ-ΥΠ.Ω.1	8,6	23,8	-	1	33,4

##### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R1

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{21,6}{0,87 * 0,86} = 28,9A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 20,1 * 0,005 * 21,6 \frac{1}{400} = 0,0093 \quad \text{ή } u\%=0,93\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G4.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 17 = 22.95mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 25A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-21

##### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R2

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλο ένα πολυπολικό καλώδιο πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{7,9}{0,87 * 0,86} = 10,6A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{1,5}\Omega/m=13,3\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 16,8\cdot 0,01333\cdot 7,9\frac{1}{400}=0,0077 \quad \text{ή } u\%=0,77\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G1,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 13mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x>1,35\cdot 13=17,55\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 10A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R3

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta}=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I'_b=\frac{I_N}{f_{\theta}\cdot f_n}=\frac{21,6}{0,87\cdot 0,78}=31,8\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{4}\Omega/m=5\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 20,2\cdot 0,005\cdot 21,6\frac{1}{400}=0,0094 \quad \text{ή } u\%=0,94\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G4.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x>1,35\cdot 17=22,95\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 25A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Ω.1

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N=\frac{P}{\sqrt{3}\cdot V\cdot \cos\varphi}=\frac{32000}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 1}=46,2\text{A}$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα τέσσερα πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta}=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον

Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{46,2}{0,87 * 0,77} = 69A$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=16\text{mm}^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=80A$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 2,06% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4 και 4.5 :

$$Y'=R' = \frac{0,02}{16} \Omega/m = 1,25 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3 και τον Πίνακα 4.13 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l * Y' * P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos \varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 33,4 * 0,00125 * 46,2 \frac{1}{400} = 0,0084 \quad \text{ή} \quad u$$

$$\% = 0,84\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-R4G16. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 22mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

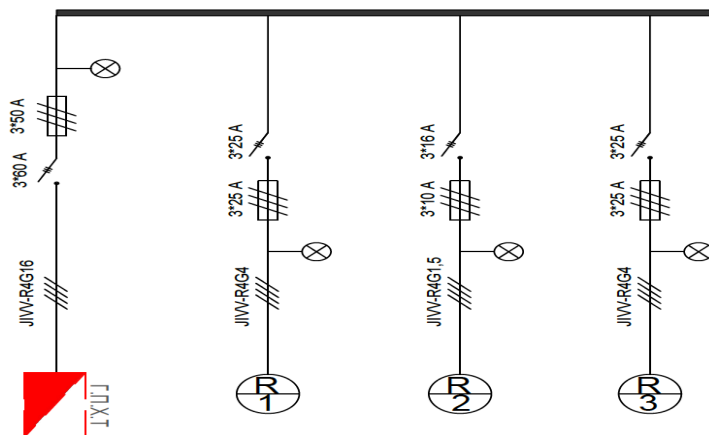
$$D_x > 1,35 * 22 = 29,7\text{mm}$$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 50A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-21

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 63A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-21



Σχήμα 4.18: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Ω.1

#### 4.5.10 Υποπίνακας ωμικών φορτίων ΥΠ.Ω.2

Στον Πίνακα 4.14 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.14: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Ω.2

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-R17	10,3	18,4	3,2	1	32,9
Γ-R18	10,3	11,8	5,2	1	28,3
Γ-R19	10,3	7,9	4	1	23,2
Γ-R28	10,3	0,9	1,4	1	13,6
Γ-R33	10,3	12,2	0,7	1	24,2
Γ-ΥΠ.Ω.2	8,6	55,7	-	1	65,3

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R17

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,76$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{15,8}{0,87 \cdot 0,76} = 23,9 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5 \text{ mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 32,9 \cdot 0,008 \cdot 15,8 \frac{1}{400} = 0,0180 \quad \text{ή } u\% = 1,80\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4 \text{ mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 32,9 \cdot 0,005 \cdot 15,8 \frac{1}{400} = 0,0112 \quad \text{ή } u\% = 1,12\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G4.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 17mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 17 = 22.95 \text{ mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 16A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R18

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,76$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{5,7}{0,87 \cdot 0,76} = 8,6 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5 \text{ mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,3 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 28,3 \cdot 0,01333 \cdot 5,7 \frac{1}{400} = 0,0093 \quad \text{ή } u\% = 0,93\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G1,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 13mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 13 = 17,55 \text{ mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 6A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R19

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{26,7}{0,87 \cdot 0,74} = 41,5 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6 \text{ mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} \cdot 23,2 \cdot 0,00333 \cdot 26,7 \frac{1}{400} = 0,0089 \quad \text{ή } u\% = 0,89\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 18 = 24,3 \text{ mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 35A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R28

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_0=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{10,8}{0,87 * 0,74} = 16,8A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,3 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 13,6 * 0,01333 * 10,8 \frac{1}{400} = 0,0085 \quad \text{ή } u\% = 0,85\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G1,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) 13mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 13 = 17,55mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 16A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R33

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{15,8}{0,87 * 0,74} = 24,5A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5mm^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 24,2 * 0,008 * 15,8 \frac{1}{400} = 0,0132 \quad \text{ή } u\% = 1,32\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9mm$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 16A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Ω.2

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{36400}{\sqrt{3} * 400 * 1} = 52,5 A$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα επτά πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,74$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{52,5}{0,87 * 0,74} = 81,6A$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=25mm^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=101A$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 1,68% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{25} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 92 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 8 \cdot 10^{-4} + 0,92 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(1)) = 8 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3 και τον Πίνακα 4.14 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 65,3 * 0,0008 * 52,5 \frac{1}{400} = 0,0118 \quad \text{ή } u\% = 1,18\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JIVV-R4G25+16. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 27mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

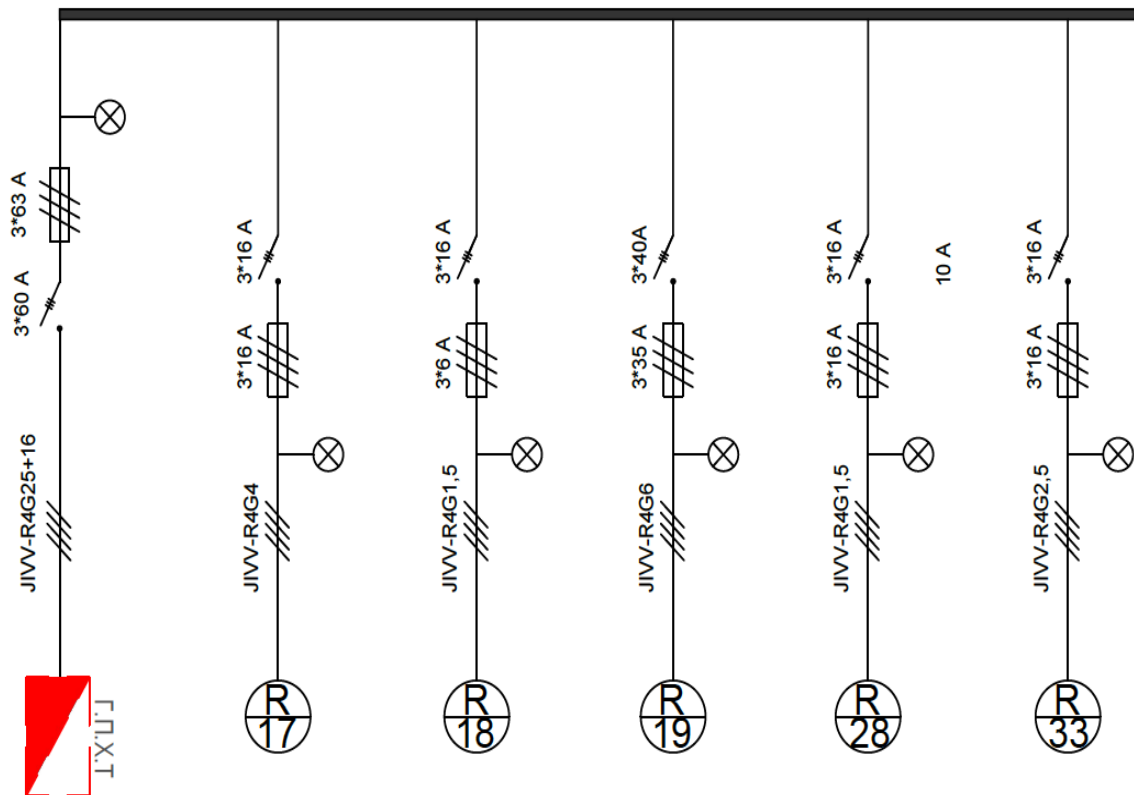
$$D_x > 1,35 * 27 = 36,45mm$$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 63A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-21

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 80A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-21



Σχήμα 4.19: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Ω.2

#### 4.5.11 Υποπίνακας ωμικών φορτίων ΥΠ.Ω.3

Στον Πίνακα 4.15 έχει υπολογισθεί το μήκος των επιμέρους τμημάτων των γραμμών σύμφωνα με το Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.15: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας ΥΠ.Ω.3

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Οριζόντιο τμήμα (σε χαλυβδοσωλήν α)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-R50	10,3	1,6	3	1	15,9
Γ-R51	10,3	3	3,1	1	17,4
Γ-R52	10,3	1,3	3,1	1	15,7
Γ-ΥΠ.Ω.3	8,6	23,8	-	1	33,4

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R50

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).



$$I_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{43,3}{0,87 * 0,78} = 63,8A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=16\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{16} \Omega/m = 1,25 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 15,9 * 0,00125 * 43,3 \frac{1}{400} = 0,0037 \quad \text{ή } u\% = 0,37\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G16.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 22mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 22 = 29,7\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 50A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 60A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R51

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{7,9}{0,87 * 0,78} = 11,6A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5\text{mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,3 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 17,4 * 0,01333 * 7,9 \frac{1}{400} = 0,0079 \quad \text{ή } u\% = 0,79\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JIVV-R4G1,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 13mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 13 = 17,55\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 10A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-21

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ωμικού φορτίου R52

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,78$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{26,7}{0,87 * 0,78} = 39,3A$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{6}\Omega/m=3,33\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 15,7\cdot 0,00333\cdot 26,7\frac{1}{400}=0,0060 \quad \text{ή } u\%=0,60\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x>1,35\cdot 18=24,3\text{mm}$

Στην αναχώρηση της γραμμής από τον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 35A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 40A και κατηγορίας AC-21

### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Ω.3

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 3.12 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N=\frac{P}{\sqrt{3}\cdot V\cdot \cos\varphi}=\frac{48600}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 1}=70,1\text{ A}$$

Το καλώδιο βρίσκεται σε επαφή με άλλα τέσσερα πολυπολικά καλώδια πάνω στη μεταλλική σχάρα και έτσι λαμβάνεται  $f_n=0,77$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta}=0,87$  (Πίνακας Π.4). Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 και τη Σχέση 4.1 είναι:

$$I'_b=\frac{I_N}{f_{\theta}\cdot f_n}=\frac{70,1}{0,87\cdot 0,77}=104,6\text{A}$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=35\text{mm}^2$  (Πίνακας Π.2) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=126\text{A}$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Σύμφωνα με τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του υποπίνακα προκύπτει 2,21% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την τροφοδοσία του. Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5 και το Σχήμα 4.1 :

$$R'=\frac{0,02}{35}\Omega/m=5,71\cdot 10^{-4}\Omega/m$$

$$X'=87\cdot 10^{-6}\Omega/m$$

$$Y'=5,71\cdot 10^{-4}+0,87\cdot 10^{-4}\cdot \tan(\cos^{-1}(1))=5,71\cdot 10^{-4}\Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3 και τον Πίνακα 4.15 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\frac{l\cdot Y'\cdot P_3}{V_{\pi}^2}=\sqrt{3}\cdot l\cdot Y'\cdot I\frac{\cos\varphi}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 33,4\cdot 0,000571\cdot 70,1\frac{1}{400}=0,0058 \quad \text{ή}$$

$$u\%=0,58\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγεται τροφοδοτικό καλώδιο τύπου JVV-

R4G35+16. Η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου είναι 26mm (Πίνακας Π.15) και σύμφωνα με τη Σχέση 4.7 η εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων πρέπει να είναι:

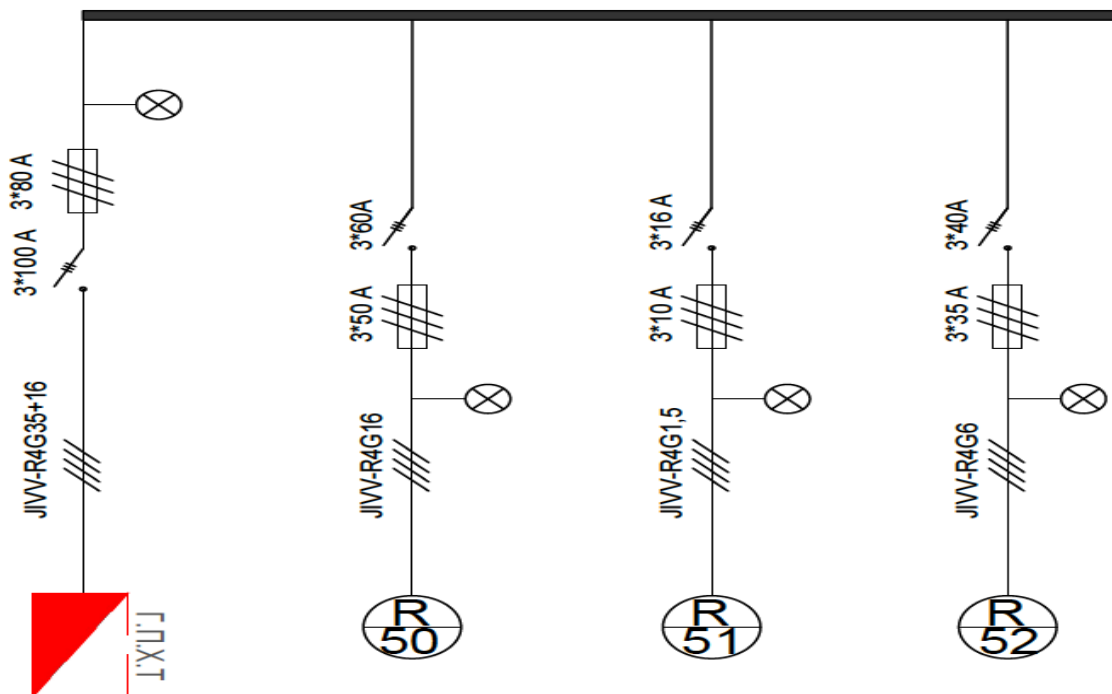
$$D_x > 1,35 \cdot 26 = 35,1 \text{ mm}$$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 80A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-21

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 100A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 100A και κατηγορίας AC-21



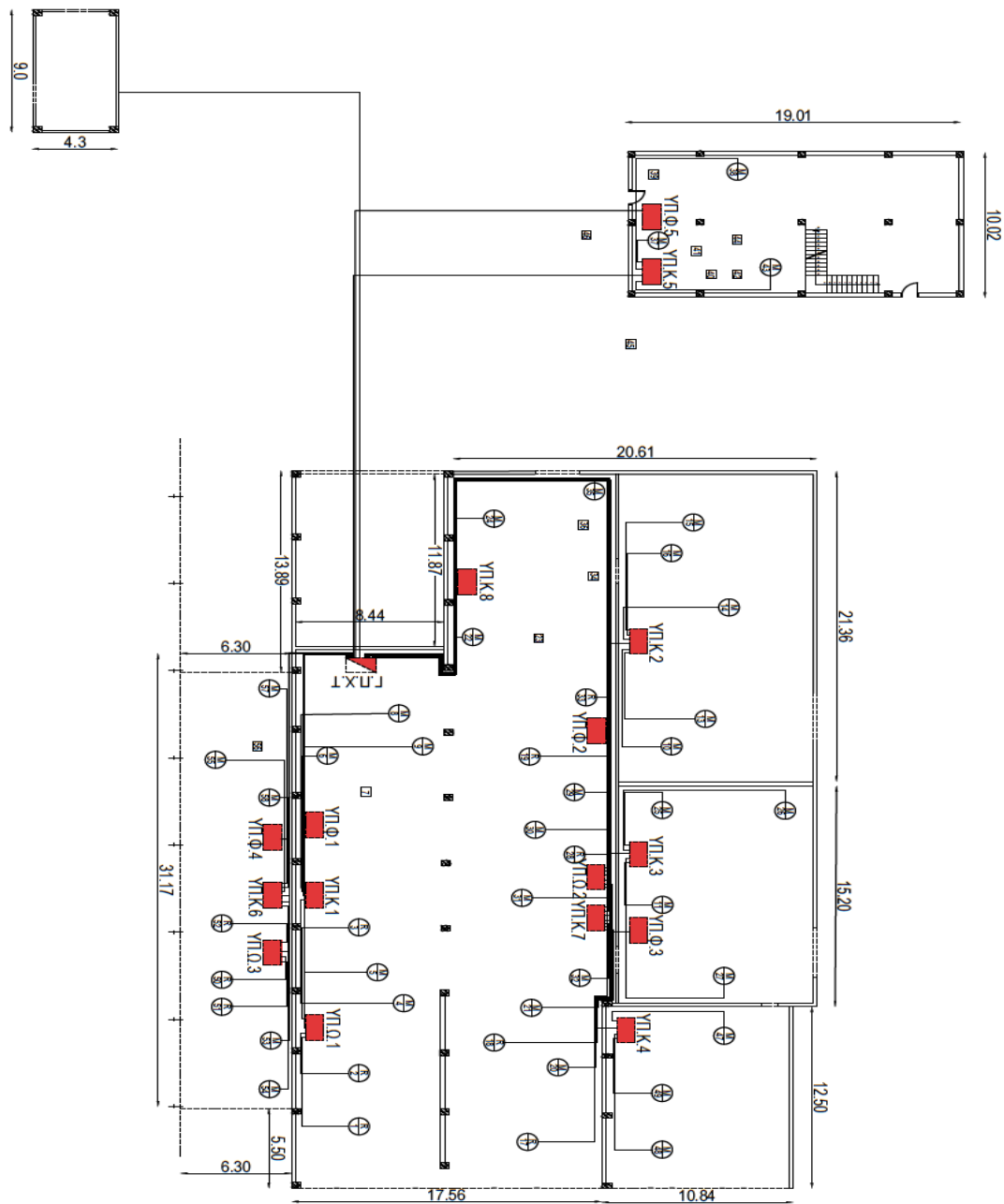
Σχήμα 4.20: Μονογραμμικό διάγραμμα ΥΠ.Ω.3

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΠΟΠΙΝΑΚΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ- ΡΕΥΜΑΤΟΔΟΤΩΝ

#### 5.1 Θέση υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών

Στο Σχήμα 5.1 δίνεται η θέση των υποπινάκων στην κάτοψη του κτηρίου και έχουν χαραχθεί και οι γραμμές τροφοδοσίας τους.

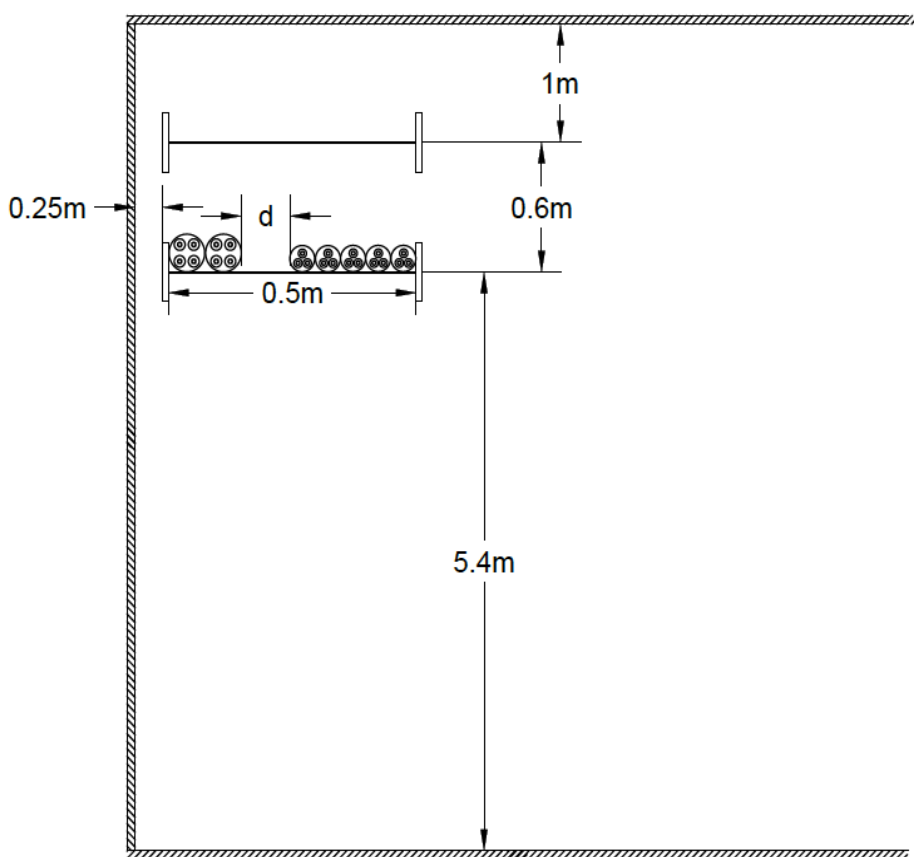


Σχήμα 5.1: Σχεδιασμός υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών και γραμμών τροφοδοσίας τους

Τα καλώδια, που τροφοδοτούν τα κυκλώματα διακλάδωσης και τους υποπίνακες στον κύριο χώρο παραγωγής της βιομηχανίας εγκαθίστανται με τους εξής τρόπους:

- Μέσω χαλυβδοσωλήνων στερεωμένοι στον τοίχο και στο πάτωμα.
- Μέσω οριζόντιας διάτρητης μεταλλικής σχάρας σε απλή στρώση (Σχήμα 5.2)

Τα καλώδια στο έδαφος εγκαθίστανται σε βάθος 0,7m μέσα σε σωλήνες.



Σχήμα 5.2: Σκαρίφημα μεταλλικής σχάρας που φέρει δύο καλώδια τροφοδοσίας υποπινάκων και πέντε κυκλωμάτων διακλάδωσης

Σημειώσεις Σχήματος 5.2:

- Η πάνω μεταλλική σχάρα εξυπηρετεί τα κυκλώματα κίνησης και η κάτω φωτισμού-ρευματοδοτών
- Στην αριστερή πλευρά της σχάρας εγκαθίστανται τα καλώδια τροφοδοσίας υποπινάκων σε επαφή μεταξύ τους και στη δεξιά τα καλώδια κυκλωμάτων διακλάδωσης σε επαφή μεταξύ τους
- Η απόσταση  $d$  είναι μεγαλύτερη του διπλάσιου της διαμέτρου των δυο καλωδίων

## 5.2 Ισχύς υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ο απαιτούμενος γενικός φωτισμός σύμφωνα με τα εθνικά πρότυπα DIN 5035 για ένα χώρο εργασίας όπως αυτός του πυρηνελαιουργείου που μελετάται πρέπει να είναι έντασης 500 Lux [1]. Τα φωτιστικά σώματα που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση είναι τύπου καμπάνας με λαμπτήρες υψηλής πίεσης υδραργύρου και αναρτούνται σε ύψος 5,5m από το δάπεδο. Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραμέτρους αυτούς προκύπτει αναγκαιότητα ηλεκτρικής ισχύς φωτιστικών σωμάτων  $16\text{W/m}^2$  [1]. Οι λαμπτήρες αυτοί λόγω των στραγγαλιστικών πηνίων (chocks) έχουν συντελεστή ισχύος 0,5. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σε κάθε φωτιστικό σώμα πυκνωτές αντιστάθμισης που βελτιώνουν τον ΣΙ στο 0,85. Για τη μελέτη των κυκλωμάτων ρευματοδοτών γίνεται η παραδοχή πως οι συσκευές που θα συνδεθούν θα έχουν ΣΙ τουλάχιστον 0,85.

Στον Πίνακα 5.1 έχει υπολογιστεί για κάθε υποπίνακα:

- τα τετραγωνικά μέτρα του χώρου (Σχήμα 5.1), όπου τα φωτιστικά σώματα που είναι εγκατεστημένα τροφοδοτούνται από αυτόν
- η πραγματική ισχύς των κυκλωμάτων φωτισμού σύμφωνα με τα τετραγωνικά μέτρα του χώρου ( $16\text{W/m}^2$ )
- η μέγιστη πραγματική ισχύς ζήτησης των κυκλωμάτων ρευματοδοτών σύμφωνα με τον συντελεστή ταυτοχρονισμού  $g$  [1]
- ο μέσος συντελεστής ισχύος
- η εγκατεστημένη φαινόμενη ισχύς (Σχέση 3.2)
- η μέγιστη πραγματική ισχύς ζήτησης

Πίνακας 5.1 : Ισχύς υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών

Υποπίνακες	Τετραγωνικά μέτρα χώρου	Εγκατεστημένη πραγματική ισχύς κυκλωμάτων φωτισμού kW (Στήλη 1x0,016kW/m <sup>2</sup> )	$g$ φωτισμού	Εγκατεστημένη πραγματική ισχύς κυκλωμάτων ρευματοδοτών kW	$g$ ρευματοδοτών	Μέγιστη πραγματική ισχύς κυκλωμάτων ρευματοδοτών kW (4x5)	Μέσος συντελεστής ισχύος	Εγκατεστημένη φαινόμενη ισχύς πίνακα kVA	Μέγιστη πραγματική ισχύς ζήτησης πίνακα kW (2+6)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΥΠ.Φ.1	312	5	1	4	0,5	2	0,85	8,2	7
ΥΠ.Φ.2	490	7,8	1	6,2	0,5	3,1	0,85	12,8	10,9
ΥΠ.Φ.3	490	7,8	1	6,2	0,5	3,1	0,85	12,8	10,9
ΥΠ.Φ.4	233	3,7	1	3	0,5	1,5	0,85	6,1	5,2
ΥΠ.Φ.5	190	3	1	2,4	0,5	1,2	0,85	4,9	4,2
<b>Σύνολο:</b>								44,8	38,2

### 5.3 Διαστασιολόγηση γραμμών τροφοδοσίας και μέσων προστασίας υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών

Στον Πίνακα 5.2 παρατίθενται τα μήκη των επιμέρους τμημάτων των γραμμών παροχών των υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών, τα οποία ελήφθησαν από την κάτοψη του κτηρίου (Σχήμα 5.2).

Πίνακας 5.2: Μήκος (m) γραμμών τροφοδοσίας υποπινάκων φωτισμού-ρευματοδοτών

Γραμμή τροφοδοσίας	Κάθετο τμήμα (σε χαλυβδόσωληνα)	Οριζόντιο τμήμα (σε μεταλλική σχάρα)	Εφεδρεία καλωδίου για τις συνδέσεις	Συνολικό μήκος γραμμής
Γ-ΥΠ.Φ.1	10,3	14,7	1	26
Γ-ΥΠ.Φ.2	10,3	45,9	1	57,2
Γ-ΥΠ.Φ.3	10,3	60,8	1	72,1
Γ-ΥΠ.Φ.4	10,3	16,3	1	27,6
Γ-ΥΠ.Φ.5				58,3

Για τον υπολογισμό των διατομών των γραμμών, γίνεται ένας αρχικός αυθαίρετος καταμερισμός της συνολικής πτώσης τάσης στα επιμέρους τμήματα της εγκατάστασης ως εξής: 1% από το δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ έως τον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης και 1,5% της γραμμής από αυτόν έως τον κάθε υποπίνακα. Το διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για τις γραμμές τροφοδοσίας των υποπινάκων είναι 4%-1%-1,5%=1,5%.

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Φ.1

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 5.1 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{7000}{\sqrt{3} * 400 * 0,85} = 11,9 \text{ A}$$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_\theta=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_n} = \frac{11,9}{0,87 * 0,86} = 15,9 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5 \text{ mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \frac{l * Y' * P_3}{V_\pi^2} = \sqrt{3} * l * Y' * I \frac{\cos\varphi}{V_\pi} = \sqrt{3} * 26 * 0,01333 * 11,9 \frac{0,85}{400} = 0,0152 \quad \eta$$

$u\%=1,52\%$ , μη αποδεκτή

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5 \text{ mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{2,5}\Omega/m=8\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\eta \frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 26\cdot 0,008\cdot 11,9\frac{0,85}{400}=0,0091 \quad \eta u\%=0,91\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 \cdot 14 = 18,9\text{mm}$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 16A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 20A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Φ.2

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 5.1 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{10900}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 18,5 \text{ A}$$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta}=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{I_N}{f_{\theta} \cdot f_n} = \frac{18,5}{0,87 \cdot 0,86} = 24,7 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=2,5\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{2,5}\Omega/m=8\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 57,2\cdot 0,008\cdot 18,5\frac{0,85}{400}=0,0311 \quad \eta u\%=3,11\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=4\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{4}\Omega/m=5\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 57,2\cdot 0,005\cdot 18,5\frac{0,85}{400}=0,0194 \quad \eta u\%=1,94\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=6\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{6}\Omega/m=3,33\cdot 10^{-3}\Omega/m$$



$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 57,2 * 0,00333 * 18,5 \frac{0,85}{400} = 0,0129 \quad \text{ή } u\% = 1,29\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G6.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 18mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x > 1,35 * 18 = 24,3\text{mm}$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 20A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 25A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-22

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Φ.3

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 5.1 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\phi} = \frac{10900}{\sqrt{3} * 400 * 0,85} = 18,5 \text{ A}$$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n = 0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta} = 0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b = \frac{I_N}{f_{\theta} * f_n} = \frac{18,5}{0,87 * 0,86} = 24,7 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 2,5\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 72,1 * 0,008 * 18,5 \frac{0,85}{400} = 0,0392 \quad \text{ή } u\% = 3,92\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 4\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{4} \Omega/m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 72,1 * 0,005 * 18,5 \frac{0,85}{400} = 0,0245 \quad \text{ή } u\% = 2,45\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q = 6\text{mm}^2$

$$Y' = R' = \frac{0,02}{6} \Omega/m = 3,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 72,1 * 0,00333 * 18,5 \frac{0,85}{400} = 0,0163 \quad \text{ή } u\% = 1,63\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=10\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{10}\Omega/m=2\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 72,1\cdot 0,002\cdot 18,5\frac{0,85}{400}=0,0098 \quad \text{ή } u\%=0,98\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G10.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 20mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x>1,35\cdot 20=27\text{mm}$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 20A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 25A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 25A και κατηγορίας AC-22

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Φ.4

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 5.1 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N=\frac{P}{\sqrt{3}\cdot V\cdot \cos\varphi}=\frac{5200}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0,85}=8,8\text{ A}$$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_n=0,86$  (Πίνακας Π.8) και  $f_{\theta}=0,87$  (Πίνακας Π.4).

$$I_b=\frac{I_N}{f_{\theta}\cdot f_n}=\frac{8,8}{0,87\cdot 0,86}=11,8\text{A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.2):  $q=1,5\text{mm}^2$

$$Y'=R'=\frac{0,02}{1,5}\Omega/m=13,33\cdot 10^{-3}\Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}}=\sqrt{3}\cdot 27,6\cdot 0,01333\cdot 8,8\frac{0,85}{400}=0,0119 \quad \text{ή } u\%=1,19\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G1,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 13mm

Εσωτερική διάμετρος των χαλυβδοσωλήνων:  $D_x>1,35\cdot 13=17,55\text{mm}$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 10A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 16A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

#### Διαστασιολόγηση γραμμής ΥΠ.Φ.5

Σύμφωνα με τη Σχέση 2.3 και τον Πίνακα 5.1 το μέγιστο ρεύμα του υποπίνακα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} = \frac{4200}{\sqrt{3} * 400 * 0,85} = 7,1 \text{ A}$$

Συντελεστές διόρθωσης:  $f_i=1$ ,  $f_0=0,95$  (Πίνακας Π.5) και  $f_c=1,18$  (Πίνακας Π.6)

$$I_b = \frac{I_N}{f_\theta * f_c * f_i} = \frac{7,1}{1 * 0,95 * 1,18} = 6,3 \text{ A}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.3):  $q=1,5 \text{ mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{1,5} \Omega/m = 13,33 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 58,3 * 0,01333 * 7,1 \frac{0,85}{400} = 0,0203 \quad \text{ή } u\%=2,03\%, \text{ μη αποδεκτή}$$

Διατομή αγωγού (Πίνακας Π.3):  $q=2,5 \text{ mm}^2$

$$Y'=R' = \frac{0,02}{2,5} \Omega/m = 8 \cdot 10^{-3} \Omega/m$$

$$\frac{\Delta U}{V_\pi} = \sqrt{3} * 58,3 * 0,008 * 7,1 \frac{0,85}{400} = 0,0121 \quad \text{ή } u\%=1,21\%, \text{ αποδεκτή}$$

Τροφοδοτικό καλώδιο: JVV-R4G2,5.

Εξωτερική διάμετρος καλωδίου (Πίνακας Π.15) : 14mm

Εσωτερική διάμετρος των σωλήνων:  $D_x > 1,35 * 14 = 18,9 \text{ mm}$

Στον υποπίνακα τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 10A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

Στην αναχώρηση της γραμμής από το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης τοποθετούνται:

- ασφάλειες D, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 16A
- διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 16A και κατηγορίας AC-22

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

#### 6.1 Διαστασιολόγηση γραμμής – μέσα προστασίας

Η εγκατεστημένη φαινόμενη ισχύς του Γ.Π.Χ.Τ είναι 830,1 kVA και η το άθροισμα των τιμών της μέγιστης πραγματικής ισχύς ζήτησης των υποπινάκων είναι 555,1 kW (Πίνακας 3.12 και Πίνακας 5.1). Για τον πίνακα λαμβάνεται συντελεστής ετεροχρονισμού  $g=0,9$  οπότε η μέγιστη πραγματική ζήτηση του γενικού πίνακα είναι:  $0,9 \cdot 555,1 \text{ kW} = 499,6 \text{ kW}$ .

Ο σταθμισμένος μέσος συντελεστής ισχύος σύμφωνα με τη σχέση 3.1, τον Πίνακα 3.12 και τον Πίνακα 5.1 είναι:

$$\cos\varphi_m = \frac{\{66,8 \cdot 0,853 + 90 \cdot 0,855 + 67,7 \cdot 0,854 + 53,4 \cdot 0,847 + 16,1 \cdot 0,82 + 91 \cdot 0,854 + 55,4 \cdot 0,841 + 85,1 \cdot 0,857 + 35,5 + 52 + 54 + 9 \cdot 0,85 + 14 \cdot 0,85 + 14 \cdot 0,85 + 6,7 \cdot 0,85 + 5,4 \cdot 0,85\}}{\{66,8 + 90 + 67,7 + 53,4 + 16,1 + 91 + 55,4 + 85,1 + 35,5 + 52 + 54 + 9 + 14 + 14 + 6,7 + 5,4\}} = \frac{630,64}{716,1} = 0,88$$

Η προβλεπόμενη ισχύς ζήτησης της εγκατάστασης XT σύμφωνα με τη Σχέση 3.2 είναι:

$$S = \frac{P_{total}}{\cos\varphi_m} = \frac{499,1}{0,88} = 567,7 \text{ kVA}$$

Για τις γραμμές διακλάδωσης του Γ.Π.Χ.Τ. Λαμβάνεται συντελεστής ετεροχρονισμού  $g=0,9$  οπότε το μέγιστο ρεύμα γενικής παροχής είναι:

$$I_N = (79,2 + 106,4 + 91,4 + 81,8 + 25,5 + 107,7 + 57 + 129 + 46,2 + 52,5 + 70,1 + 11,9 + 18,5 + 18,5 + 8,8 + 7,1) \cdot 0,9 = 911,6 \cdot 0,9 = 820,4 \text{ A}$$

Επειδή η ένταση του ρεύματος είναι πολύ μεγάλη και δεν υπάρχει αγωγός αυτού του μεγέθους θα χρησιμοποιηθούν τρία παράλληλα μονοπολικά καλώδια ανά φάση (τρία για κάθε φάση και ένα για τον αγωγό προστασίας) μόνωσης PVC. Έτσι το ρεύμα κάθε ενεργού καλωδίου θα είναι  $I_N/3 = 273,5 \text{ A}$ . Τα καλώδια εγκαθίστανται στο έδαφος σε βάθος 0,7m μέσα σε ξεχωριστό σωλήνα το καθένα. Το συνολικό μήκος της γραμμής σύμφωνα με το Σχήμα 5.1 είναι 55m.

Λαμβάνεται  $f_i=1$ ,  $f_0=0,95$  (Πίνακας Π.5) και  $f_c=1,18$  (Πίνακας Π.6). Σύμφωνα με τη Σχέση 4.2 είναι:

$$I_b = \frac{I_N}{f_\theta \cdot f_c \cdot f_i} = \frac{273,5}{0,95 \cdot 1,18 \cdot 1} = 243,9 \text{ A}$$

Επιλέγεται αρχικά διατομή αγωγού καλωδίων,  $q=185 \text{ mm}^2$  (Πίνακας Π.3) με ρεύμα αναφοράς  $I_0=258 \text{ A}$ . Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και σε πτώση τάσης. Με βάση τη μελέτη των γραμμών διακλάδωσης του πίνακα προκύπτει 1,01% διαθέσιμο ποσοστό πτώσης τάσης για την

τροφοδοσία του.

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.4, Σχέση 4.5, Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 4.1 :

$$R' = \frac{0,02}{185} \Omega/m = 1,08 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

$$X' = 76 \cdot 10^{-6} \Omega/m$$

$$Y' = 1,08 \cdot 10^{-4} + 0,76 \cdot 10^{-4} * \tan(\cos^{-1}(0,88)) = 1,49 \cdot 10^{-4} \Omega/m$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 4.3 η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * I * Y' * I \frac{\cos \varphi}{V_{\pi}} = \sqrt{3} * 55 * 0,000149 * 243,9 \frac{0,88}{400} = 0,0076 \quad \text{ή } u\% = 0,76\%$$

Η διατομή των αγωγών γίνεται αποδεκτή και εκλέγονται τρία μονοπολικά καλώδια για κάθε φάση (L1-L2-L3) τύπου JIVV-R διατομής 185mm<sup>2</sup> και τρία μονοπολικά καλώδιο τύπου JIVV-R διατομής 95mm<sup>2</sup> για τον αγωγό PEN.

Στον Γ.Π.Χ.Τ τοποθετούνται σε κάθε μονοπολικό καλώδιο φάσης:

- ασφάλειες NH, κατηγορίας gL και ονομαστικής έντασης 250A
- γενικός διακόπτης φορτίου ονομαστικής έντασης 400A για cosφ=0,7 και κατηγορίας AC-23 ή AC-24

## 6.2 Έλεγχος σε συνθήκη βραχυκυκλώματος

Σε σπάνιες υπερφορτίσεις βραχείας διάρκειας όπως είναι τα βραχυκυκλώματα, τα καλώδια επιτρέπεται να υπερθερμανθούν σε θερμοκρασίες 160°-250°. Η αναγκαία διατομή A ενός αγωγού ώστε να αντέξει σε βραχυκύκλωμα ισχύος S<sub>k</sub> (MVA), διάρκειας t (sec) δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{1000 * S_k}{\sqrt{3} * U_n * k} * \sqrt{t} \quad (6.1)$$

όπου : κ = σταθερά,  $\left( \frac{A}{mm^2} * \sqrt{s} \right)$ , (=115 για cu-PVC) και U<sub>n</sub> = ονομαστική τάση (kV)

Το ρεύμα σε τριφασικό βραχυκύκλωμα στο δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Σ είναι προσεγγιστικά:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} * U_n * u_k} \quad (6.2)$$

όπου : S<sub>r</sub> = ονομαστική ισχύς Μ/Σ σε (VA), U<sub>n</sub> = ονομαστική τάση στο δευτερεύοντος (V) και u<sub>k</sub> = ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης Μ/Σ

Η ισχύς βραχυκυκλώματος S<sub>k</sub> είναι:

$$S_k = \sqrt{3} * U_n * I_k \quad (6.3)$$

Το δίκτυο χαμηλής τάσης τροφοδοτείται από Μ/Σ S<sub>r</sub>=800 kVA, 20/0,4kV Dyn5, u<sub>k</sub>=6% και

σύμφωνα με τη Σχέση 6.2 το ρεύμα τριφασικού βραχυκυκλώματος στο δίκτυο χαμηλής τάσης είναι:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} * U_N * u_k} = \frac{800000}{\sqrt{3} * 400 * 0,06} = 19245 \text{ A} = 19,2 \text{ kA}$$

Η ισχύς βραχυκυκλώματος  $S_k$  σύμφωνα με τη Σχέση 6.3 είναι:

$$S_k = \sqrt{3} * U_n * I_k = \sqrt{3} * 400 * 19245 = 13,3 \text{ MVA}$$

Η αναγκαία διατομή των τροφοδοτικών καλωδίων του Γ.Π.Χ.Τ για βραχυκύκλωμα ισχύος 13,3 MVA και διάρκειας 1s σύμφωνα με τη σχέση 6.1 είναι:

$$A = \frac{1000 * S_k}{\sqrt{3} * U_n * k} * \sqrt{t} = \frac{1000 * 13,3}{\sqrt{3} * 0,4 * 115} * \sqrt{1} = 166,9 \text{ mm}^2 \quad \text{Η διατομή } q = 185 \text{ mm}^2 > 166,9 \text{ mm}^2$$

γίνεται αποδεκτή.

### 6.3 Επιλεκτική συνεργασία των μέσων προστασίας

Για κάθε γραμμή τροφοδοσίας κινητήρα είναι επιθυμητό να υπάρχει μια επιλεκτικότητα των μέσων προστασίας. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στόχος είναι να ανοίξει μόνο η προστατευτική διάταξη που βρίσκεται αμέσως πριν το σφάλμα, ώστε να απομονωθεί μόνο αυτό και όχι άλλες καταναλώσεις. Εάν αυτό αποτύχει, τότε πρέπει να αναλάβει τη διακοπή του κυκλώματος το αμέσως προηγούμενο μέσο προστασίας κοκ. Για να γίνει αυτό πρέπει οι χρόνοι διέγερσης των ηλεκτρονόμων (H/N) των αυτόματων διακοπών ισχύος για ρεύμα σφάλματος  $I_F$  να αυξάνουν ανάντη της θέσης σφάλματος. Συνεργασία των μέσων προστασίας υπάρχει όταν οι χαρακτηριστικές τους καμπύλες δεν τέμνονται στις περιοχές ρευμάτων σφάλματος που μελετάται.

Η ένταση του ρεύματος σφάλματος φάσης-PE είναι:

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} \quad (6.4)$$

όπου :  $V_0$  = η τάση γραμμής ακριβώς πριν το σφάλμα και  $Z_F$  = η συνολική σύνθετη αντίσταση του βρόγχου σφάλματος

Ο έλεγχος αυτός θα γίνει για πιθανό σφάλμα βραχυκυκλώματος φάσης-αγωγού PE στον κινητήρα M48. Με παρόμοιο τρόπο ελέγχονται και οι υπόλοιπες γραμμές διακλάδωσης των υποπινάκων.

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης L1, αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας PE στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής M/Σ-M48 (Πίνακας 6.1).

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 6.1 :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,1405} = 1637 \text{ A} = 1,6 \text{ kA}$$

Στο Σχήμα 6.1 έχουν προσδιοριστεί με βάση τις χαρακτηριστικές καμπύλες οι χρόνοι διακοπής σε ρεύμα σφάλματος  $I_F$  των ασφαλειών :

- (a) στον τοπικό πίνακα του κινητήρα M48 (50A)
- (b) στην αναχώρηση της γραμμής από τον ΥΠ.Κ.4 (63A)
- (c) η γενική ασφάλεια του ΥΠ.Κ.1 (100A)

Διακρίνεται αρχικά πως οι καμπύλες δεν τέμνονται στην περιοχή ρεύματος σφάλματος  $I_F$ .

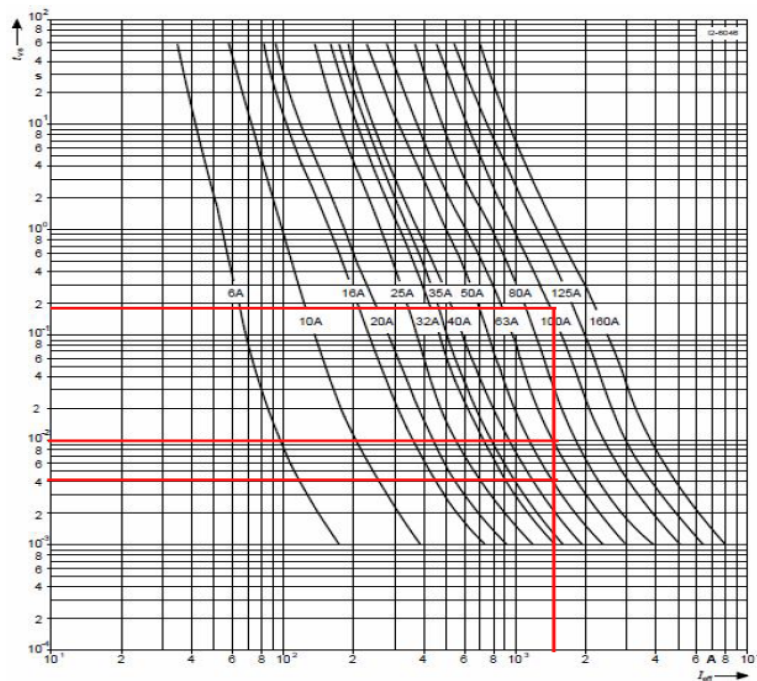
Εξάγονται επίσης οι χρόνοι διακοπής ( $I=I_F$ ) αντίστοιχα :  $t_a=0,004s$ ,  $t_b=0,01s$ ,  $t_c=0,2s$ .

$$(t_a < t_b < t_c)$$

Επιβεβαιώνεται έτσι η επιλογική συνεργασία των μέσων προστασίας.

Πίνακας 8.4 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-M48

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.4</b>				
L1	70	2,8*10 <sup>-4</sup>	77,1	0,0215
PEN	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	77,1	0,0439
<b>Γ-M48</b>				
L1	10	2*10 <sup>-3</sup>	17,3	0,0346
PE	10	2*10 <sup>-3</sup>	17,3	0,0346
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,1405



Σχήμα 6.1: Χρόνος διακοπής ασφαλειών σε ρεύμα σφάλματος 1,6kA

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΕΙΩΣΕΩΝ TN-C-S ΣΤΗ

### ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

#### 7.1 Είδη γειώσεων

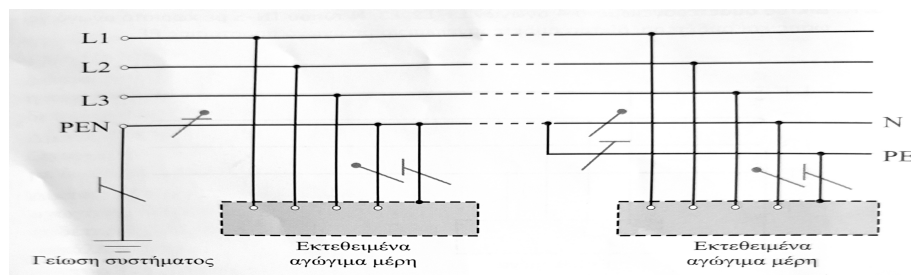
Γείωση είναι η ένωση ενός σημείου του κυκλώματος ή ενός ξένου προς το κύκλωμα μεταλλικού αντικειμένου με μία εγκατάσταση γείωσης. Ανάλογα με τη χρήση τους υπάρχουν οι εξής κατηγορίες γειώσεων:

- I. Γείωση λειτουργίας : η γείωση ενός σημείου ενός ενεργού κυκλώματος (γείωση του ουδέτερου)
- II. Γείωση προστασίας : η αγώγιμη σύνδεση ενός μεταλλικού μέρους, που στην κανονική του λειτουργία δεν είναι υπό τάση, με τη γη και χρησιμοποιείται για τη προστασία έναντι επικίνδυνων τάσεων επαφής
- III. Γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας : η γείωση μέσω της οποίας διοχετεύεται το κεραυνικό ρεύμα στη γη

Τα τρία είδη αυτών των γειώσεων συνυπάρχουν στην βιομηχανική εγκατάσταση και χρησιμοποιούνται κοινά ηλεκτρόδια γείωσης [1].

Στης ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται τα εξής δίκτυα γειώσεων:

- Δίκτυο TN-S : δίκτυο με γειωμένο ουδέτερο και αγωγό προστασίας (L1, L2, L3, N, PE)
- Δίκτυο TN-C : δίκτυο με γειωμένο ουδέτερο ο οποίος ταυτίζεται με τον αγωγό προστασίας (L1, L2, L3, PEN)
- Δίκτυο TN-C-S : δίκτυο με γειωμένο ουδέτερο ο οποίος ταυτίζεται με τον αγωγό προστασίας αλλά υπάρχουν τμήματα της εγκατάστασης όπου δεν ταυτίζονται (Σχήμα 7.1)
- Δίκτυο T T : δίκτυο όπου η γείωση του ουδέτερου κόμβου στο Μ/Σ και η γείωση των μεταλλικών μερών στην εγκατάσταση είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους
- Δίκτυο I T : δίκτυο όπου ο Μ/Σ δεν γειώνεται



Σχήμα 7.1: Δίκτυο γείωσης τύπου TN-C-S [1]



Η εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης τα οποία χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- γειωτής ράβδου
- γειωτής πλάκας
- γειωτής ταινίας
- γειωτής πλέγματος
- κυκλικός γειωτής
- ημισφαιρικός γειωτής
- σφαιρικός γειωτής
- θεμελιακή γείωση

## 7.2 Εγκατάσταση γειώσεων στα κτήρια της βιομηχανίας

Το ηλεκτρικό δίκτυο της βιομηχανίας από το δευτερεύον του Μ/Σ και μετά είναι τύπου TN-C-S με θεμελιακή γείωση. Συγκεκριμένα μέχρι τους υποπίνακες είναι τύπου TN-C και οι γραμμές τροφοδοσίας τους είναι τετραπολικές (L1, L2, L3, PEN). Τα κυκλώματα διακλάδωσης των υποπινάκων διαμορφώνονται από πενταπολικές γραμμές (L1, L2, L3, N, PE), δηλαδή δίκτυο τύπου TN-S. Ο αγωγός PEN σε κάθε υποπίνακα γειώνεται τοπικά στη θεμελιακή γείωση και από τον κόμβο γείωσης αναχωρούν ξεχωριστά ο αγωγός ουδετέρου (N) και ο αγωγός προστασίας (PE) για την τροφοδοσία των τερματικών κυκλωμάτων.

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 στην Ελλάδα είναι υποχρεωτική η χρήση της θεμελιακής γείωσης σε όλα τα νέα κτήρια. Η θεμελιακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος θεμελίων του κτηρίου, μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση γίνεται στη βάση των εξωτερικών τοίχων περιμετρικά του κτηρίου και είναι ένας κλειστός βρόχος. Το κριτήριο για την απόφαση εάν θα προβλεφθούν και πρόσθετοι συνδετήριοι αγωγοί είναι ότι κανένα σημείο του δαπέδου δεν πρέπει να απέχει απόσταση μεγαλύτερη από 10m από τον πλησιέστερο αγωγό της θεμελιακής γείωσης. Επιλέγεται ως γειωτής ταινία γαλβανισμένου χάλυβα διαστάσεων 50mmx4mm. Οι συνδέσεις των ηλεκτροδίων γείωσης γίνονται σε γειώσεις ουδετέρου με χάλκινους αγωγούς H0SV-R διατομής 25mm<sup>2</sup> που μπορούν να φέρουν ρεύματα 10kA για διάρκεια βραχυκυκλώματος, όπως ορίζει η ΔΕΗ 1sec. Εκλέγονται αγωγοί διατομής 35mm<sup>2</sup> για λόγους στιβαρότητας. Στο Σχήμα 7.2 έχει αποτυπωθεί στην κάτοψη των κτηρίων η τοποθέτηση των γειωτών ταινίας με κόκκινες διακεκομμένες γραμμές. Για τον υπολογισμό της αντίστασης του θεμελιακής γείωσης, όπου υπάρχουν πρόσθετοι αγωγοί πέραν του περιμετρικού χρησιμοποιείται ο τύπος του γειωτή ταινίας :

$$R_A = \frac{\rho}{\pi * l} \ln\left(\frac{2 * l}{d}\right) \quad (7.1)$$

όπου :  $\rho$  = η ειδική αντίσταση εδάφους ( $\Omega.m$ ),  $l$  = το συνολικό μήκος των αγωγών της θεμελιακής γείωσης (m),  $d$  = το ισοδύναμο πάχος του αγωγού (m)

Το ισοδύναμο πάχος ενός αγωγού δίνεται από τη σχέση :

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (7.2)$$

όπου  $A$  = η διατομή του αγωγού

Επιλέγεται ως γειωτής ταινία γαλβανισμένου χάλυβα διαστάσεων 50x4 και σύμφωνα με τη Σχέση

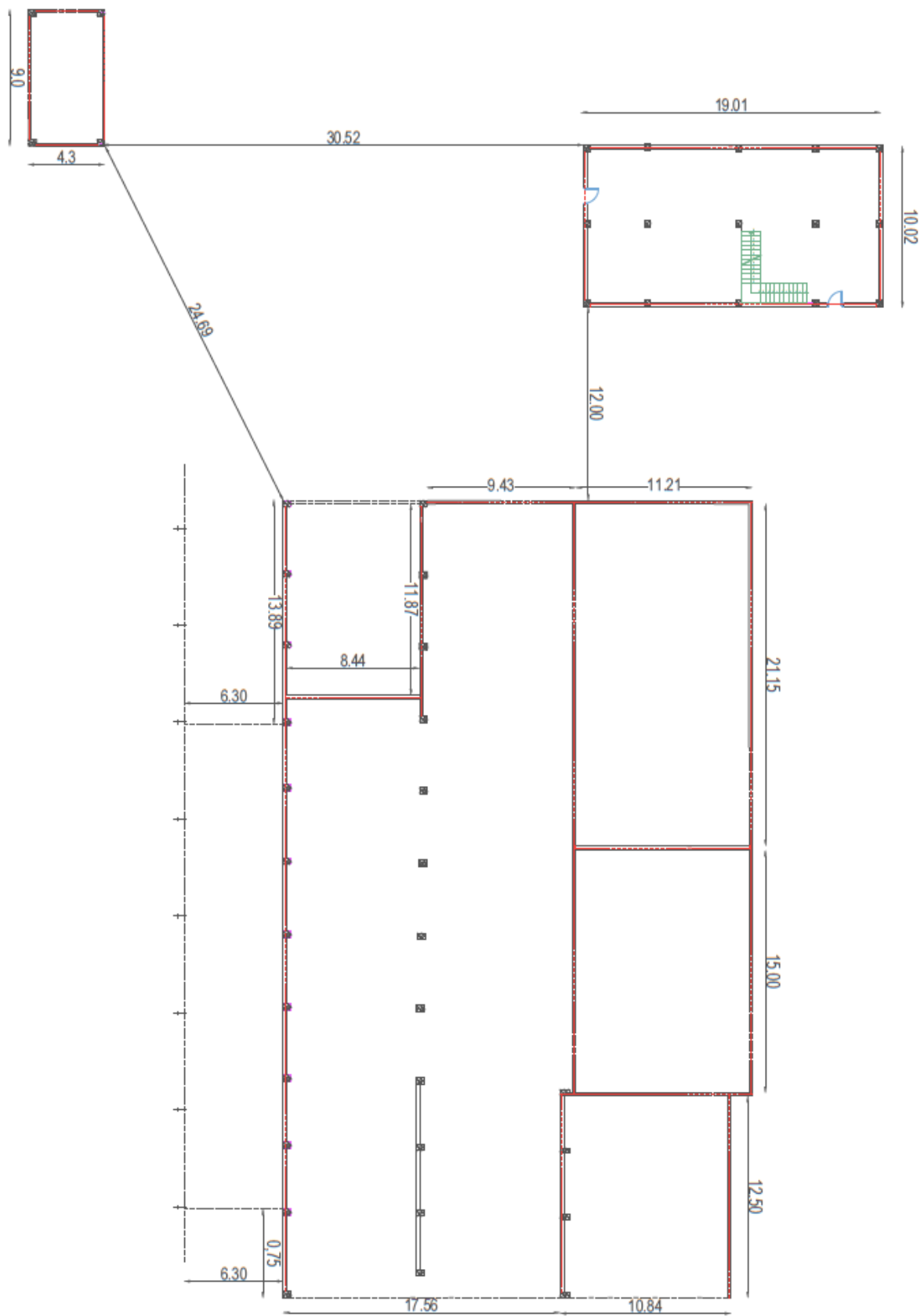
$$7.2 : d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 50 * 4}{3,14}} = 16mm$$

Η ειδική αντίσταση του εδάφους, το οποίο χαρακτηρίζεται ως αγρός είναι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [1] 40 $\Omega.m$ . Σύμφωνα με το Σχήμα 7.2 το συνολικό μήκος του γειωτή ταινίας για το κεντρικό κτήριο παραγωγής είναι 217,2m, το εκχυληστήριο 58m και τον υποσταθμό 26,6m. Έτσι σύμφωνα με τη Σχέση 7.1 η αντίσταση του θεμελιακού γειωτή είναι για τα τρία κτίρια είναι:

$$R_K = \frac{\rho}{\pi * l} \ln\left(\frac{2 * l}{d}\right) = \frac{40}{3,14 * 217,2} \ln\left(\frac{2 * 217,2}{0,016}\right) = 0,6 \Omega$$

$$R_E = \frac{\rho}{\pi * l} \ln\left(\frac{2 * l}{d}\right) = \frac{40}{3,14 * 58} \ln\left(\frac{2 * 58}{0,016}\right) = 1,9 \Omega$$

$$R_{III} = \frac{\rho}{\pi * l} \ln\left(\frac{2 * l}{d}\right) = \frac{40}{3,14 * 26,6} \ln\left(\frac{2 * 26,6}{0,016}\right) = 3,9 \Omega$$



Σχήμα 7.2: Εγκατάσταση θεμελιακής γείωσης

### 7.3 Ισοδυναμικές συνδέσεις

Σύμφωνα με το πρότυπο HD 384.4.41 κρίνεται αναγκαία η κεντρική ισοδυναμική σύνδεση, η οποία επιτυγχάνεται με τη σύνδεση προς τον κύριο ισοδυναμικό ζυγό όλων των φυσικών ηλεκτροδίων γείωσης ενός κτηρίου και όλων των μεταλλικών εξαρτημάτων που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και φέρουν το δυναμικό αναφοράς της γης (δυναμικό άπειρης γης). Έτσι λοιπόν συνδέονται μεταξύ τους:

- (a) ο κύριος αγωγός γείωσης
- (b) ο κύριος αγωγός προστασίας
- (c) ο κύριος ισοδυναμικός ζυγός
- (d) εκτεταμένες (κυρίως κατακόρυφες) μεταλλικές εγκαταστάσεις εντός του κτηρίου
- (e) μεταλλικοί σωλήνες του δικτύου ύδρευσης και αποχέτευσης
- (f) ο χαλύβδινος οπλισμός του σκυροδέματος.

Για να επιτευχθεί επίσης μεγαλύτερη ασφάλεια των ανθρώπων έναντι τάσεων επαφής σε περίπτωση σφάλματος προβλέπονται συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις τοπικά με την γεφύρωση όλων των μεταλλικών μερών στο χώρο του κτηρίου που κανονικά δε βρίσκονται υπό τάση και μπορεί να έρθουν σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Σε αυτά περιλαμβάνονται:

- (a) τα μεταλλικά μέρη των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία
- (b) τα κουφώματα αλουμινίου πορτών και παραθύρων
- (c) οι μεταλλικές σχάρες καλωδίων
- (d) οι πίνακες παροχέτευσης
- (e) οι σωλήνες που είναι κατασκευασμένοι από αγώγιμα υλικά.

Η σύνδεση όλων αυτών των μερών γίνεται με μονόκλωνους αγωγούς διαμέτρου 16mm<sup>2</sup>, οι οποίοι συνδέονται σε ισοδυναμικούς ζυγούς. Στο Σχήμα 7.3 έχουν σχεδιαστεί στην κάτοψη των κτηρίων οι συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις στα μεταλλικά περιβλήματα των μηχανημάτων.

### 7.4 Εγκατάσταση γειώσεων στο κτήριο του υποσταθμού

Η γείωση στους υποσταθμούς γίνεται για την προστασία των ατόμων έναντι επικίνδυνων τάσεων επαφής και βηματικών τάσεων σε σφάλματα φάσης-γης στη MT και επειδή απαιτείται γείωση λειτουργίας του ουδετέρου του M/Σ και γείωση προστασίας στην εγκατάσταση XT. Οι εγκαταστάσεις γείωσης είναι τρεις. Η πρώτη είναι αυτή των αλεξικέραυνων της ΔΕΗ, αν η περιοχή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση είναι κεραυνόπληκτη (πάσσαλος 2in σε 3 m βάθος), η δεύτερη είναι στο στύλο των μετρητών (πάσσαλος 2in σε 3 m βάθος) και η τρίτη στον εσωτερικό χώρο του καταναλωτή. Επειδή το δίκτυο της ΔΕΗ είναι εναέριο εγκαθίστανται στην κυψέλη εισόδου των καλωδίων MT απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων 40kA (10/350μs) και 25kA (80/20μs) στους

υποπίνακες [1].

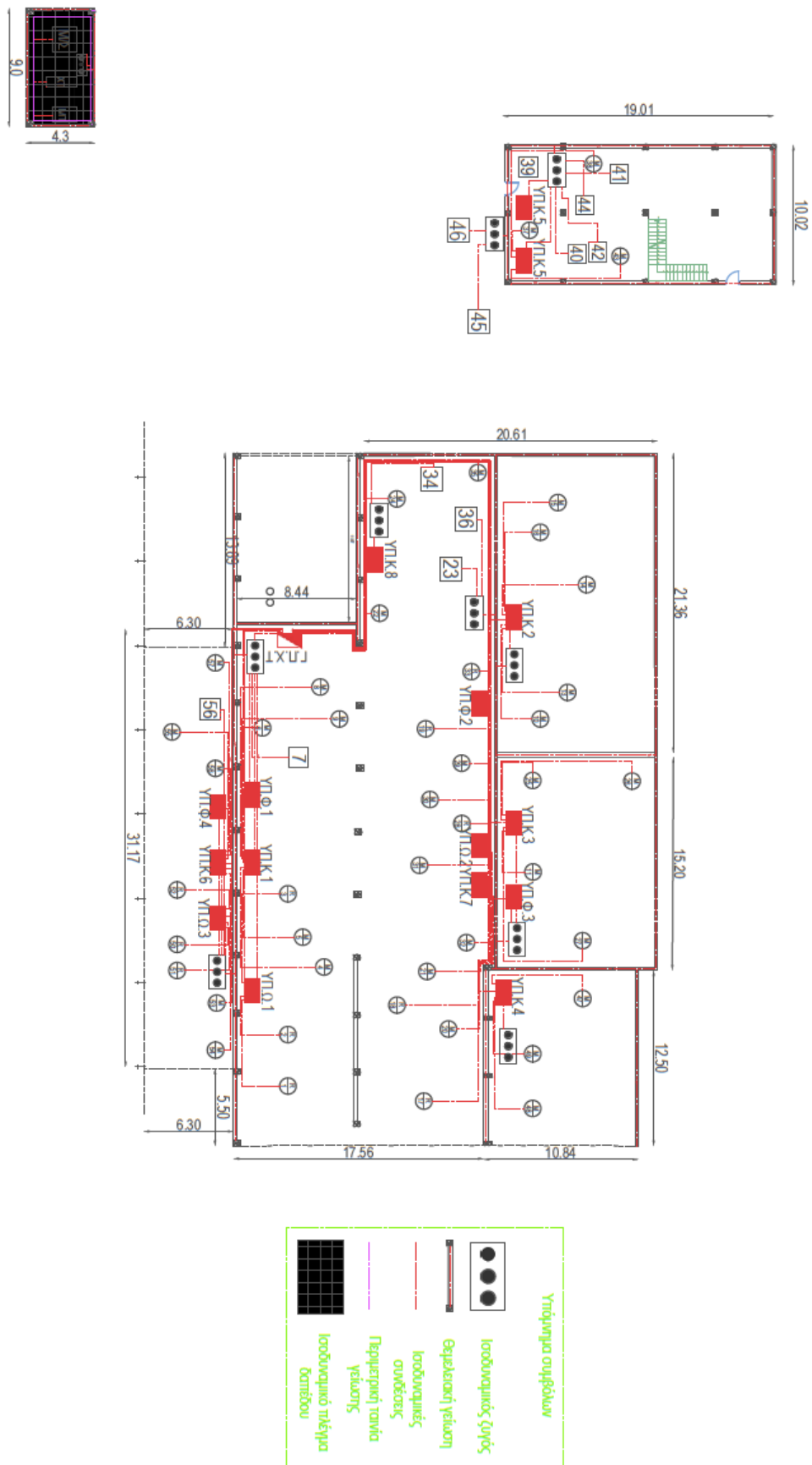
Η γείωση προστασίας των κυψελών MT και του δοχείου του Μ/Σ μπορεί να συνδεθεί με τη γείωση του ουδετέρου, μόνο όταν η συνολική αντίσταση γείωσης του συστήματος είναι μικρότερη ή ίση των  $0,5\Omega$ . Επιλέγεται κοινή γείωση MT-XT και στο χώρο του υποσταθμού τοποθετείται σύστημα γειώσεων (Σχήμα 7.3) που αποτελείται από:

- Ισοδυναμικό πλέγμα σε βάθος 5 cm, σε όλο το δάπεδο του Υ/Σ MT που είναι βατό από ανθρώπους για προστασία από επικίνδυνες τάσεις επαφής και βηματικές τάσεις σε περιπτώσεις σφαλμάτων φάσης - γης. Χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα από διασταυρωμένα και συγκολλημένα χαλύβδινα σύρματα διαμέτρου 5 mm με άνοιγμα  $60 \times 100$  mm. Στο πλέγμα συγκολλούνται χαλύβδινες γαλβανισμένες ταινίες  $30 \times 3,5$  mm, οι οποίες συνδέονται με επίτοιχη περιμετρική ταινία γείωσης [1]
- Περιμετρική ταινία γείωσης  $30 \times 3,5$  mm με αναμονές για την σύνδεση των μεταλλικών μερών της MT, της XT και του Μ/Σ. Τοποθετείται εσωτερικά και περιμετρικά του κτίσματος σε ύψος 50 cm, στερεώνεται στο τοιχίο με χάλκινα στηρίγματα [1]
- Θεμελιακή γείωση

Μετά την εγκατάσταση του συστήματος γείωσης γίνεται μέτρηση με γειωσόμετρο. Σε περίπτωση μη επίτευξης της επιθυμητής αντίστασης γείωσης, προστίθενται ηλεκτρόδια γείωσης χαλύβδινα επιχαλκωμένα (πασαλογειωτές) διατομής  $\Phi 14\text{mm}$  και μήκους 1,5m, τόσα ώστε να επιτευχθεί συνολική αντίστασης γείωσης του υποσταθμού  $R_{\gamma\gamma} \leq 0,5\Omega$ . Η σύνδεση των ηλεκτροδίων με τη θεμελιακή γείωση γίνεται μέσω χάλκινων αγωγών H0SV-R διατομής  $35\text{mm}^2$ .

Με την περιμετρική ταινία θα συνδέονται, μέσω αγωγού:

- τα μεταλλικά μέρη των κυψελών MT και XT
- οι ράγες του Μ/Σ
- οι μανδύες των καλωδίων MT
- το ισοδυναμικό πλέγμα των δαπέδων
- οι βάσεις στηρίξεως των ακροκεφαλών
- οι απαγωγείς υπερτάσεων



Σχήμα 7.3: Ισοδυναμικές συνδέσεις και σύστημα γειώσεων υποσταθμού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ TN-C-S

#### 8.1 Κίνδυνος ηλεκτροπληξίας

Η ηλεκτρολογική μελέτη μιας εγκατάστασης έχει ως σκοπό αφενός τη σωστή και ασφαλή λειτουργία αυτής και των συσκευών και αφετέρου την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που απειλούν τους ανθρώπους. Οι κίνδυνοι αυτοί εντοπίζονται όταν ρεύματα τάξης μεγέθους άνω των 50mA ρέουν μέσα από το ανθρώπινο σώμα, καθώς μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές, εγκαύματα ακόμη και τον θάνατο. Το ρεύμα μπορεί να διέλθει μέσω του ανθρώπινου σώματος και το άτομο να υποστεί ηλεκτροπληξία όταν έρθει σε επαφή με μεταλλικά ή αγωγίμα μέρη που έχουν διαφορά δυναμικού ως προς τη γη. Τα μέρη αυτά μπορεί να είναι ενεργά σημεία του κυκλώματος, γειωμένα αντικείμενα ή η γη και εκτεθειμένα μεταλλικά περιβλήματα συσκευών σε συνθήκη βλάβης. Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προέλθει είτε από άμεση επαφή του ανθρώπου με έναν ενεργό αγωγό του δικτύου (ενώ κλείνει κύκλωμα με τη γη μέσω των ποδιών του που πατάει συγχρόνως σε αγωγίμο έδαφος) είτε από έμμεση επαφή με μεταλλικά αγγεία μέρη τα οποία λόγω κάποιας βλάβης βρίσκονται υπό τάση. Το μέγεθος και η σοβαρότητα της ηλεκτροπληξίας ορίζεται από την τάση επαφής  $U_t$ , η οποία είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο αγωγίμων προσβάσιμων μερών που μπορεί ο άνθρωπος να γεφυρώσει με το σώμα του. Βάση του προτύπου ΕΛΟΤ HD.384.4.41 ορίζεται ως επικίνδυνη τάση εναλλασσόμενου ρεύματος για τον άνθρωπο  $U_t \leq 50V$  (ενεργός τιμή). Ηλεκτροπληξία μπορεί να προέλθει επίσης όταν τα σημεία του εδάφους που πατάνε τα δυο πόδια ενός ατόμου έχουν διαφορά δυναμικού (βηματική τάση) λόγω ρευμάτων μεγάλης έντασης που ρέουν προς τη γη επάγοντας μεγάλες πτώσεις τάσης στο έδαφος.

#### 8.2 Υπολογισμός τάσεων επαφής

Τα σφάλματα που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή λόγω εμφάνισης υψηλής τάσης ως προς τη γη σε μεταλλικά αντικείμενα που μπορεί να έρθει σε επαφή ένα άτομο είναι:

- i. σφάλμα φάσης-αγωγού PE σε ουδετερογειωμένο δίκτυο TN
- ii. σφάλμα φάσης-γης σε ουδετερογειωμένο δίκτυο TN
- iii. σφάλμα διακοπής του ουδετέρου σε δίκτυο TN
- iv. σφάλμα στη MT του Μ/Σ του υποσταθμού





### 8.2.2 Σφάλμα φάσης-γης

Τα σφάλματα φάσης-γης σε ουδετογειωμένα δίκτυα TN συμβαίνουν όταν κάποιος αγωγός φάσης έρχεται σε επαφή με ένα φυσικά γειωμένο αντικείμενο, το οποίο δεν είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένο με τη γείωση της εγκατάστασης (Σχήμα 8.2). Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα εισρέει στη γη στη θέση σφάλματος και ρέει μέσω της αντίστασης γείωσης ως προς την άπειρη γη  $R_F$  πίσω στον κόμβο του Μ/Σ. Στην περίπτωση αυτή, η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη είναι ίση με την πτώση τάσης στη συνολική αντίσταση γείωσης του αγωγού PEN,  $R_{GN}$  και είναι:

$$U_T = U_{PEN} = U_0 \frac{R_{GN}}{R_{GN} + R_F} \quad (8.4)$$

όπου :  $R_{GN}$  = η ισοδύναμη αντίσταση του ουδετέρου του δικτύου που προκύπτει από το συνδυασμό όλων των παράλληλων αντιστάσεων των ηλεκτροδίων γείωσης του αγωγού PEN συμπεριλαμβανομένου και της αντίστασης γείωσης του καταναλωτή.  $U_0$  = η φασική τάση στη χαμηλή τάση

Επειδή βάση του προτύπου ΕΛΟΤ HD.384.4.41 η τάση επαφής πρέπει να είναι  $U_T \leq 50V$  η Σχέση 8.4 διαμορφώνεται:

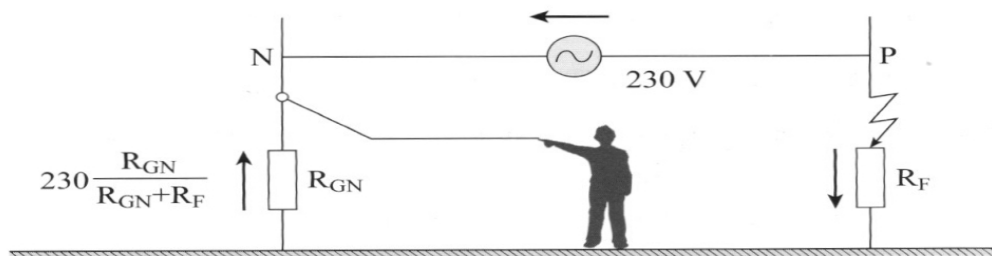
$$U_T \leq U_0 \frac{R_{GN}}{R_{GN} + R_F} \rightarrow \frac{50}{230} \leq \frac{1}{1 + R_F / R_{GN}} \rightarrow \frac{R_F}{R_{GN}} \geq 3,4 \rightarrow R_{GN} \leq \frac{R_F}{3,4}$$

Το πρότυπο ΕΛΟΤ HD.384.4.41 συνιστά να λαμβάνεται  $R_F > 10\Omega$  οπότε πρέπει  $R_{GN} \leq 2,7\Omega$ .

Οι αγωγοί PEN στους ΥΠ.Κ.5 και ΥΠ.Φ.5 συνδέονται στον ίδιο θεμελιακό γειωτή αντίστασης  $1,9\Omega$  και το ίδιο γίνεται και στα 13 σημεία σύνδεσης του αγωγού PEN στο κύριο κτήριο παραγωγής όπου συνδέονται στον ίδιο θεμελιακό γειωτή αντίστασης  $0,6\Omega$ . Ο PEN γειώνεται και στον υποσταθμό με συνολική αντίσταση γείωσης  $0,5\Omega$ . Η συνισταμένη αντίσταση όλων των αντιστάσεων γείωσης του ουδετέρου υπολογίζεται προσεγγιστικά ως η παράλληλη σύνδεση των αντιστάσεων των ηλεκτροδίων γείωσης όπου γειώνεται ο ουδέτερος:

$$\frac{1}{R_{GN}} = \frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_{EK}} + \frac{1}{R_{Y\pi}} = \frac{1}{0,6} + \frac{1}{3,9} + \frac{1}{0,5} = 3,9 \rightarrow R_{GN} = 0,26\Omega < 2,7\Omega \text{ οπότε η συνθήκη}$$

ικανοποιείται.

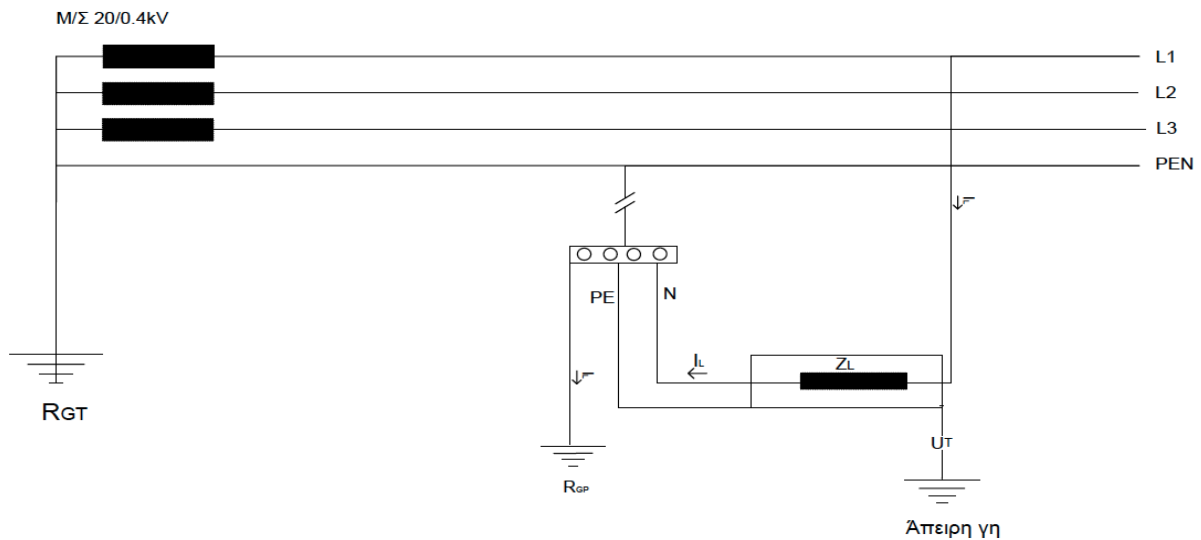


Σχήμα 8.2: Τάσεις επαφής σε σφάλμα φάσης-γης [1]

### 8.2.3 Σφάλμα διακοπής του ουδετέρου

Το σφάλμα αυτό συμβαίνει όταν ο αγωγός PEN διακόπτεται πριν την γείωση του στον υποπίνακα. Στην περίπτωση αυτή το ρεύμα που παρέχει στα τερματικά κυκλώματα ο υποπίνακας δεν επιστρέφει στο δευτερεύον του Μ/Σ μέσω του αγωγού PEN, αλλά μέσω της διαδρομής: αντίσταση φορτίου ( $Z_L$ ) -αντίσταση ηλεκτροδίου γείωσης κτηρίου ( $R_{GP}$ ) - συνολική αντίσταση ουδετέρου ( $R_{GT}$ ) (Σχήμα 8.3). Η δυσμενέστερη συνθήκη σφάλματος προκύπτει όταν ο υποπίνακας τροφοδοτεί τη μέγιστη δυνατή ισχύ. Θεωρώντας αμελητέα την αντίσταση του αγωγού φάσης L1 και του αγωγού προστασίας PE, η τάση επαφής είναι ίση με την πτώση τάσης στο ηλεκτρόδιο γείωσης του κτηρίου:

$$U_T = U_{(R_{GP})} = U_0 \frac{R_{GP}}{Z_L + R_{GP} + R_{GT}} \quad (8.5)$$



Σχήμα 8.3: Διακοπή του αγωγού PEN πριν τη γείωση του στον υποπίνακα

Οι υποπίνακες κίνησης και ωμικών φορτίων τροφοδοτούν συμμετρικά τριφασικά φορτία με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ρεύμα επιστροφής μέσω του ουδετέρου και κατ' επέκταση μέσω του ηλεκτροδίου γείωσης σε συνθήκη σφάλματος. Οι υποπίνακες κίνησης τροφοδοτούν επίσης τα βοηθητικά κυκλώματα αυτοματισμών των κινητήρων (μονοφασική παροχή) και σε συνθήκη σφάλματος το ρεύμα λειτουργίας τους οδεύει μέσω των σε σειρά αντιστάσεων του Σχήματος 8.3 στο δευτερεύον του Μ/Σ και έτσι κλείνει κύκλωμα. Ο έλεγχος θα γίνει στην περίπτωση διακοπής του αγωγού PEN πριν τη γείωση του στον ΥΠ.Κ.5 καθώς αποτελεί τη δυσμενέστερη συνθήκη σφάλματος αφού ο υποπίνακας τροφοδοτεί το μεγαλύτερο αριθμό βοηθητικών κυκλωμάτων. Σύμφωνα με το μονογραμμικό διάγραμμα του υποπίνακα (Σχήμα 4.16) τροφοδοτούνται έξι βοηθητικά κυκλώματα ονομαστικού ρεύματος λειτουργίας  $I_N=5A$ . Συνεπώς το συνολικό ρεύμα είναι  $I_L=30A$  και η συνολική ισχύς τους είναι:  $P=U_0 * I_L * \cos\varphi=230*30*1=6900W$

Η σύνθετη αντίσταση του φορτίου είναι:

$$Z_L = \frac{U_0^2}{P} = \frac{230^2}{6900} = 7,66 \Omega$$

Η τάση επαφής η οποία ισούται με την πτώση τάσης στο ηλεκτρόδιο γείωσης του κεντρικού χώρου παραγωγής σύμφωνα με τη Σχέση 8.5 είναι:

$$U_T = U_{(R_{GP})} = U_0 \frac{R_{GP}}{Z_L + R_{GP} + R_{GT}} = 230 \frac{0,6}{7,66 + 0,6 + 0,5} = 15,8 V$$

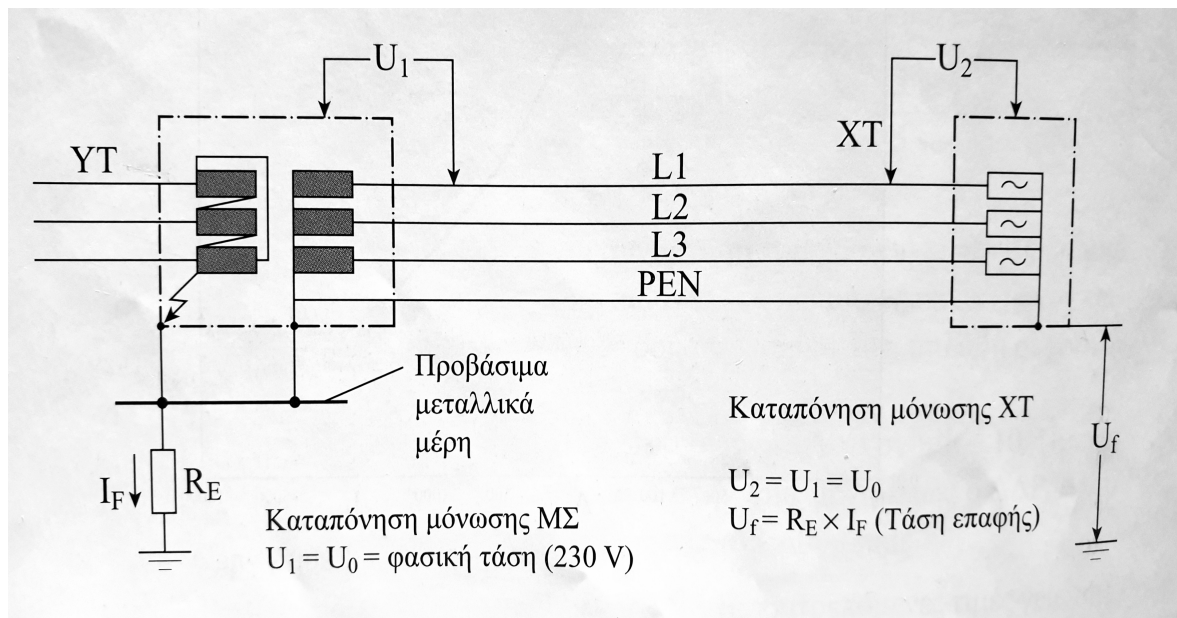
Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T < 50V$ , ο άνθρωπος δεν τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή.

#### 8.2.4 Σφάλμα υποσταθμού με κοινή γείωση MT-XT

Στην περίπτωση που προκληθεί βραχυκύκλωμα μέσης τάσης μεταξύ φάσης και κάποιου μεταλλικού γειωμένου μέρους του υποσταθμού, επηρεάζονται σημαντικά οι τάσεις που διαμορφώνονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία επικίνδυνων τάσεων επαφής στους καταναλωτές χαμηλής τάσης (Σχήμα 8.4). Για ρεύματα σφάλματος  $I_F$  η τάση επαφής είναι:

$$U_T = I_F * R_E \quad (8.5)$$

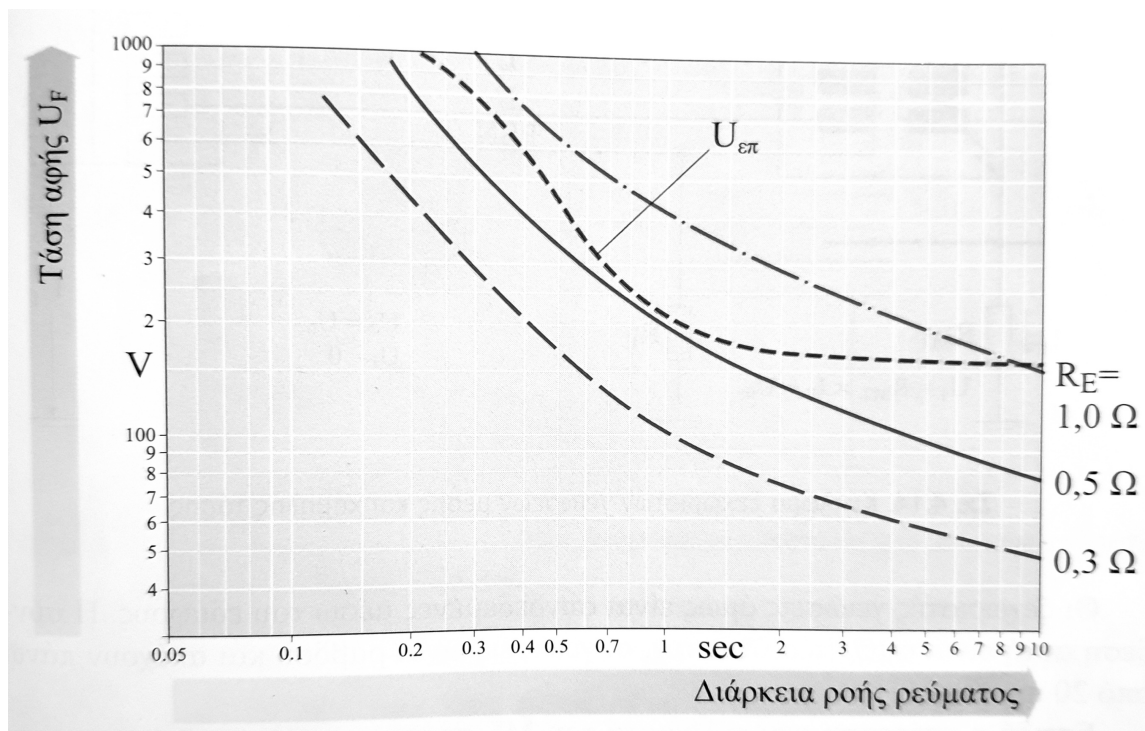
όπου:  $R_E$  = η συνολική αντίσταση γείωσης



Σχήμα 8.4: Σφάλμα φάσης MT προς γη με κοινή γείωση MT-XT [1]

Από την καμπύλη του HN γης της ΔΕΗ προκύπτουν οι τάσεις που επαφής ανάλογα με τις τιμές της

αντίστασης γείωσης καθώς και η διάρκεια ροής ρεύματος (Σχήμα 8.5). Παρατηρείται πως για  $R_E=0,5\Omega$ , η καμπύλη τάσης επαφής βρίσκεται κάτω από την καμπύλη  $U_{επ}$  που καθορίζει τις αποδεκτές τάσεις.



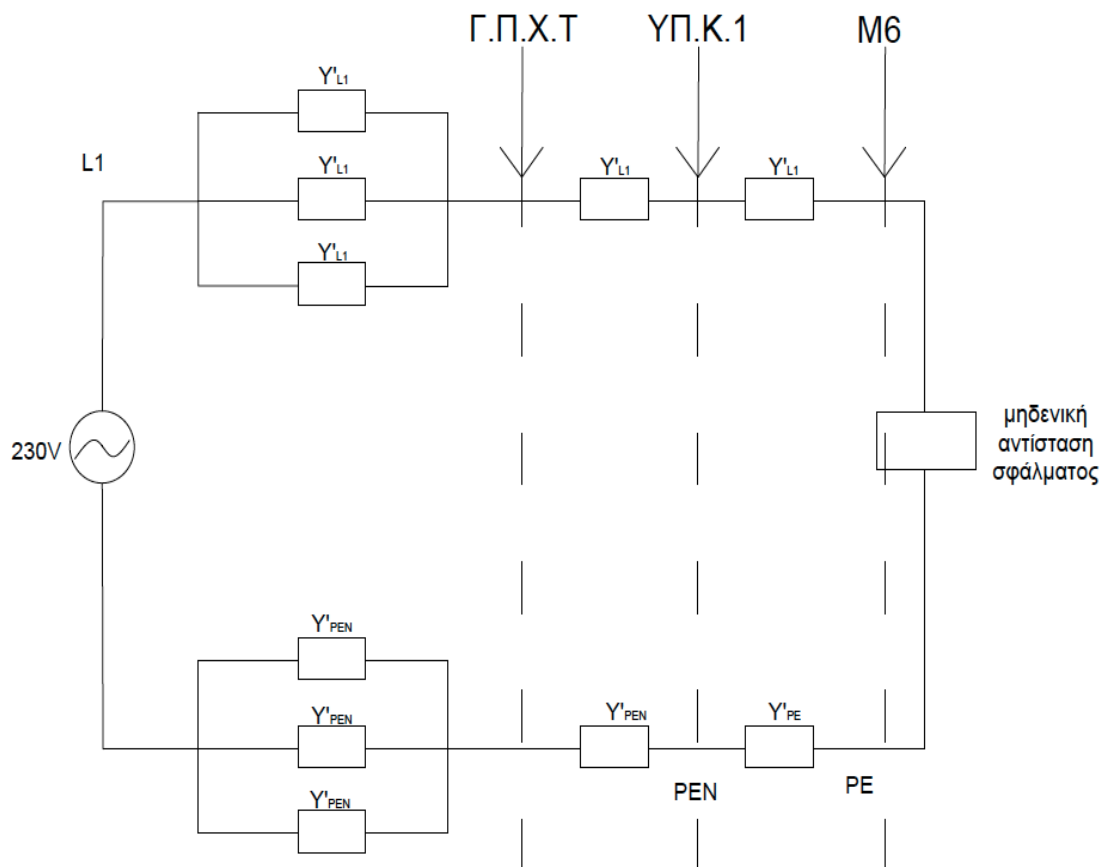
Σχήμα 8.5: Τάσεις επαφής για διάφορες τιμές της αντίστασης γείωσης [1]

### 8.3 Έλεγχος έναντι ηλεκτροπληξίας για τα μηχανήματα που τροφοδοτούνται από τα δυσμενέστερα τερματικά κυκλώματα

Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M6

Ο αγωγίμος δρόμος μέσω του οποίου κυκλοφορεί το ρεύμα σφάλματος από το σημείο που εκδηλώθηκε το σφάλμα μέχρι τον μετασχηματιστή ονομάζεται βρόχος σφάλματος και διαμορφώνεται από τους αγωγούς φάσης (L1) τους αγωγούς PEN και τον αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής M/Σ-M6 (Σχήμα 8.7)

Η συνολική σύνθετη αντίσταση του βρόχου σφάλματος  $Z_F$  είναι το άθροισμα όλων των αντιστάσεων των επιμέρους αγωγών που συνθέτουν τον βρόχο (Σχήμα 8.6). Η συνολική σύνθετη αντίσταση των αγωγών PEN,  $Z_{PEN}$ , είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των αγωγών PEN που αναχωρούν από τον υποσταθμό και οδεύουν στον ΓΠΧΤ και του αγωγού PEN που αναχωρεί από τον ΓΠΧΤ και οδεύει στον ΥΠ.Κ.1, οποίος τροφοδοτεί το φορτίο όπου εκδηλώνεται το σφάλμα.



Σχήμα 8.6 Ισοδύναμο κύκλωμα βρόχου σφάλματος φάσης-PE στον μεταλλικό περίβλημα του Μ6

Πίνακας 8.1 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-Μ6

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.1</b>				
L1	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	28,8	0,0164
PEN	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	28,8	0,036
<b>Γ-Μ6</b>				
L1	25	8*10 <sup>-4</sup>	21,5	0,0172
PE	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	21,5	0,0268
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,1023
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,04

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.1 το ρεύμα σφάλματος είναι :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,1023} = 2248,3,1 \text{ A} = 2,2 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο ή μεταλλικό δίκτυο είναι ίση με την πτώση τάσης στον αγωγό προστασίας και σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.1:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 2248,3 * 0,0268 = 60,2 \text{ V}$$

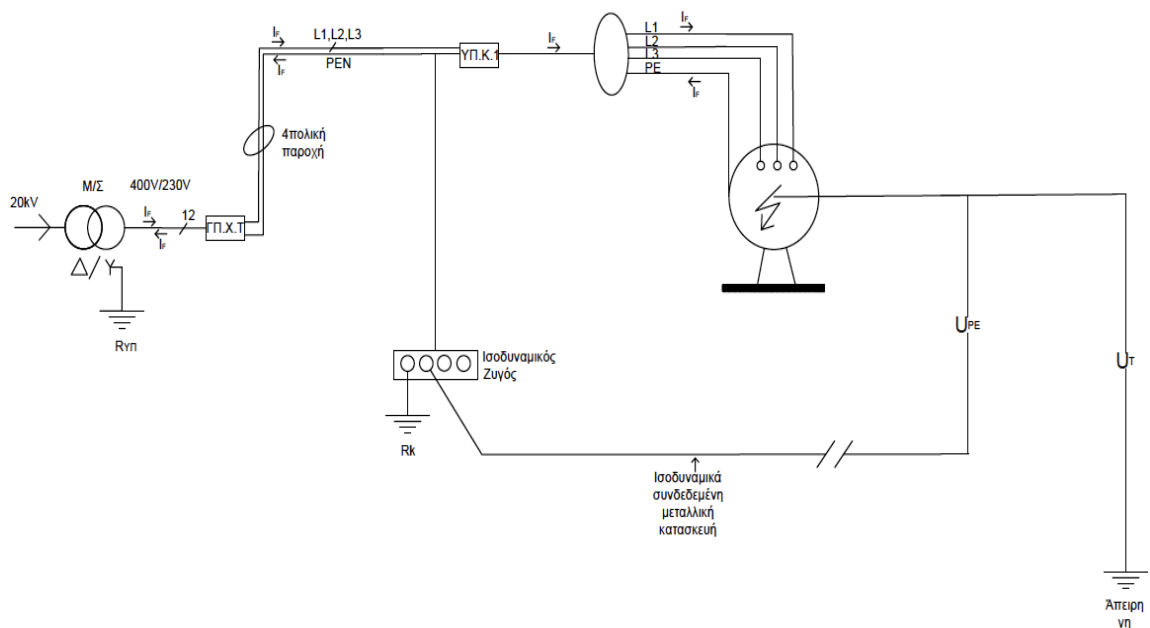
Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 2248,3 * 0,04 = 89,9 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται, η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη είναι το άθροισμα της πτώσης τάσης στον αγωγό PEN από το σημείο σφάλματος έως τον ΥΠ.Κ.1 και της πτώσης τάσης στο ηλεκτρόδιο γείωσης του κεντρικού κτηρίου παραγωγής (Σχήμα 8.7). Σύμφωνα με τη Σχέση 8.2 υπολογίζεται προσεγγιστικά:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 60,2 + 89,9 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 109,2 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50 \text{ V}$ , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.1 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.



Σχήμα 8.7: Σκαρίφημα σφάλματος φάσης-PE στον μεταλλικό περίβλημα του M6

Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M13

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-Μ13 (Πίνακας 8.2).

Πίνακας 8.2 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-Μ13

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.2</b>				
L1	70	2,8*10 <sup>-4</sup>	49,5	0,0141
PEN	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	49,5	0,0282
<b>Γ-Μ13</b>				
L1	50	4*10 <sup>-4</sup>	19,9	0,0079
PE	25	8*10 <sup>-4</sup>	19,9	0,0159
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,072
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0322

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.2 το ρεύμα σφάλματος είναι :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,072} = 3194,4 \text{ A} = 3,2 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.2:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 3194,4 * 0,0159 = 50,8 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 3194,4 * 0,0322 = 102,9 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 50,8 + 102,9 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 106,9 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50\text{V}$  , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.2 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M11

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-Μ13 (Πίνακας 8.3).

Πίνακας 8.3 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-Μ11

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.3</b>				
L1	70	2,8*10 <sup>-4</sup>	64,6	0,018
PEN	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	64,6	0,0368
<b>Γ-Μ11</b>				
L1	25	8*10 <sup>-4</sup>	15,8	0,0126
PE	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	15,8	0,0198
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,0931
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0408

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.3 το ρεύμα σφάλματος είναι :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,0931} = 2470,5 \text{ A} = 2,5 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.3:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 2470,5 * 0,0198 = 48,9 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 2470,5 * 0,0408 = 100,8 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 48,9 + 100,8 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 103,9 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50\text{V}$  , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.3 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.



Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M48

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-M48 (Πίνακας 8.4).

Πίνακας 8.4 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-M48

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.4</b>				
L1	70	2,8*10 <sup>-4</sup>	77,1	0,0215
PEN	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	77,1	0,0439
<b>Γ-M48</b>				
L1	10	2*10 <sup>-3</sup>	17,3	0,0346
PE	10	2*10 <sup>-3</sup>	17,3	0,0346
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,1405
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0479

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.4 το ρεύμα σφάλματος είναι :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,1405} = 1637 \text{ A} = 1,6 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.4:

$$U_T = U_{PE} = 1637 * 0,0346 = 56,6 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 1637 * 0,0479 = 78,4 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 56,6 + 78,4 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 99,3 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50 \text{ V}$  , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.4 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M37

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-Μ37 (Πίνακας 8.5).

Πίνακας 8.5 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-Μ37

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.5</b>				
L1	10	2*10 <sup>-3</sup>	47,1	0,0942
PEN	10	2*10 <sup>-3</sup>	47,1	0,0942
<b>Γ-Μ37</b>				
L1	2,5	8*10 <sup>-3</sup>	13,5	0,108
PE	2,5	8*10 <sup>-3</sup>	13,5	0,108
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,4103
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0982

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.5 το ρεύμα σφάλματος είναι :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,4103} = 560,6 \text{ A} = 0,6 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται στο ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.5:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 560,6 * 0,108 = 60,5 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 560,6 * 0,0982 = 55 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται, η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη είναι το άθροισμα της πτώσης τάσης στον αγωγό PEN από το σημείο σφάλματος έως τον ΥΠ.Κ.5 και της πτώσης τάσης στο ηλεκτρόδιο γείωσης του εκχυλιστηρίου. Στην περίπτωση αυτή η γείωση του υποσταθμού και η γείωση του κεντρικού χώρου παραγωγής συνδέονται παράλληλα (Σχήμα 8.7). Έτσι λαμβάνεται ως R<sub>GT</sub> η παράλληλη συνδεσμολογία των αντιστάσεων R<sub>K</sub>//R<sub>YΠ</sub> :

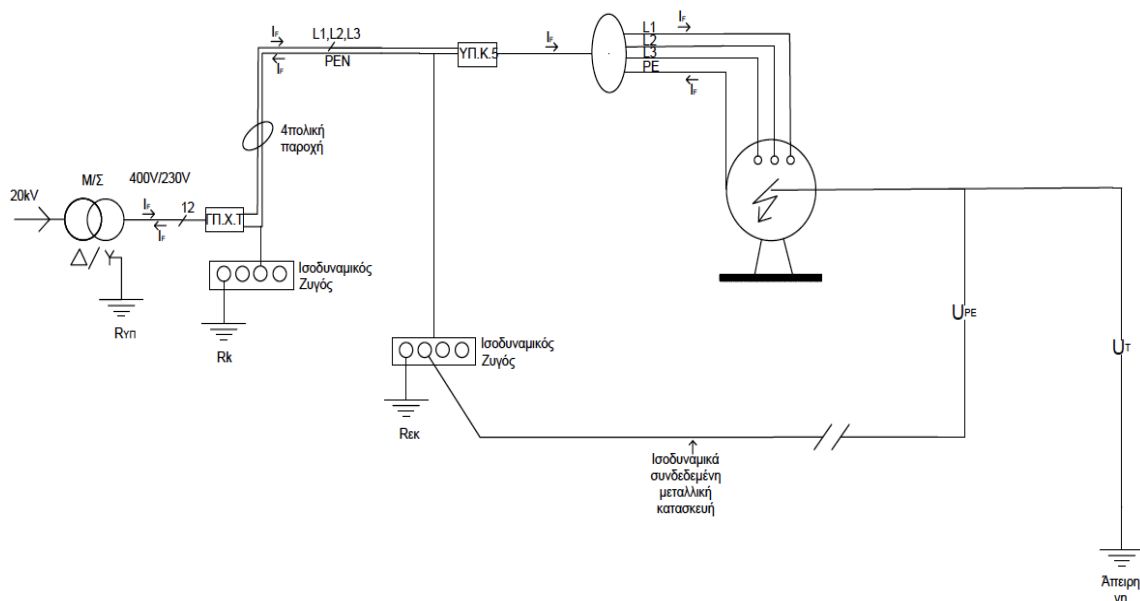
$$\frac{1}{R_{GT}} = \frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_{YΠ}} = \frac{1}{0,6} + \frac{1}{0,5} = 3,33 \rightarrow R_{GT} = 0,3 \Omega$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 8.2 υπολογίζεται προσεγγιστικά

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 60,5 + 55 * \left( \frac{3,9}{3,9 + 0,3} \right) = 111,6 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50 \text{ V}$  , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από

έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.5 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.



Σχήμα 8.7: Σκαρίφημα σφάλματος φάσης-PE στον μεταλλικό περίβλημα του M37

#### Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M55

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-Μ55 (Πίνακας 8.6).

Πίνακας 8.6 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-Μ55

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.6</b>				
L1	70	2,8*10 <sup>-4</sup>	29,6	0,0082
PEN	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	29,6	0,0168
<b>Γ-Μ55</b>				
L1	25	8*10 <sup>-4</sup>	23,7	0,0189
PE	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	23,7	0,0296
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,079
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,02

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.6 το ρεύμα σφάλματος είναι :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,079} = 2911,4 \text{ A} = 2,9 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.6:

$$U_T = U_{PE} = 2911,4 * 0,0296 = 86,2 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 2911,4 * 0,02 = 58,2 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 86,2 + 58,2 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 118 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50 \text{ V}$ , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.6 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M31

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-Μ31 (Πίνακας 8.7).

Πίνακας 8.7 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-Μ31

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.7</b>				
L1	50	4*10 <sup>-4</sup>	67,9	0,0271
PEN	25	8*10 <sup>-4</sup>	67,9	0,0543
<b>Γ-Μ31</b>				
L1	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	16,9	0,0211
PE	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	16,9	0,0211
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,1295
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0583

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.7 το ρεύμα σφάλματος είναι

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,1295} = 1776 \text{ A} = 1,7 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.7:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 1776 * 0,0211 = 37,5 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 1776 * 0,0583 = 103,5 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 37,5 + 103,5 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 94 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50\text{V}$ , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.7 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

#### Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του κινητήρα M22

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-Μ22 (Πίνακας 8.8).

Πίνακας 8.8 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-Μ22

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Κ.8</b>				
L1	90	2,2*10 <sup>-4</sup>	22,1	0,0049
PEN	50	4*10 <sup>-4</sup>	22,1	0,0100
<b>Γ-Μ22</b>				
L1	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	14,9	0,0085
PE	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	14,9	0,0186
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,0439
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,014

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.8 :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,0439} = 5239,2 \text{ A} = 5,2 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.8:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 5239,2 * 0,0186 = 97,4 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 5239,2 * 0,014 = 73,3 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 97,4 + 73,3 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 137,4 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50\text{V}$ , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Κ.8 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

#### Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του μηχανήματος R1

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-R1 (Πίνακας 8.9).

Πίνακας 8.9 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-R1

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Ω.1</b>				
L1	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	33,4	0,0418
PEN	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	33,4	0,0418
<b>Γ-R1</b>				
L1	4	5*10 <sup>-3</sup>	20,1	0,1005
PE	4	5*10 <sup>-3</sup>	20,1	0,1005
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,2905
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0458

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.9 :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,2095} = 791,7 \text{ A} = 0,8 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.9:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 791,7 * 0,1005 = 79,5 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 791,7 * 0,0458 = 36,2 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 79,5 + 36,2 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 99,2 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50 \text{ V}$ , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Ω.1 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

#### Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του μηχανήματος R19

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-R19 (Πίνακας 8.10).

Πίνακας 8.10 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-R19

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Ω.2</b>				
L1	25	8*10 <sup>-4</sup>	65,3	0,0522
PEN	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	65,3	0,0816
<b>Γ-R19</b>				
L1	6	3,33*10 <sup>-3</sup>	23,2	0,0772
PE	6	3,33*10 <sup>-3</sup>	23,2	0,0772
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,2941
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0812

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.10 :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,2941} = 782 \text{ A} = 0,8 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.10:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 782 * 0,0772 = 56,5 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 782 * 0,0812 = 63,5 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση

επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:

$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 56,5 + 63,5 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 91 \text{ V}$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50\text{V}$ , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Ω.2 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

#### Υπολογισμός τάσης επαφής σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE στο μεταλλικό περίβλημα του μηχανήματος R50

Ο βρόχος σφάλματος συντίθεται από τους αγωγούς φάσης (L1), αγωγούς PEN και αγωγό προστασίας (PE) στις επιμέρους γραμμές της διαδρομής Μ/Σ-R1 (Πίνακας 8.11).

Πίνακας 8.11 : Αντίσταση βρόχου σφάλματος επιμέρους τμημάτων γραμμής Μ/Σ-R50

Αγωγός	q (mm <sup>2</sup> )	Y' (Ω/m)	l (m)	Y' (Ω)
<b>Γ-Γ.Π.Χ.Τ</b>				
L1	3*185	3,6*10 <sup>-5</sup>	55	0,0019
PEN	3*90	7,3*10 <sup>-5</sup>	55	0,004
<b>Γ-ΥΠ.Ω.3</b>				
L1	35	5,7*10 <sup>-4</sup>	33,4	0,019
PEN	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	33,4	0,0417
<b>Γ-R50</b>				
L1	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	15,9	0,0198
PE	16	1,25*10 <sup>-3</sup>	15,9	0,0198
<b>Z<sub>F</sub> :</b>				0,1062
<b>Z<sub>PEN</sub> :</b>				0,0457

Σύμφωνα με τη Σχέση 6.4 και τον Πίνακα 8.11 :

$$I_F = \frac{V_0}{Z_F} = \frac{230}{0,1062} = 2165,7 \text{ A} = 2,1 \text{ kA}$$

Η τάση επαφής για κάποιον που στέκεται σε ισοδυναμικά συνδεδεμένο δάπεδο είναι σύμφωνα με τη Σχέση 8.1 και τον Πίνακα 8.11:

$$U_T = U_{PE} = I_F * Z_{PE} = 2165,7 * 0,0198 = 42,9 \text{ V}$$

Η πτώση τάση στον αγωγό PEN σύμφωνα με τη Σχέση 8.3 είναι:

$$U_{PEN} = I_F * Z_{PEN} = 2165,7 * 0,0457 = 99 \text{ V}$$

Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ισοδυναμική σύνδεση του δαπέδου στο οποίο στέκεται η τάση επαφής ως προς την άπειρη γη υπολογίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με τη Σχέση 8.2:



$$U_T = U_{PE} + U_{PEN} \frac{R_{GP}}{R_{GP} + R_{GT}} = 42,9 + 99 * \left( \frac{0,6}{0,6 + 0,5} \right) = 96,9 V$$

Επειδή η τάση επαφής είναι  $U_T > 50V$ , ο άνθρωπος τίθεται σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή, οπότε κρίνεται απαραίτητη η χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος (RCD) στον ΥΠ.Ω.2 ως πρόσθετο μέσο προστασίας.

#### 8.4 Έλεγχος χρόνου διακοπής σφαλμάτων από τα αυτόματα μέσα προστασίας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ HD 384

Το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 έχει ορίσει τους μέγιστους επιτρεπτούς χρόνους απόζευξης των γραμμών τροφοδοσίας φορητών και σταθερών συσκευών στο σημείο σφάλματος όπου αναπτύσσονται επικίνδυνες τάσεις επαφής σε εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη (Πίνακας 8.12).

Ο μέγιστος επιτρεπτός χρόνος απόζευξης είναι 5s για κυκλώματα διανομής και για τερματικά κυκλώματα που τροφοδοτούν μόνο ακίνητες συσκευές, με την προϋπόθεση ότι, αν άλλα τερματικά κυκλώματα, για τα οποία απαιτούνται μέγιστοι χρόνοι διακοπής σύμφωνα με τον Πίνακα 8.12, είναι συνδεδεμένα στον ίδιο πίνακα διανομής ή τροφοδοτούνται από το ίδιο κύκλωμα διανομής που τροφοδοτεί και αυτό το τερματικό κύκλωμα, θα τηρείται μία από τις παρακάτω συνθήκες:

- (a) η σύνθετη αντίσταση του αγωγού προστασίας μεταξύ του σημείου σύνδεσής του στον κύριο ακροδέκτη γείωσης και του πίνακα διανομής από τον οποίο τροφοδοτείται αυτό το τερματικό κύκλωμα, δεν υπερβαίνει την τιμή:

$$\frac{Z_s * 50}{U_0}$$

- (b) στον πίνακα διανομής, από τον οποίο τροφοδοτείται αυτό το τερματικό κύκλωμα, ο αγωγός προστασίας συνδέεται προς μια ισοδυναμική σύνδεση, η οποία περιλαμβάνει όλα τα αγωγίμα στοιχεία.

Πίνακας 8.12: Επιτρεπόμενοι χρόνοι απόζευξης τερματικών κυκλωμάτων σε ουδετερογειωμένο δίκτυο

Ονομαστική τάση (RMS)	127V	230V	400V	>400V
Χρόνος διακοπής	0,8s	0,4s	0,2s	0,1s

Για να εξασφαλιστούν οι απαιτήσεις απόζευξης του προτύπου πρέπει:

$$I_a < \frac{U_0}{Z_s} \quad (8.6)$$

όπου :  $I_a$  = το ρεύμα που προκαλεί την αυτόματη απόζευξη του κυκλώματος, εντός του μεγίστου επιτρεπτού χρόνου,  $Z_s$  = η συνολική αντίσταση του βρόχου σφάλματος όπου η αντίσταση σφάλματος θεωρείται αμελητέα και  $U_0$  : η ενεργός τιμή τάσης μεταξύ φάσης και γης.

Για τα σφάλματα φάσης-γης η τάση επαφής, δηλαδή η διαφορά δυναμικού του ουδέτερου αγωγού με την άπειρη γη εξαρτάται από την αντίσταση του φυσικά γειωμένου αντικειμένου. Επειδή το ρεύμα σφάλματος στην περίπτωση αυτή είναι πολύ μικρό τα μέσα προστασίας δεν διακόπτουν το κύκλωμα και για το λόγο αυτό επιβάλλεται η εγκατάσταση ισοδυναμικών συνδέσεων και η τοποθέτηση διακόπτη διαρροής ρεύματος.

Έλεγχος αυτόματης απόζευξης τροφοδοσίας σε χρόνο μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο του κινητήρα M22 σε συνθήκη σφάλματος φάσης-PE

Ο κινητήρας είναι σταθερά εγκατεστημένος και ο αγωγός προστασίας στον ΥΠ.Κ.8 από τον οποίο τροφοδοτείται είναι συνδεδεμένος με μια ισοδυναμική σύνδεση, η οποία περιλαμβάνει όλα τα αγωγίμα στοιχεία, οπότε ο μέγιστος χρόνος απόζευξης βάση του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384 είναι 5s. Για  $t=5s$  λαμβάνεται από το Σχήμα 6.1 της χαρακτηριστικής καμπύλης της ασφάλειας ονομαστικής έντασης 80A (τοπικός πίνακας κινητήρα)  $I_a = 500A$ . Η συνολική αντίσταση του βρόχου σφάλματος σύμφωνα με τον Πίνακα 8.8 είναι  $Z_F=0,0439\Omega$ . Σύμφωνα με τη Σχέση 8.6:

$$500 < \frac{230}{0,0439} \rightarrow 500A < 5,2 kA \quad , \quad \text{άρα εξασφαλίζεται η απόζευξη εντός του χρόνου που ορίζει}$$

το πρότυπο.

Παρόμοια γίνεται έλεγχος και στα υπόλοιπα κυκλώματα διανομής και διακλάδωσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΩΤΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΜΤ/ΧΤ

#### 9.1 Επιλογή τύπου παροχής και μετασχηματιστή ισχύος

##### 9.1.1 Επιλογή τύπου παροχής ΜΤ

Η τροφοδότηση ενός καταναλωτή γίνεται από το δίκτυο μέσης τάσης, όταν η προβλεπόμενη μέγιστη ισχύς ζήτησης της εγκατάστασης είναι μεγαλύτερη των 135kVA. Η μέγιστη ισχύς ζήτησης της εγκατάστασης ΧΤ όπως υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 7 είναι  $S=567,7\text{kVA} > 135\text{kVA}$ . Συνεπώς επιβάλλεται από τη ΔΕΗ για τεχνικούς λόγους αλλά και για την οικονομική ελάφρυνση του καταναλωτή λόγω τιμολογίου η σύνδεση με την ΜΤ. Η ΔΕΗ έχει τέσσερις τύπους τυποποιημένων παροχών μέσης τάσης (Πίνακας 9.1).

Πίνακας 9.1: Τυποποιημένες παροχές ΜΤ

Τύπος παροχής	Εγκατάσταση μέτρησης ΔΕΗ	Μέγιστη ισχύς ΥΣ
A1	εξωτερικά	630kVA
A2	εξωτερικά	περιορισμένη μόνο από το δίκτυο ΜΤ
B1	εσωτερικά	1250kVA
B2	εσωτερικά	περιορισμένη μόνο από το δίκτυο ΜΤ

Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου παροχής λαμβάνεται η προβλεπόμενη ισχύς ζήτησης της εγκατάστασης με μία αύξηση 15% για μελλοντική επέκταση της βιομηχανίας στα επόμενα δέκα χρόνια. Έτσι η ελάχιστη φαινόμενη ισχύς του Μ/Σ είναι :

$$S_{max} = S * 1,15 = 567,7 \text{ kVA} * 1,15 = 652,9 \text{ kVA}$$

Λόγω της τάξης μεγέθους της συνολικής ισχύος επιλέγεται τύπος παροχής Α2. Η ισχύς του υποσταθμού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 630 KVA, ενώ η ισχύς κάθε μετασχηματιστή (σε περίπτωση παραλληλισμού) να μην ξεπερνάει τα 800 KVA. Η παροχή γίνεται από εναέριο δίκτυο ΜΤ και τα όργανα προστασίας (διακόπτης απομόνωσης) και μέτρησης (Μ/Σ μέτρησης έντασης και τάσης) που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ τοποθετούνται εξωτερικά σε στύλο, μέσα στο οικόπεδο του καταναλωτή κοντά στα όρια του. Οι ηλεκτρονόμοι που διεγείρονται στην περίπτωση σφάλματος είναι αυτοί της αναχώρησης της γραμμής που διεγείρουν τους διακόπτες ισχύος της γραμμής.

##### 9.1.2 Εκλογή κατάλληλου μετασχηματιστή ισχύος

Λαμβάνοντας υπόψιν την προβλεπόμενη μέγιστη ισχύ της εγκατάστασης και την προσαύξηση για λόγους εφεδρείας στο μέλλον, επιλέγουμε από τα τυποποιημένα μεγέθη μετασχηματιστών ισχύος

(Πίνακας 9.2) Μ/Σ 20/0,4kV 800kVA συνδεσμολογίας Dyn11. Η ονομαστική ισχύς του Μ/Σ που έχει επιλεγεί είναι καθορισμένη βάση των εξής συνθηκών (VDE 0532):

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη των 40 °C
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη των 30 °C
- Μέση ετήσια θερμοκρασία μικρότερη των 20 °C
- Υψόμετρο της εγκατάστασης μέχρι 1000m

Η εγκατάσταση της βιομηχανίας βρίσκεται εντός των συνθηκών αυτών:

- Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος : 38 °C
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία : 28 °C
- Μέση ετήσια θερμοκρασία : 17 °C
- Υψόμετρο: 110m

επομένως η πραγματική ισχύς του Μ/Σ είναι 800kVA.

Η τάση του Μ/Σ εκλέγεται με την πρόβλεψη ότι όλα τα δίκτυα μέσης τάσης θα εξελιχθούν στην τάση των 20kV. Ο λόγος μετασχηματισμού των τάσεων συνίσταται να είναι μεταβλητός στα όρια 2.5% έως 5% και αυτό γίνεται με τη χρήση διακόπτη μεταγωγέα που αλλάζει τον αριθμό σπειρών στην πλευρά της μέσης τάσης, όπου το ρεύμα είναι μικρότερο, όταν ο Μ/Σ δεν φέρει ρεύμα.

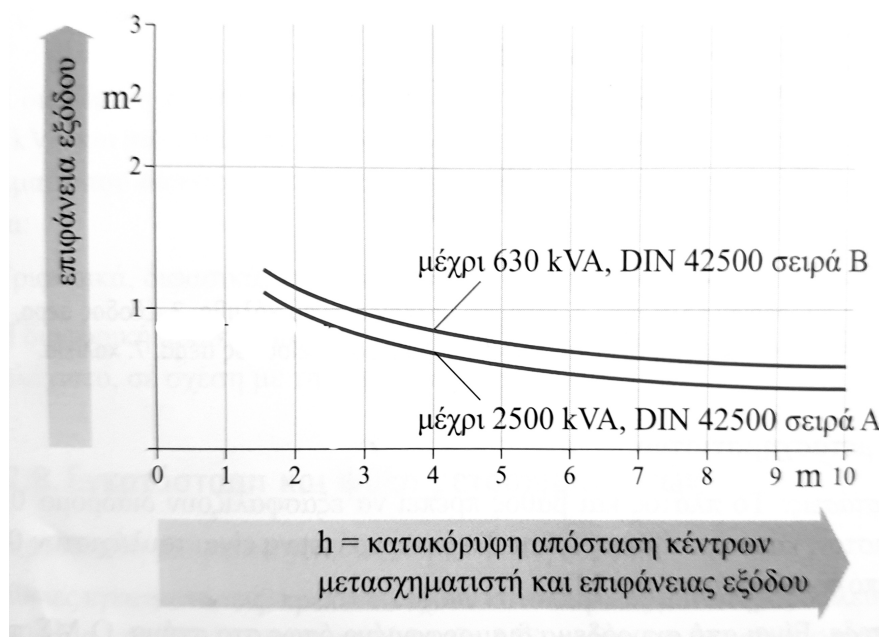
Πίνακας 9.2: Ονομαστικά δεδομένα τυποποιημένων μεγεθών μετασχηματιστών ισχύος 20/0,4kV [3]

Ονομαστική ισχύς εξόδου μετασχηματιστή (kVA)	Ονομαστική τάση λειτουργίας 400V		
	Ονομαστικό ρεύμα (A)	Ονομαστική τάση υπό βραχυκύκλωμα	
		u <sub>kr</sub> =4%	u <sub>kr</sub> =6%
		Ονομαστικό ρεύμα βραχυκ. (A)	
50	72	1805	1203
100	144	3610	2406
200	288	7220	4812
250	360	9025	6015
315	455	11375	7583
400	578	14450	9630
500	722	18050	12030
630	910	22750	15166
800	1156	28900	19260
1000	1444	36100	24060
1250	1805	45125	30080

### 9.1.3 Εγκατάσταση και ψύξη μετασχηματιστή

Ο Μ/Σ τοποθετείται πάνω σε σιδηροτροχιές σε κατάλληλα διαμορφωμένο στεγανό λάκκο από σκυρόδεμα με χαλίκια ώστε να μη μπορεί να διαρρεύσει λάδι στο έδαφος και σε περίπτωση έκρηξης του και πυρκαγιάς να μειωθεί η πιθανότητα να καεί μεγάλη ποσότητα λαδιού [1]. Το πλάτος και το βάθος του χώρου τοποθέτησης του πρέπει να εξασφαλίζουν διάδρομο τουλάχιστον 0,7m ώστε να επιτρέπει την ασφαλή είσοδο ατόμων για οπτικό έλεγχο χωρίς να είναι απαραίτητη η διακοπή της τάσης και το ύψος πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5m πάνω από το πάνω άκρο του Μ/Σ (Σχήμα 9.2 και Σχήμα 9.3).

Ένας μετασχηματιστής κατά την ομαλή του λειτουργία δεν πρέπει ν' αποκτά θερμοκρασία μεγαλύτερη από 60-65°C. Η ψύξη του Μ/Σ στον υποσταθμό γίνεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα μέσω δυο ανοιγμάτων στο τοίχο. Η είσοδος του αέρα γίνεται στο χαμηλότερο σημείο και η έξοδος στο υψηλότερο. Η διαδικασία της ψύξης περιλαμβάνει την απαγωγή θερμότητας από τα πηνία μέσω της κυκλοφορίας του μονωτικού λαδιού, η οποία μεταφέρεται στα ψυκτικά μέσα που ψύχονται από την ροή του αέρα. Η επιφάνεια εξόδου του αέρα  $A_2$  (m<sup>2</sup>) εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά του μέσου Μ/Σ από το μέσο του ανοίγματος εξόδου και λαμβάνεται από το Σχήμα 9.1.



Σχήμα 9.1: Επιφάνεια εξόδου αερισμού κτίσματος μετασχηματιστή [1]

Η επιφάνεια εισόδου του αέρα  $A_1$  (m<sup>2</sup>) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A_1 = 0,9 A_2 \quad (9.1)$$

Οι διαστάσεις για μετασχηματιστή ονομαστικής ισχύος 800kVA είναι [3]:

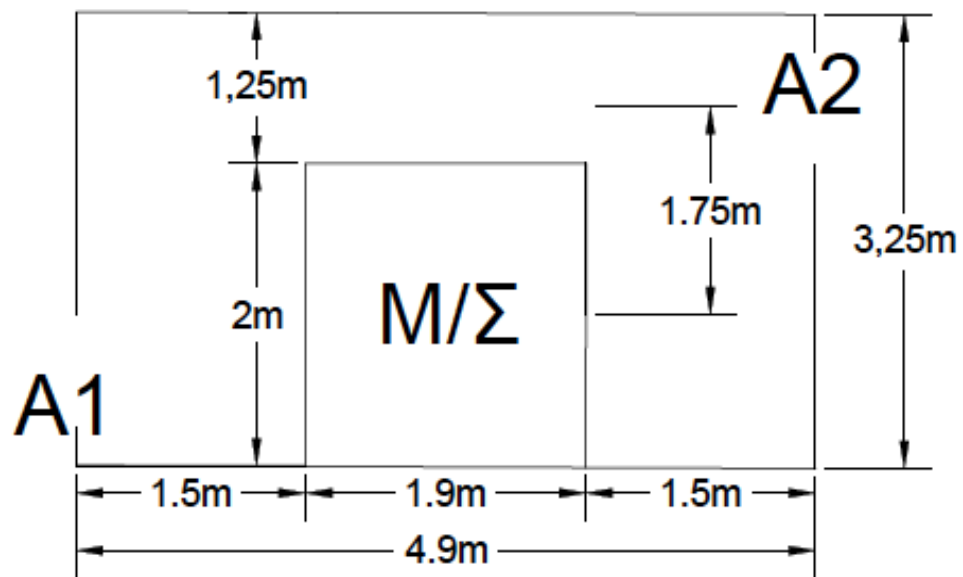
- Μήκος : 1,9m
- Πλάτος : 1,3m
- Ύψος : 2m

Από το Σχήμα 9.1 λαμβάνεται  $A_2=1,1m^2$

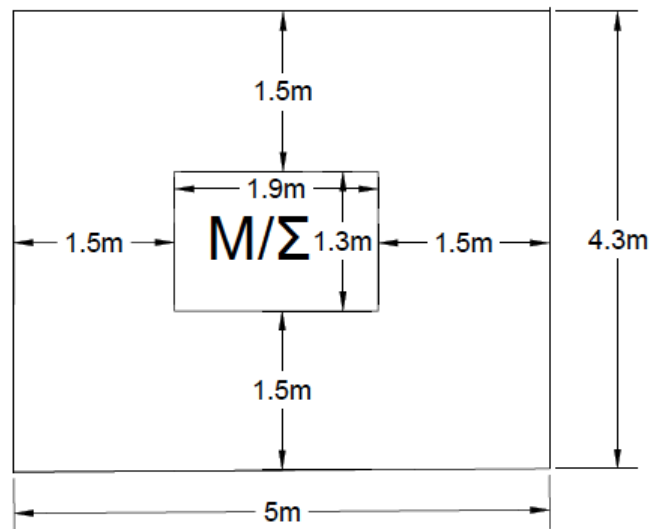
Επειδή το άνοιγμα έχει γρίλιες η επιφάνεια αυξάνεται 50% επομένως :

$A_2=1,1*1,5=1,65m^2$  Η επιφάνεια εισόδου που απαιτείται σύμφωνα με τη Σχέση 9.1 είναι:

$$A_1=0,9*1,65=1,49m^2$$



Σχήμα 9.2: Σκαρίφημα τομής χώρου τοποθέτησης M/Σ στον υποσταθμό



Σχήμα 9.3: Σκαρίφημα κάτοψης χώρου τοποθέτησης M/Σ στον υποσταθμό

## 9.2 Διαστασιολόγηση καλωδίων MT

Το μέγιστο ρεύμα ομαλής λειτουργίας στη χαμηλή τάση όπως υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 6 είναι  $I_{XT}=820,4A$ . Όταν αυτό ανάγεται στη μέση τάση  $I_{MT}=(0,4/20)*I_{XT}=0,02*820,4=16,4A$ . Η τροφοδοσία του Υ/Σ από το σημείο παροχής της ΔΕΗ γίνεται με ένα τριφασικό σύστημα μονοπολικών καλωδίων δικτυωμένου πολυαιθυλενίου N2XSΥ ονομαστικής τάσης 12/20kV με αγωγό Cu σε επίπεδη διάταξη, θαμμένο στο έδαφος σε βάθος 1,2m. Πάνω του υπάρχουν διάτρητα τούβλα και στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής (>6m) το καλώδιο βρίσκεται σε σωλήνες. Η φόρτιση είναι σταθερή για τις 16 ώρες λειτουργίας της βιομηχανίας και μηδενική τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου.

Για εγκαταστάσεις καλωδίων 1-30kV κατά VDE 0298 μέσα στο έδαφος η επιλογή διατομής γίνεται με βάση τη μέγιστη επιτρεπτή φόρτιση με ανώτατο όριο ρεύματος φόρτισης  $I_0$  (Πίνακας Π.16), λαμβάνοντας υπ' όψιν τους συντελεστές διόρθωσης:

- $f_1$  = συντελεστής ανάλογα με τη θερμοκρασίας εδάφους, (Πίνακας Π.17)
- $f_2$  = συντελεστής για περισσότερα του ενός συστήματα, (Πίνακας Π.18)
- $f_3 = 0,85$  όταν το καλώδιο βρίσκεται σε σωλήνα άνω των 6m μήκους. Αν όχι,  $f_3 = 1,0$ .
- $f_4 = 0,90$  αν υπάρχουν προστατευτικά ή σκεπάσματα που εγκλείουν αέρα. Αν όχι,  $f_4 = 1,0$ .
- $f_5$  = συντελεστής για πολυπολικά καλώδια με περισσότερους των τριών αγωγών (Πίνακας Π.19)

σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_0 = \frac{I_{max}}{f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5} \quad (9.2)$$

Για τα τροφοδοτικά καλώδια 12/20kV του υποσταθμού λαμβάνονται οι συντελεστές διόρθωσης:

- $f_1 = 0,98$  (Πίνακας Π.17 και Πίνακας 4.1), για ημερήσιο συντελεστή φόρτισης  $m=0,7$
- $f_2 = 1,0$  (Πίνακας Π.18)
- $f_3 = 0,85$
- $f_4 = 0,90$
- $f_5 = 1,0$  (Πίνακας Π.19)

$$\text{Σύμφωνα με τη Σχέση 9.2 : } I_0 = \frac{I_{max}}{f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5} = \frac{16,4}{0,98 * 1,0 * 0,85 * 0,90 * 1,0} = 21,9 A$$

Επιλέγεται ελάχιστη διατομή  $q=35mm^2$  (Πίνακας Π.17). Η διατομή αυτή πρέπει να ελεγχθεί και στην αντοχή του καλωδίου σε ρεύματα βραχυκύκλωσης που αντιστοιχεί στην ισχύ βραχυκύκλωσης που καθορίζει για το δίκτυο της η ΔΕΗ στην περιοχή εγκατάστασης του υποσταθμού ( $S=250MVA$ ) για διάρκεια  $t$  που επίσης καθορίζει η ΔΕΗ (1sec). Σύμφωνα με τη

Σχέση 6.1 η η αναγκαία διατομή  $A$  των καλωδίων N2XS<sub>Y</sub> ( $k=143$  για Cu-πολυαιθυλένιο), έτσι ώστε να αντέξουν σε βραχυκυκλώματα πρέπει να είναι :

$$A = \frac{1000 * S_k}{\sqrt{3} * U_n * k} * \sqrt{t} = \frac{250}{\sqrt{3} * 20 * 143} = 50,53 \text{ mm}^2$$

Με βάση αυτή την απαίτηση επιλέγεται για τη γραμμή τροφοδοσίας του υποσταθμού από τη ΔΕΗ τρία μονοπολικά καλώδια τύπου N2XS<sub>Y</sub> 12/20kV διατομής 50mm<sup>2</sup>. Τα καλώδια τοποθετούνται σε τρεις πλαστικούς σωλήνες των 140Φ. Για τις εξωτερικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται ακροκεφαλές πορσελάνης εξωτερικού χώρου και για τις εσωτερικές ακροκεφαλές με λάστιχο σιλικόνης. Ο ίδιο τύπος και διατομή καλωδίου καθώς και οι ακροκεφαλές θα χρησιμοποιηθούν για τα καλώδια που αναχωρούν από τους ζυγούς μέσης τάσης και οδεύουν στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή.

Η σύνδεση του Μ/Σ στη χαμηλή τάση γίνεται με τρία παράλληλα ανά φάση μονοπολικά καλώδια JIVV-R 185mm<sup>2</sup> και η γραμμή του ουδετέρου με τρία μονοπολικά καλώδια JIVV-R 95mm<sup>2</sup> (Κεφάλαιο 6).

### 9.3 Προστασία ΜΤ

#### 9.3.1 Μέσα προστασίας γραμμών ΜΤ της ΔΕΗ

Η προστασία των γραμμών αναχώρησης ΜΤ γίνεται με διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου (ΔΙ) οι οποίοι διεγείρονται από τους ηλεκτρονόμους υπερέντασης (ΗΝ). Οι ηλεκτρονόμοι τροφοδοτούνται μέσω Μ/Σ μέτρησης έντασης από το δίκτυο και όταν το ρεύμα αυξηθεί υπερβολικά στέλνει εντολή στο ΔΙ να ανοίξει. Χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

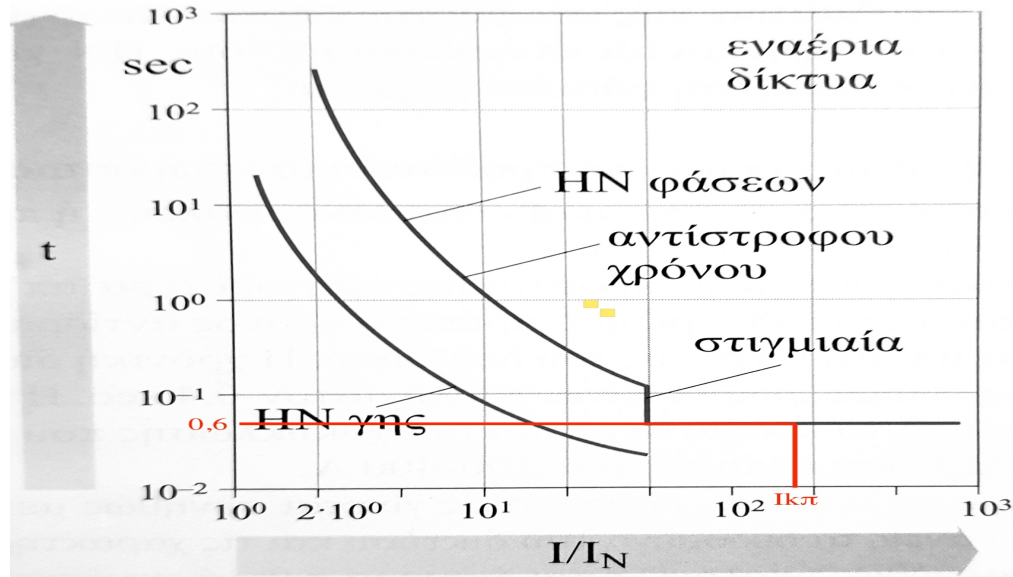
- ΗΝ-φάσεων (για σφάλματα μονοφασικά, διφασικά τριφασικά)
- ΗΝ-γης (για σφάλματα φάσης-γης)

Στα εναέρια δίκτυα έχουν χαρακτηριστικές "αντιστρόφου χρόνου" που σημαίνει που σημαίνει πως για μικρά ρεύματα οι χρόνοι διέγερσης είναι μεγάλοι και αντιστρόφως για μεγάλα μικροί. Οι ηλεκτρονόμοι δεν ανοίγουν το κύκλωμα όσο το ρεύμα δεν ξεπερνάει ένα προκαθορισμένο όριο στο οποίο ρυθμίζονται και το ανοίγουν ακαριαία σε μια ρύθμιση πολύ μεγάλου ρεύματος. Οι ΔΙ των εναέριων γραμμών εκτελούν περισσότερους κύκλους επαναφοράς (Open-Close-Open) γιατί τα σφάλματα μπορεί να είναι παροδικά [1]. Τα εναέρια δίκτυα της ΔΕΗ 15 ή 20kV χρησιμοποιούν ΗΝ γης αντιστρόφου χρόνου με την κλασική ρύθμιση των 80Α (Σχήμα 9.4).

Ο τύπος παροχής είναι αυτός που καθορίζει τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ στη διακλάδωση της γραμμής σε καταναλωτή ΜΤ. Για παροχή τύπου Α2 χρησιμοποιείται Διακόπτης



απομόνωσης (ΔΑ) ο οποίος δεν διακόπτει το ρεύμα βραχυκύκλωσης αλλά έχει προδιαγραφές διακόπτη φορτίου. Έτσι σε περίπτωση σφάλματος διεγείρονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης και από τους κύκλους λειτουργίας του ΔΙ στην αναχώρηση της γραμμής. Ανοίγουν στον πρώτο ή στον τελευταίο κύκλο επαναφοράς και παραμένουν ανοιχτοί απομονώνοντας τον καταναλωτή, ενώ ο ΔΙ στην αναχώρηση της γραμμής κλείνει και παραμένει κλειστός [1].



Σχήμα 9.4: Χαρακτηριστικές HN αντίστροφου χρόνου εναέριων δικτύων [1]

### 9.3.2 Προστασία μετασχηματιστή έναντι βραχυκυκλωμάτων

Η προστασία του Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα πρέπει να εξασφαλίζεται, διότι μπορεί να πυροδοτηθεί πυρκαγιά ή να εκραγεί. Ο συγκεκριμένος μπορεί να αντέξει χωρίς σοβαρή βλάβη σε ρεύματα βραχυκυκλωμάτων για 3sec και μάλιστα όταν το βραχυκύκλωμα γίνεται στη ΧΤ, οπότε τα ρεύματα είναι 16-25 φορές μεγαλύτερα του ονομαστικού

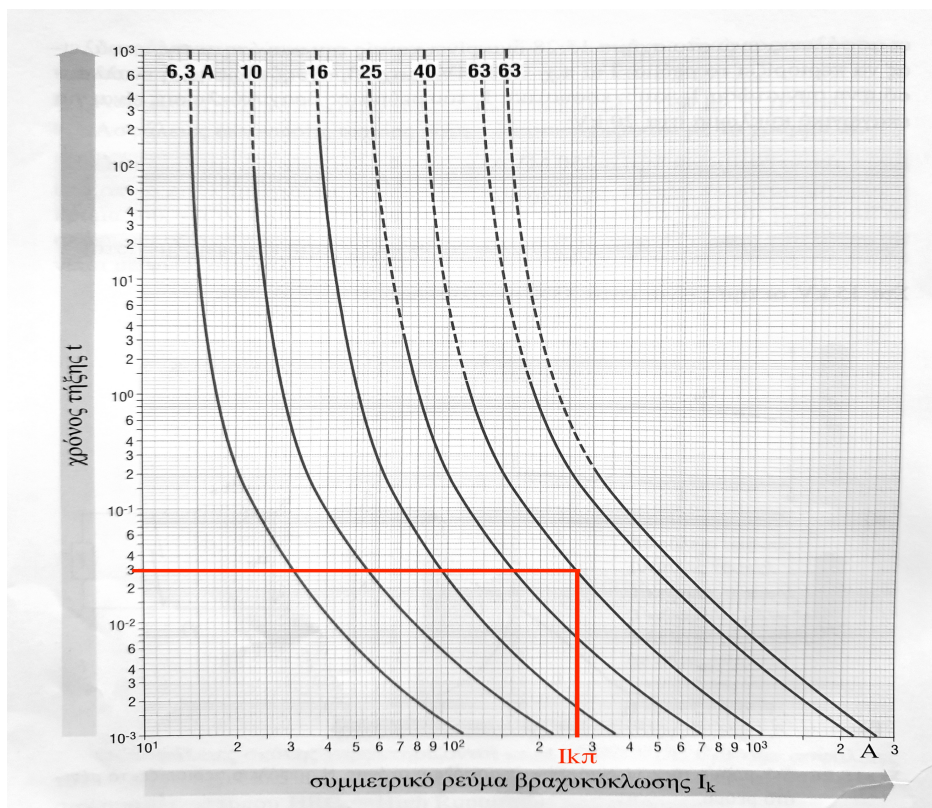
Ο καταναλωτής πρέπει να εξασφαλίσει επιλεκτική συνεργασία του μέσου προστασίας του υποσταθμού με τους HN της ΔΕΗ. Έτσι δύναται να χρησιμοποιήσει ασφάλειες σκόνης τύπου HH (κατά VDE 670) μέγιστης ονομαστικής έντασης 50A, οι καμπύλες των οποίων συνεργάζονται με τους HN γης της ΔΕΗ, είτε διακόπτες ισχύος, οι ηλεκτρονόμοι των οποίων ρυθμίζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται επιλεκτική συνεργασία με αυτούς της ΔΕΗ. Οι ασφάλειες προτιμούνται έναντι των ΔΙ, διότι περιορίζουν σημαντικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης και κοστίζουν λιγότερο. Χαρακτηρίζονται από τα εξής στοιχεία:

- ονομαστική τάση δικτύου/μέγιστη επιτρεπόμενη τάση
- ονομαστικό ρεύμα  $I_N$  σε A
- μέγιστη ενεργός τιμή του ρεύματος  $I_k$  που μπορεί να διακόψει

- ισχύς βραχυκύκλωσης
- απώλειες στο ονομαστικό ρεύμα
- χαρακτηριστικές καμπύλες (Σχήμα 9.5)

Επειδή όμως δεν έχουν τη δυνατότητα απόζευξης υπό φορτίο πρέπει να συνδυάζονται πάντα με διακόπτες φορτίου (ΔΦ). Οι διακόπτες φορτίου μπορούν να διακόπτουν ή να συνδέουν το κύκλωμα υπό ονομαστικό φορτίο και όχι σε μεγαλύτερα ρεύματα. Για τους υποσταθμούς χρησιμοποιούνται ΔΦ με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές ώστε να μπορεί κάποιος από έξω να δει τη θέση του διακόπτη για να κάνει με ασφάλεια εργασίες πάνω στο κύκλωμα που απομονώνει. Χαρακτηρίζονται από τα εξής στοιχεία:

- ονομαστική τάση δικτύου/μέγιστη επιτρεπόμενη τάση
- ονομαστικό ρεύμα  $I_r$  σε A (μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη ένταση)
- ένταση διακοπής
- ένταση διακοπής ρευμάτων μαγνήτισης ΜΣ
- ένταση ζεύξης
- ένταση διακοπής χωρητικού φορτίου
- θερμική αντοχή 1sec
- ηλεκτροδυναμική αντοχή



Σχήμα 9.5: Χαρακτηριστικές τήξης ασφαλειών σκόνης (δεδομένα κατασκευαστή) [1]

Για τη διαστασιολόγηση των μέσων προστασίας MT λαμβάνονται υπόψιν οι παρακάτω τιμές:

- Ένταση βραχυκυκλώσεως  $I_k$  (Σχέση 6.3)
- Ονομαστική ένταση πρωτεύοντος Μ/Σ  $I_{NI}$
- Ονομαστική ένταση δευτερεύοντος Μ/Σ  $I_{NA}$
- Ένταση βραχυκυκλώσεως πρωτεύοντος Μ/Σ  $I_{kII}$

$$I_{kII} = \frac{I_{NI}}{U_k} \quad (9.3)$$

- Ένταση βραχυκυκλώσεως δευτερεύοντος Μ/Σ  $I_{kΔ}$

$$I_{kΔ} = \frac{I_{NA}}{U_k} \quad (9.4)$$

Η εκλογή των ασφαλειών γίνεται από τον Πίνακα Π.20 και πρέπει να ελεγχθούν ως προς τη συνεργασία τους με τους HN της ΔΕΗ.

Η ένταση του ρεύματος (ενεργός τιμή) σε συνθήκη βραχυκυκλώματος ισχύος 250MVA, όπως καθορίζει η ΔΕΗ στην περιοχή εγκατάστασης του Υ/Σ ανάγεται σύμφωνα με τη Σχέση 6.3:

$$I_k = \frac{250MVA}{\sqrt{3} * 20kV} = 7,21 kA$$

Η ένταση βραχυκυκλώσεως δευτερεύοντος Μ/Σ είναι σύμφωνα με τη Σχέση 9.3:

$$I_{kΔ} = \frac{I_{NA}}{U_k} = \frac{820,4}{0,06} = 13673,3 A = 13,7 kA$$

Η ένταση βραχυκυκλώσεως πρωτεύοντος Μ/Σ είναι σύμφωνα με τη Σχέση 9.4:

$$I_{kII} = \frac{I_{NI}}{U_k} = \frac{16,4}{0,06} = 273,3 A$$

Στην άφιξη των καλωδίων MT στην κυψέλη του υποσταθμού εκλέγεται τριπολικός διακόπτης φορτίου με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές, ονομαστικής τάσης 20/24kV, ονομαστικής έντασης 400A, ένταση διακοπής 400A (υπό  $\cos\phi=0,7$ ), ικανότητα ζεύξης 40kA και θερμική αντοχή 16kA/sec. Ίδιος ΔΦ τοποθετείται στην αναχώρηση της γραμμής από τους ζυγούς MT, ώστε να επιτρέπει την εύκολη απόξευση του Μ/Σ για τεχνικούς λόγους. Η προστασία του Μ/Σ από βραχυκυκλώματα επιτυγχάνεται με ασφάλειες σκόνης τύπου HH (Πίνακας Π.20) ονομαστικής τάσης 20/24kV, ονομαστικής έντασης 40A, μέγιστου ρεύματος διακοπής (ενεργός τιμής) 40kA, ισχύος βραχυκύκλωσης 600MVA και ελάχιστο ρεύμα διακοπής  $I_{min}=120A$  ( $3*I_N$ ). Οι ασφάλειες αυτές προτάσσονται των διακοπών ισχύος στην άφιξη των καλωδίων από τους ζυγούς MT. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στην πλευρά XT πριν από το γενικό μέσο προστασίας XT, οι ασφάλειες τήκονται προστατεύοντας τον Μ/Σ, καθώς  $I_{kII} > I_{min}$  ( $273,3A > 120A$ ). Εξασφαλίζουν επίσης επιλεκτική συνεργασία με τα μέσα προστασίας της ΔΕΗ ( $t_B - t_A = 0,4s$ ), καθώς σε ρεύμα σφάλματος  $I_k$  οι ασφάλειες τήκονται σε χρόνο  $t_A = 0,3s$  (Σχήμα 9.5), ενώ οι HN της ΔΕΗ

διεγείρονται σε χρόνο  $t_B=0,6$  (Σχήμα 9.4).

### 9.3.3 Προστασία μετασχηματιστή έναντι υπερφορτίσεων

Οι ασφάλειες προστατεύουν τον Μ/Σ σε ρεύματα βραχυκυκλωμάτων ( $>3 \cdot I_N$ ), αλλά δεν εξασφαλίζουν την προστασία του από συνεχείς υπερφορτίσεις για ρεύματα ( $<3 \cdot I_N$ ) διατρέχοντας έτσι κίνδυνο σοβαρής βλάβης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται θερμομέτρα λαδιού ή θερμίστορ τα οποία είναι εμφυτευμένα στα τυλίγματα του Μ/Σ κατά την κατασκευή του. Η θερμοστατική διάταξη του μετασχηματιστή ρυθμίζεται στην ανώτερη ανεκτή θερμοκρασία ώστε η θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος λαδιού να είναι κατώτερη των  $100^\circ\text{C}$ . Αν η θερμοκρασία του μετασχηματιστή ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια λειτουργεί ένα σύστημα επαφών, το οποίο προκαλεί τη σήμανση ( $80^\circ\text{C}$ ) ή τη διακοπή σε όταν δεν αποκατασταθεί η ψύξη του και υπάρξει μεγαλύτερη άνοδος της θερμοκρασίας ( $95^\circ\text{C}$ ) [1]. Συνεπικουρικά συμβάλουν στον περιορισμό της υπερφόρτισης οι ασφάλειες τύπου NH ή οι αυτόματοι ΔΙ που τοποθετούνται στην ΧΤ.

Για την προστασία κατά της υπερφόρτισης των καλωδίων ΧΤ και του Μ/Σ εκλέγεται στον πίνακα χαμηλής τάσης αυτόματος διακόπτης ισχύος περιοχής ρύθμισης του θερμικού (630-1600A) και ρυθμιζόμενος στο ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας 820A. Ο διακόπτης αυτός δεν χρειάζεται να δρα σε βραχυκυκλώματα στους ζυγούς ΧΤ, γιατί η προστασία αυτή εξασφαλίζεται από τις ασφάλειες σκόνης HH.

## 9.4 Διατάξεις κυψελών MT

Η αναχώρηση των καλωδίων προς τον Μ/Σ καθώς και τα μέσα προστασίας και ζεύξης MT εγκαθίστανται σε κυψέλες MT (πίνακες MT), οι οποίες έχουν τρία τμήματα. Στο κάτω τμήμα εγκαθίστανται τα στοιχεία αναχώρησης ή άφιξης, δηλαδή τα καλώδια, οι ασφάλειες, οι αποζεύκτες και οι γειωτές. Στο δεύτερο τμήμα βρίσκονται οι ζυγοί, οι οποίοι συνδέονται με τις κυψέλες με μονωτήρες στήριξης 'εσωτερικού χώρου' από εποξειδική ρητίνη που βρίσκονται στην οροφή του τμήματος. Οι διαστάσεις των ζυγών πρέπει να αντέχουν στο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας και στο ρεύμα βραχυκυκλωμάτων (7,22kA στα 20kV). Εκλέγονται (Πίνακας Π.21) χάλκινες μπάρες διαστάσεων  $40 \times 50 \text{ mm}^2$  και οι συνδέσεις γίνονται με επικαδμιόμενους χαλύβδινους κοχλίες M10, κατηγορίας αντοχής 5.8 (DIN 267). Τέλος στο τρίτο τμήμα βρίσκονται οι ηλεκτρονόμοι και τα όργανα. Τα τοιχώματα των κυψελών είναι κατασκευασμένα από λαμαρίνα χαλύβδινη πάχους 3mm ώστε να εξασφαλίζουν αντοχή στο ηλεκτρικό τόξο και στιβαρότητα. Κάθε αναχώρηση ή άφιξη καταλαμβάνει δική της κυψέλη. Οι κυψέλες τοποθετούνται η μια δίπλα στην άλλη χωρισμένες με λαμαρινένιους τοίχους, ώστε σε περίπτωση σφάλματος το ηλεκτρικό τόξο να περιορίζεται στο

χώρο της κυψέλης και να μην προκαλεί ζημιές στις διπλανές. Στο κάτω μέρος της κυψέλης υπάρχει ένα χαντάκι βάθους ίσο με την ελάχιστη ακτίνα κάμψης των καλωδίων (400mm για καλώδια 50mm<sup>2</sup>), ώστε να εισέρχονται τα καλώδια. Μπροστά από τις κυψέλες πρέπει να υπάρχει διάδρομος ελάχιστου πλάτους 0,7m ώστε να διευκολύνεται η συναρμολόγηση τους. Οι ελάχιστες αποστάσεις φάσης-φάσης και φάσης-γης είναι 215mm για 20kV και καθορίζονται από τις τάσεις που πρέπει να αντέχει η εγκατάσταση [1]. Τα γενικά στοιχεία του πίνακα MT είναι:

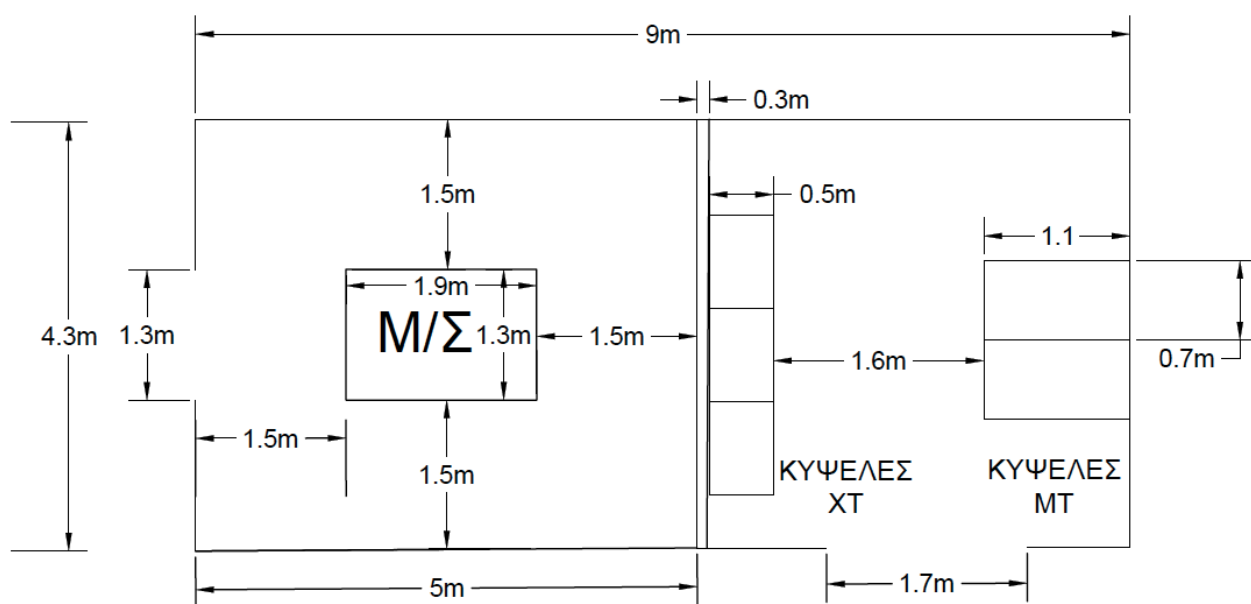
#### Κυψέλη άφιξης καλωδίων μέσης τάσης

- προστατευμένα ανοίγματα για την καλύτερη επιθεώρηση του εσωτερικού
- χωρητικούς καταμεριστές (ενδεικτικές λυχνίες)
- διακόπτης φορτίου με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές (20/24kV, 400A, 16kA/sec) στην είσοδο με διαφράγματα απομόνωσης χώρου εισόδου των καλωδίων μέσης τάσης, κλειδί ασφαλείας στη θέση OFF
- απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων 40kA (10/350μs)
- ζυγοί χαλκού και μονωτήρες
- γειωτή στην έξοδο μανδαλωμένο με το διακόπτη και μανδαλωμένο με την πόρτα της κυψέλης

#### Κυψέλη προστασίας Μ/Σ

- διακόπτης φορτίου με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές (20/24kV, 400A, 16kA/sec) στην είσοδο με διαφράγματα απομόνωσης χώρου μέσης τάσης από το χώρο , κλειδί ασφαλείας στη θέση OFF
- βάσεις ασφαλειών και φυσίγγια ασφαλειών σκόνης HH 20/24kV, 40A, 40kA
- χωρητικούς καταμεριστές (ενδεικτικές λυχνίες)
- πηνίο εργασίας 220 V, 50 Hz και βοηθητικές επαφές
- χειριστήρια
- προστατευμένα ανοίγματα για την καλύτερη επιθεώρηση του εσωτερικού, είσοδο των καλωδίων από κάτω
- γειωτή στην έξοδο μανδαλωμένο με το διακόπτη και μανδαλωμένο με την πόρτα της κυψέλης

Η διάταξη του υποσταθμού με τις απαιτούμενες αποστάσεις ώστε να εξασφαλίζεται η άνετη πρόσβαση κατά τη κατασκευή και συντήρηση του υποσταθμού απεικονίζεται στον Σχήμα 9.6.



Σχήμα 9.6: Σκαρίφημα κάτοψης υποσταθμού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τις προδιαγραφές που ορίζει το πρότυπο ΕΛΟΤ HD-384 έγινε διαστασιολόγηση όλων των αγωγών που τροφοδοτούν τον υποσταθμό, τον μετασχηματιστή, τον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης, τους επιμέρους υποπίνακες και τα τερματικά τους κυκλώματα. Η διατομή των αγωγών εκλέχθηκε αρχικά (λαμβάνοντας υπόψη όλες τις συνθήκες εγκατάστασης), με βάση την απαίτηση του προτύπου να μην υπερβεί η θερμοκρασία της μόνωσης ένα καθορισμένο επιτρεπτό όριο, όταν διαρρέονται από ονομαστικό ρεύμα. Η τελική απόφαση για την εκλογή της κατάλληλης διατομής των αγωγών έγινε με βάση τις εξής παραμέτρους:

- i. η συνολική πτώση τάσης από το δευτερεύον του Μ/Σ έως το πιο δυσμενές φορτίο να είναι μικρότερη του 4% όπως ορίζει το πρότυπο
- ii. να μην προκαλείται υπερθέρμανση του αγωγού σε συνθήκες βραχυχρόνιας φόρτισης (εκκίνηση κινητήρων)
- iii. αντοχή καλωδίων σε υψηλά ρεύματα βραχυκυκλώματος

Έγινε επίσης διαστασιολόγηση των μέσων προστασίας στις κυψέλες ΜΤ του υποσταθμού, στον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης και στους επιμέρους υποπίνακες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου για την ασφαλή και ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Προσδιορίστηκαν με βάση τις εξής προϋποθέσεις:

- ικανότητα διακοπής σε αναμενόμενα ρεύματα βραχυκυκλωμάτων
- να επιτρέπουν την εκκίνηση των κινητήρων με ρεύμα πολλαπλάσιου του ονομαστικού και να διακόπτουν το κύκλωμα σε συνεχή υπερφόρτιση ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία των γραμμών και των μηχανημάτων
- να εξασφαλίζεται επιλογική συνεργασία μεταξύ τους
- ικανότητα διακοπής του κυκλώματος σε καθορισμένο χρόνο που ορίζει το πρότυπο για την προστασία των ανθρώπων από επικίνδυνες τάσεις επαφής

Τέλος διαμορφώθηκε το σύστημα γειώσεων των κτηρίων με βάση τις προδιαγραφές που ορίζει το πρότυπο για την ασφάλεια της εγκατάστασης και των ατόμων και εξετάστηκαν τα κύρια σφάλματα στο δίκτυο TN-C-S της βιομηχανίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία συμβάλλει στην κατανόηση και την εφαρμογή των προδιαγραφών που ορίζει το πρότυπο ΕΛΟΤ HD-384 σε μια ηλεκτρολογική μελέτη βιομηχανικής εγκατάστασης για την επίτευξη της ομαλούς και ασφαλούς λειτουργίας καθώς και στην ανάλυση των σφαλμάτων που μπορούν να προκύψουν σε δίκτυο TN-C-S.

Κατά την επεξεργασία του θέματος προέκυψε η ανάγκη μελέτης και ανάλυσης σφαλμάτων στη ΧΤ και ΜΤ βιομηχανικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων με συστήματα γείωσης ΙΤ και ΤΤ και συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων για όλα τα συστήματα γείωσης.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ντοκόπουλος Π., “Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2009.
- [2] Περαντζάκης Γ., “Διδακτικές Σημειώσεις στο μάθημα Ηλεκτρικές Μηχανές του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας”.
- [3] ΔΕΔΔΗΕ, “Τεχνική Περιγραφή ΔΕΔΔΗΕ: Τριφασικοί Μετασχηματιστές Διανομής”, Σεπτέμβριος 2014
- [4] Gunter G.S., “Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις”, Siemens, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη, 2015.
- [5] ΕΛΟΤ-HD 384, “Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ΕΛΟΤ”, ΦΕΚ Β/470 Β/5-3-2004, Μάρτιος 2004.
- [6] Μπιτζιώνης Β., “Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις”, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη, 2015.
- [7] Τουλόγλου Σ., “Ηλεκτρικές Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις (Κίνησης) & Υποσταθμοί (Μέσης Τάσης)”, Εκδόσεις ΙΩΝ, Περιστέρι Αττικής, 2001.
- [8] Διαδικτυακή πηγή “TiSoft”. <http://www.ti-soft.com/el/support/help/electrical>
- [9] Διαδικτυακή πηγή “ELECTRICALNEWS – Ηλεκτρολογικά νέα – Τεχνικά άρθρα”. <http://www.electricalnews.gr>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

*Πίνακας Π.1*

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Κ1</b> <b>Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα (σε Α)</b> <b>εντοιχισμένων (χωνευτών) και επιτοιχείων (ορατών) ηλεκτρικών γραμμών</b> <b>Μόνωση από PVC ή EPR ή XLPE</b>										
Μόνωση	Πλήθος Φορτιζόμενων αγωγών	Οι αριθμοί παραπέμπουν στις στήλες που ακολουθούν								
		Μονωμένοι αγωγοί σε σωλήνα		Πολυπολικό καλώδιο						
				Γυμνό		Σε σωλήνα				
		Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο			
PVC	2	3	5	3	6	2	4			
	3	2	4	2	5	1	3			
EPR ή XLPE	2	5	9	6	9	5	8			
	3	5	7	5	8	4	6			
		Στήλες								
Χαλός	mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	19	20	22	23
	2,5	17,5	18	19,5	21	23	26	28	30	31
	4	23	24	26	28	31	35	37	40	42
	6	29	31	34	36	40	44	48	51	54
	10	39	42	46	50	54	60	66	69	75
	16	52	56	61	68	73	80	88	91	100
	25	68	73	80	89	95	105	117	119	133
	35	83	89	99	109	117	128	144	146	164
	50	99	108	118	130	141	154	175	175	198
	70	125	136	149	164	179	194	222	221	253
	95	150	164	179	197	216	233	269	265	306
	120	172	188	206	227	249	268	312	305	354
	150	196	216	240	259	285	318	-	371	441
	185	223	245	273	295	324	362	-	424	506
	240	261	286	321	346	380	424	-	500	599
	300	298	328	367	396	435	486	-	576	693
Αλουμίνιο	16	41	43	48	53	58	64	71	72	79
	25	53	57	62	70	73	84	93	90	101
	35	65	70	77	86	90	103	116	112	126
	50	78	84	92	104	110	124	140	136	154
	70	98	107	116	131	140	156	179	174	198
	95	118	129	139	157	170	188	217	211	241
	120	135	149	160	180	197	216	251	245	280
	150	155	170	189	206	226	253	-	283	324
	185	176	194	215	233	256	288	-	323	371
	240	207	227	252	273	300	338	-	362	439
	300	237	261	289	313	344	387	-	440	508

Πίνακας Π.2

**ΠΙΝΑΚΑΣ 52-K2**  
**Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα (σε Α) ηλεκτρικών γραμμών με καλώδια στον αέρα (σε απόσταση από τοίχους ή άλλα δομικά υλικά)**  
**Μόνωση από PVC ή EPR ή XLPE**

Μόνωση	Πλήθος Φορτιζόμενων αγωγών	Οι αριθμοί παραπέμπουν στις στήλες που ακολουθούν								
		Πολυπολικά καλώδια	Μονοπολικά καλώδια							
			Σε επαφή μεταξύ τους				Σε απόσταση μεταξύ τους			
			Διάταξη επίπεδη οριζόντια ή κατακόρυφη	Διάταξη τριγωνική	Διάταξη επίπεδη οριζόντια	Διάταξη επίπεδη κατακόρυφη				
PVC	2	2	5		-		-		-	
	3	1	4		4		7		5	
EPR ή XLPE	2	3	8		-		-		-	
	3	2	7		6		9		8	
		Στήλες								
Χαλκός	mm²	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,5	18,5	22	26	-	-	-	-	-	-
	2,5	25	30	36	-	-	-	-	-	-
	4	34	40	49	-	-	-	-	-	-
	6	43	51	63	-	-	-	-	-	-
	10	60	70	86	-	-	-	-	-	-
	16	80	94	115	-	-	-	-	-	-
	25	101	119	149	110	130	135	141	161	182
	35	126	148	185	137	162	169	176	200	226
	50	153	180	225	167	196	207	216	242	275
	70	196	232	289	216	251	268	279	310	353
	95	238	282	352	264	304	328	341	377	430
	120	276	328	410	308	352	383	396	437	500
	150	319	379	473	356	406	444	456	504	577
	185	364	434	542	409	463	510	521	575	661
	240	430	514	641	485	546	607	615	679	781
	300	497	593	741	561	629	703	709	783	902
	400	-	-	-	656	754	823	852	940	1085
	500	-	-	-	749	868	946	982	1083	1253
630	-	-	-	855	1005	1088	1138	1254	1454	
Αλουμίνιο	16	61	73	91	-	-	-	-	-	-
	25	78	89	108	84	98	103	107	121	138
	35	96	111	135	105	122	129	135	150	172
	50	117	135	164	128	149	159	165	184	210
	70	150	173	211	166	192	206	215	237	271
	95	183	210	257	203	235	253	264	289	332
	120	212	244	300	237	273	296	308	337	387
	150	245	282	346	274	316	343	356	389	448
	185	280	322	397	315	363	395	407	447	515
	240	330	380	470	375	430	471	482	530	611
	300	381	439	543	434	497	547	557	613	708
	400	-	-	-	526	600	663	671	740	856
	500	-	-	-	610	694	770	775	856	991
	630	-	-	-	711	808	899	900	996	1154

Πίνακας Π.3

**ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Κ3**  
**Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα (σε Α) καλωδίων τοποθετημένων στο έδαφος**  
**Μόνωση από PVC ή EPR ή XLPE**

Αγωγός	mm <sup>2</sup>	Μόνωση			
		PVC		EPR ή XLPE	
		Πλήθος φορτιζόμενων αγωγών			
		2	3	2	3
Χαλκός	1,5	22	18	26	22
	2,5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178
	95	216	179	252	211
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
	185	312	258	363	304
	240	361	297	419	351
	300	408	336	474	396
Αλουμίνιο	16	62	52	73	61
	25	80	66	93	78
	35	96	80	112	94
	50	113	94	132	112
	70	140	117	163	138
	95	166	138	193	164
	120	189	157	220	186
	150	213	178	249	210
	185	240	200	279	236
	240	277	230	322	272
	300	313	260	364	308

**Πίνακας 52-Δ1**

Συντελεστές διόρθωσης για  
θερμοκρασία περιβάλλοντος  
διαφορετική από 30°C. Εφαρμόζονται  
για τη διόρθωση των τιμών του  
μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος  °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Πίνακας Π.5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Δ2**

Συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασία εδάφους διαφορετική από 20°C. Εφαρμόζεται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον Πίνακα 52-K3

Θερμοκρασία εδάφους °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Πίνακας Π.6

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 52 -Δ3</b> Συντελεστές διόρθωσης για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους διαφορετική από 2.5 K.m/W Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον Πίνακα 52-K3					
Ειδική θερμική αντίσταση K.m/W	1	1.5	2	2.5	3
Συντελεστής διόρθωσης	1,18	1,10	1,05	1	0,96

Πίνακας Π.7

ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Ε1

Συντελεστές διόρθωσης για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα κυκλωμάτων ή περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων σε επαφή ή σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που στους Πίνακες 52-K1 και 52-K2

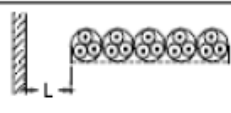
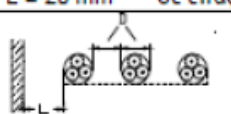
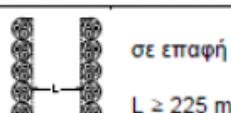
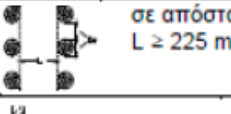
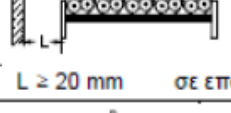
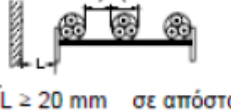
α/α	Τρόπος τοποθέτησης μονωμένων αγωγών ή καλωδίων	Πλήθος κυκλωμάτων ή πολυπολικών καλωδίων											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	- Ελεύθερα στον αέρα ή - επάνω στην επιφάνεια δομικού υλικού ή - επιτοίχια γυμνά ή σε σωλήνα ή - εντοιχισμένα γυμνά ή σε σωλήνα	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
2	Σε απλή στρώση, σε επαφή με τοίχο ή με δάπεδο ή επάνω σε συμπαγή φορέα καλωδίων	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70
3	Σε απλή στρώση, στερεωμένη απευθείας κάτω από οροφή	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61

Σημειώσεις: 1. Αυτοί οι συντελεστές εφαρμόζονται σε ομοιόμορφες ομάδες ισοφορτισμένων καλωδίων  
2. Όταν η οριζόντια απόσταση γειτονικών καλωδίων υπερβαίνει το διπλάσιο της διαμέτρου τους δεν απαιτείται καμία διόρθωση.  
3. Οι ίδιοι συντελεστές χρησιμοποιούνται για:  
ομάδες δύο ή τριών μονοπολικών καλωδίων και πολυπολικά καλώδια.  
4. Αν ένα σύστημα περιλαμβάνει διπολικά και τριπολικά καλώδια, το συνολικό πλήθος των καλωδίων λαμβάνεται ως πλήθος κυκλωμάτων και ο αντίστοιχος συντελεστής πολλαπλασιάζεται επί τις τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται από τους Πίνακες για διπολικά και για τριπολικά καλώδια αντιστοίχως.  
5. Αν μια ομάδα αποτελείται από ν μονοπολικά καλώδια μπορεί να θεωρηθεί είτε ως ν/2 κυκλώματα δύο φορτιζόμενων αγωγών είτε ως ν/3 κυκλώματα τριών φορτιζόμενων αγωγών.

Πίνακας Π.8

ΠΙΝΑΚΑΣ 52-E4

Συντελεστές διόρθωσης για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων  
Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος των πολυπολικών  
καλωδίων που δίνονται στον Πίνακα 52-K2

Τρόπος εγκατάστασης		Πλήθ ος φορέ ων	Πλήθος καλωδίων					
			1	2	3	4	6	9
Οριζόντιοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (βλ σημείωση 2)	 L ≥ 20 mm σε επαφή	1 2 3	1,00 1,00 1,00	0,88 0,87 0,86	0,82 0,80 0,79	0,79 0,77 0,76	0,76 0,73 0,71	0,73 0,68 0,66
	 L ≥ 20 mm σε απόσταση	1 2 3	1,00 1,00 1,00	1,00 0,99 0,98	0,98 0,96 0,95	0,95 0,92 0,91	0,91 0,87 0,85	- - -
Κατακόρυφοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (βλ σημείωση 3)	 σε επαφή L ≥ 225 mm	1 2	1,00 1,00	0,88 0,88	0,82 0,81	0,78 0,76	0,73 0,71	0,72 0,70
	 σε απόσταση L ≥ 225 mm	1 2	1,00 1,00	0,91 0,91	0,89 0,88	0,88 0,87	0,87 0,85	- -
Εσχάρες καλωδίων, συρμάτινα πλέγματα, βραχίονες, κλπ ( βλ. σημείωση 2)	 L ≥ 20 mm σε επαφή	1 2 3	1,00 1,00 1,00	0,87 0,86 0,85	0,82 0,80 0,79	0,80 0,78 0,76	0,79 0,76 0,73	0,78 0,73 0,70
	 L ≥ 20 mm σε απόσταση	1 2 3	1,00 1,00 1,00	1,00 0,99 0,98	1,00 0,98 0,97	1,00 0,97 0,96	1,00 0,96 0,93	- - -

Σημειώσεις: 1. Οι συντελεστές ισχύουν για απλές σειρές (στρώσεις) καλωδίων όπως φαίνεται στα παραπάνω σχέδια. Δεν ισχύουν για καλώδια τοποθετημένα σε περισσότερες στρώσεις σε επαφή μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση οι συντελεστές πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότεροι και πρέπει να προσδιορίζονται με μια κατάλληλη μέθοδο.

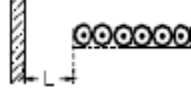
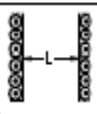

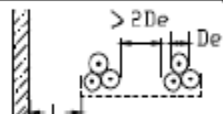
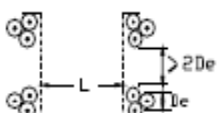
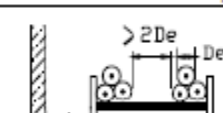
2. Οι συντελεστές δίνονται για κατακόρυφη απόσταση μεταξύ φορέων τουλάχιστον 300mm και μεταξύ φορέων και τοίχου τουλάχιστον 20 mm. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται.

3. Οι συντελεστές δίνονται για οριζόντια απόσταση μεταξύ φορέων 225 mm με τους φορείς τοποθετημένους όπως φαίνεται στα παραπάνω σχέδια. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται.



ΠΙΝΑΚΑΣ 52-E5

Συντελεστές διόρθωσης για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα μονοπολικών καλωδίων.  
Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος των μονοπολικών καλωδίων που δίνονται στον Πίνακα 52-K2

Τρόπος εγκατάστασης	Πλήθος φορέων	Πλήθος τριφασικών κυκλωμάτων (Βλ. σημείωση 4)		
		1	2	3
Οριζόντιοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 2)		1	0,98	0,91
	2	0,96	0,87	0,81
	3	0,95	0,85	0,78
Κατακόρυφοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 3)		1	0,98	0,86
	2	0,95	0,84	-
Εσχάρες καλωδίων, συρμάτινα πλέγματα, βραχίονες (Βλ. σημείωση 2)		1	1,00	0,97
	2	0,98	0,93	0,89
	3	0,97	0,90	0,80
Οριζόντιοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 2)		1	1,00	0,96
	2	0,97	0,93	0,89
	3	0,96	0,92	0,86
Κατακόρυφοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 3)		1	1,00	0,91
	2	1,00	0,90	0,86
Εσχάρες καλωδίων, συρμάτινα πλέγματα, βραχίονες (Βλ. σημείωση 2)		1	1,00	1,00
	2	0,97	0,95	0,93
	3	0,96	0,94	0,90

Σημειώσεις: 1. Οι συντελεστές ισχύουν για απλές σειρές (στρώσεις) καλωδίων σε τριγωνικές διατάξεις όπως φαίνεται στα παραπάνω σχέδια. Δεν ισχύουν για καλώδια τοποθετημένα σε ανήκουν περισσότερες στρώσεις σε επαφή μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση οι συντελεστές πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότεροι και πρέπει να προσδιορίζονται με μια κατάλληλη μέθοδο.

2. Οι συντελεστές δίνονται για κατακόρυφη απόσταση μεταξύ φορέων τουλάχιστον 300mm. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται.

3. Οι συντελεστές δίνονται για οριζόντια απόσταση μεταξύ 225 mm με τους φορείς τοποθετημένους όπως φαίνεται στα παραπάνω σχέδια. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται.

4. Για κυκλώματα με περισσότερα από ένα καλώδια σε παράλληλη σύνδεση σε κάθε φάση, κάθε ομάδα τριών αγωγών, πρέπει, για την εφαρμογή αυτού του Πίνακα, να θεωρείται ως ένα κύκλωμα.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Ε2

Συντελεστές διόρθωσης για περισσότερα από ένα κυκλώματα με καλώδια θαμμένα κατευθείαν στο έδαφος  
Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον Πίνακα 52-Κ3.

## Μονοπολικά ή πολυπολικά καλώδια

Πλήθος κυκλωμάτων	Απόσταση μεταξύ καλωδίων (α)*				
	Μηδενική (σε επαφή)	Μια διάμετρος καλωδίου	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

\*Απόσταση α

Πολυπολικά καλώδια



Μονοπολικά καλώδια



Σημείωση: Οι τιμές ισχύουν για βάθος εγκατάστασης 0,70 m και θερμική αγωγιμότητα εδάφους 2,50 K.m/W

Πίνακας Π.11

**ΠΙΝΑΚΑΣ 52-E3**  
 Συντελεστές διόρθωσης για περισσότερα από ένα κυκλώματα  
 με καλώδια τοποθετημένα σε οχετούς μέσα στο έδαφος  
 Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται στον  
 Πίνακα 52-K3

**A) Πολυπολικά καλώδια σε οχετούς**

Πλήθος καλωδίων	Απόσταση μεταξύ οχετών (α)*			
	Μηδενική (σε επαφή)	0,25 m	0,50 m	1,00 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

\*Απόσταση α



**B) Μονοπολικά καλώδια σε οχετούς**

Πλήθος κυκλωμά- των δύο ή τριών καλωδίων	Απόσταση μεταξύ οχετών (α)*			
	Μηδενική (σε επαφή)	0,25 m	0,50 m	1,00 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

\*Απόσταση α



Σημείωση: Οι τιμές ισχύουν για βάθος εγκατάστασης 0,70 m και θερμική αγωγιμότητα εδάφους 2,50 K.m/W

Πίνακας Π.12: Διακόπτες εκκίνησης και προστασίας κινητήρων με θερμικό και ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο [1]

Τύπος <sup>4)</sup>	Ονομαστικό ρεύμα διακό- πτη προστα- σίας (A)	Περιοχή ρύθμισης θερμικού (A)	Ρεύμα διέγερ- σης <sup>1)</sup> ηλεκτρο- μαγνητικού στοιχείου (A)	Μέγιστη ασφάλεια <sup>2)</sup> DIAZED (380V)	Μέγιστη ασφάλεια <sup>3)</sup> NH (380V)
1	0,16	0,1-0,16	1,28	x	x
	0,25	0,16-0,25	2,0	x	x
	0,4	0,25-0,4	3,6	x	x
	0,63	0,4-0,63	6,3	x	x
	1	0,63-1	10	x	x
	1,6	1-1,6	16	x	x
	2,5	1,6-2,5	25	x	x
	4	2,5-4	48	35	40
	6,3	4-6,3	75	35	40
	10	6,3-10	120	35	40
	16	10-16	192	35	40
	3,2	2-3,2	38	25	32
	5	3,2-5	60	35	40
	8	5-8	96	35	40
	12,5	8-12,5	150	35	40
3	1,6	1-1,6	19	x	x
	2,5	1,6-2,5	30	x	x
	4	2,5-4	48	x	x
	6,3	4-6,3	75	x	x
	10	6,3-10	120		
	16	10-16	192	80	100
42	25	16-25	300	80	125
	16	10-16	192	x	x
	25	16-25	300	x	x
	32	22-32	390	—	160
	40	28-40	480	—	160
	50	36-50	600	—	160
52	63	45-63	720	—	160
	40	32-40	600	—	315
	50	40-50	600	—	315
	63	50-63	760	—	315
	80	63-80	960	—	315
61, 62	100	80-100	1200	—	315
	100	80-100	1000	—	500
	125	100-125	1250	—	500
	160	125-150	1600	—	500
	200	160-200	2000	—	500
71, 72	250	200-250	2500	—	500
	250	200-250	2500	—	800
	315	250-315	3150	—	800
	400	315-400	4000	—	800
	500	400-500	5000	—	800
	630	500-630	6000	—	800

Πίνακας Π.13: Ασφάλειες και διακόπτες για κινητήρες ATK για τάση 380V [1]

Ισχύς κινητήρα		Ονομαστ. ρεύμα κινητήρα	Ασφάλεια <sup>1)</sup> απ' ευθείας	Ασφάλεια με εκκίνηση ΥΔ	Διακόπτης <sup>2)</sup> ΥΔ, ονομ. ρεύμα	Διακόπτης <sup>3)</sup> γενικός, ονομ. ρεύμα
kW	PS	A	A	A	A	A
0,2	0,3	0,7	2	2	—	16
0,33	0,45	1,1	2	2	—	16
0,5	0,7	1,4	2	2	—	16
0,8	1,1	2,1	4	4	—	16
1,1	1,5	2,6	4	4	—	16
1,5	2,0	3,6	6	4	(16)22	16
2,2	3,0	5,0	10	6	(16)22	16
3,0	4,0	6,6	16	10	(16)22	16
4,0	5,5	8,5	20	16	(16)22	16
5,5	7,5	11,5	25	20	(16)22	16
7,5	10	15,5	35	25	(25)22	25
11	15	22,5	35	35	(40)30	40
15	20	30	50	35	(40)30	40
22	30	44	63	50	(63)60	60
30	40	57	80	63	(63)60	60
45	66	85	125	100	90	100
55	75	104	160	125	110	100
75	100	140	200	160	150	200
90	125	168	225	200	220	200
110	150	205	300	250	220	200
132	180	245	400	300	300	400
160	220	290	430	300	300	400
200	270	360	500	430	480	400
240	325	430	630	500	480	480

Πίνακας Π.14: Επιλογή ονομαστικής έντασης μικροαντόμετων [1]

q (mm <sup>2</sup> )	Ομάδα 1		Ομάδα 2		Ομάδα 3	
	K	M	K	M	K	M
0,75	-	-	12	6	15	10
1,0	11	6	15	10	19	10
1,5	15	10	18	10	24	20
2,5	20	16	26	20	32	25
4	25	20	34	25	42	35
6	33	25	44	35	54	50
10	45	35	61	50	73	63
16	61	50	82	63	98	80
25	83	63	108	80	129	100
35	103	80	135	100	158	125
50	132	100	168	125	198	160
70	165	125	207	160	245	200
95	197	160	250	200	292	250
120	235	200	292	250	344	315
150	-	-	335	250	391	315
185	-	-	382	315	448	400
240	-	-	453	400	528	400
300	-	-	504	400	608	500
400	-	-	-	-	726	630
500	-	-	-	-	830	630

q: Διατομή μονωμένου αγωγού χαλκού (mm<sup>2</sup>)

K: Επιτρεπτό μέγιστο διαρκές ρεύμα καλωδίου (A)

M: Μέγιστη τιμή ονομ. ρεύματος μικροαυτόματου (A)

Ομάδα 1: Ένα ή περισσότερα καλώδια σε σωλήνες

Ομάδα 2: Καλώδια πολλών αγωγών (π.χ. NYM)

Ομάδα 3: Μονόκλινα καλώδια, εγκατεστημένα στον αέρα. Η απόσταση μεταξύ τους είναι τουλάχιστον όσο η διάμετρός τους.



Μεγ. θερμοκρασία: 30 °C



Πίνακας Π.15: Στοιχεία 5-πολικών καλωδίων ισχύος με χάλκινο αγωγό και PVC μόνωσης, με τάση 600V/1000V τύπου JIVV [1]

Διατομή mm <sup>2</sup>	1,5	2,5	4	6	10	16	25/16	35/16	50/25	70/35	95/50	120/70	150/70	185/90	240/120	300/150
<b>Κατασκευαστικά στοιχεία</b>																
Τύπος αγωγού	U	U	U	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Πάχος μόνωσης, mm	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Εξ. διάμετρος, mm	13	14	17	18	20	22	27	26	31	32	37	40	44	50	57	63
<b>Στοιχεία μεταφοράς</b>																
Μάζα κατασκευής, kg	250	310	485	600	810	1100	1600	1750	2400	2800	3800	4750	5700	7650	9850	12100
Μήκος κατασκευής, m	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	2000	2000	1000	1000	1000	1000	750	600	300
Τύμπανο DIN 46391	091	101	121	121	121	141	161	200	200	181	200	200	220	220	256	221
<b>Ηλεκτρικές ιδιότητες</b>																
Αντίσταση D.C. στους 20 °C, Ω/km	12,1	7,41	4,61	3,08	1,83	1,15	0,727	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153	0,124	0,0991	0,0754	0,601
Ενεργός αντίσταση A.C. στους 70 °C, 50 Hz, Ω/km	14,5	8,87	5,52	3,69	2,19	1,38	0,870	0,627	0,463	0,321	0,232	0,184	0,150	0,120	0,09226	0,0749
Αυτεπαγωγή λειτουργίας mH/km	0,366	0,340	0,339	0,321	0,301	0,285	0,274	0,261	0,263	0,254	0,253	0,250	0,247	0,248	0,245	0,245
<b>Επιτρεπόμενη φόρτιση</b>																
στο έδαφος (A)	26	34	44	56	75	98	128	155	184	225	271	309	348	394	458	518
στον αέρα	18,6	25	33	42	57	75	100	122	149	188	232	269	308	354	419	481
<b>Σε βραχυκύκλωμα</b>																
διαρκείας 1 sec I <sub>thN</sub> (kA)	0,173	0,288	0,460	0,690	1,15	1,84	2,87	4,02	5,75	8,05	10,9	13,8	17,2	21,3	27,6	34,5

Πίνακας Π.16: Μέγιστο διαρκώς επιτρεπόμενο ρεύμα  $I_0$  θαμμένων καλωδίων μέσης τάσης 12/20kV, κατά VDE 0298 [1]

1	2	3
Μόνωση	δικτυωμένο πολυαιθ.	
Μανδύας	—	
Κωδικός	N(A)2XSY	
Κανονισμός VDE	DIN 57273 IEC 60502	
Επιτρεπόμενη θερμοκρασία	90° C	
Διάταξη		
Ονομαστική διατομή Cu mm <sup>2</sup>	Φόρτιση σε Ampère, για χαλκό 12/20 kV	
25	—	—
35	189	213
50	223	250
70	273	304
95	325	361
120	368	407
150	410	445
185	463	498
240	534	569
300	601	633
400	674	686
500	750	756
Ονομαστική διατομή Al mm <sup>2</sup>	Φόρτιση σε Ampère, για αλουμίνιο 12/20 kV	
25	—	—
35	—	—
50	173	195
70	211	237
95	252	282
120	287	320
150	320	353
185	362	396
240	421	457
300	474	511
400	538	566
500	606	630



Πίνακας Π.17: Συντελεστής διόρθωσης  $f_1$  της επιτρεπόμενης φόρτισης υπόγειων καλωδίων, ανάλογα με τη θερμοκρασία εδάφους, κατά VDE 0298 [1]

1	2	3					4					5					6	
Επιτρε- πόμενη θερμο- κρασία μόνωσης °C	Θερμο- κρασία εδάφους °C	Ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους Km/W																
		0,7					1,0					1,5					2,5	
		συντελεστής φόρτισης					συντελεστής φόρτισης					συντελεστής φόρτισης					σ. φ.	
		0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,5-	
90	5	1,24	1,21	1,18	1,13	1,07	1,11	1,09	1,07	1,03	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,89	
	10	1,23	1,19	1,16	1,11	1,05	1,09	1,07	1,05	1,01	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,86	
	15	1,21	1,17	1,14	1,08	1,03	1,07	1,05	1,02	0,99	0,95	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,84	
	20	1,19	1,15	1,12	1,06	1,00	1,05	1,02	1,00	0,96	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,81	
	25						1,02	1,00	0,98	0,94	0,90	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,78	
	30								0,95	0,91	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,75	
	35													0,82	0,80	0,78	0,72	
	40																0,68	
80	5	1,27	1,23	1,20	1,14	1,08	1,12	1,10	1,07	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,88	
	10	1,25	1,21	1,17	1,12	1,06	1,10	1,07	1,05	1,01	0,97	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,85	
	15	1,23	1,19	1,15	1,09	1,03	1,07	1,05	1,03	0,99	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,82	
	20	1,20	1,17	1,13	1,07	1,01	1,05	1,03	1,00	0,96	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,78	
	25						1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,75	
	30								0,95	0,91	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,78	0,72	
	35													0,80	0,77	0,75	0,68	
	40																0,64	
70	5	1,29	1,26	1,22	1,15	1,09	1,13	1,11	1,08	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,86	
	10	1,27	1,23	1,19	1,13	1,06	1,11	1,08	1,06	1,01	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89	0,83	
	15	1,25	1,21	1,17	1,10	1,03	1,08	1,06	1,03	0,99	0,94	0,93	0,92	0,91	0,88	0,86	0,79	
	20	1,23	1,18	1,14	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,96	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,76	
	25						1,03	1,00	0,97	0,93	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79	0,72	
	30								0,94	0,89	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,68	
	35													0,77	0,74	0,72	0,63	
	40																0,59	
65	5	1,31	1,27	1,23	1,16	1,09	1,14	1,11	1,09	1,04	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,85	
	10	1,29	1,24	1,20	1,14	1,06	1,11	1,09	1,06	1,02	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,82	
	15	1,26	1,22	1,18	1,11	1,04	1,09	1,06	1,03	0,98	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,85	0,78	
	20	1,24	1,20	1,15	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,95	0,90	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,74	
	25						1,03	1,00	0,97	0,92	0,87	0,86	0,84	0,83	0,80	0,78	0,70	
	30								0,94	0,89	0,83	0,82	0,81	0,79	0,77	0,74	0,65	
	35													0,75	0,72	0,70	0,60	
	40																0,55	
60	5	1,33	1,28	1,24	1,17	1,10	1,15	1,12	1,09	1,05	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,84	
	10	1,30	1,26	1,21	1,14	1,07	1,12	1,09	1,06	1,02	0,97	0,96	0,94	0,93	0,90	0,88	0,80	
	15	1,28	1,23	1,19	1,12	1,04	1,09	1,06	1,03	0,98	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,76	
	20	1,25	1,21	1,16	1,09	1,01	1,06	1,03	1,00	0,95	0,90	0,89	0,87	0,86	0,83	0,80	0,72	
	25						1,03	1,00	0,97	0,92	0,86	0,85	0,83	0,82	0,79	0,76	0,67	
	30								0,93	0,88	0,82	0,81	0,79	0,78	0,75	0,72	0,62	
	35													0,73	0,70	0,67	0,57	
	40																0,51	

Πίνακας Π.18: Συντελεστής διόρθωσης  $f_2$  της επιτρεπόμενης φόρτισης σε πολλά υπόγεια τριφασικά συστήματα που αποτελούνται από μονοπολικά καλώδια κατά VDE 0298 [1]

1	2	3			4			5			6		
Κατασκευή	Πλήθος τριφ. συστημάτων	Ειδική αντίσταση εδάφους K·m/W											
		0,7			1,0			1,5			2,5		
Πολυαιθυλένιο δικτυωμένο (2X) 0,6/1–18/30 kV		συντ. φόρτισ. m			συντ. φόρτισ. m			συντ. φόρτισ. m			συντ. φόρτισ. m		
		0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
	1	1,08	1,05	0,99	1,13	1,07	1,00	1,18	1,09	1,01	1,19	1,11	1,03
	2	1,01	0,93	0,86	1,03	0,94	0,87	1,05	0,95	0,88	1,06	0,96	0,88
	3	0,92	0,84	0,77	0,93	0,85	0,77	0,95	0,86	0,78	0,96	0,86	0,79
	4	0,88	0,80	0,73	0,89	0,80	0,73	0,90	0,81	0,74	0,91	0,82	0,74
	5	0,84	0,76	0,69	0,85	0,77	0,70	0,87	0,78	0,70	0,87	0,78	0,71
	6	0,82	0,74	0,67	0,83	0,75	0,68	0,84	0,75	0,68	0,85	0,76	0,69
	8	0,79	0,71	0,64	0,80	0,71	0,65	0,81	0,72	0,65	0,81	0,72	0,65
	10	0,77	0,69	0,62	0,78	0,69	0,63	0,78	0,70	0,63	0,79	0,70	0,63
Πολυαιθυλένιο (2Y) 6/10–18/30 kV		m			m			m			m		
		0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
	1	1,08	0,98	0,99	1,04	1,03	1,00	1,11	1,07	1,01	1,19	1,11	1,03
	2	1,01	0,92	0,86	0,98	0,94	0,87	1,02	0,95	0,87	1,06	0,96	0,88
	3	0,92	0,84	0,77	0,93	0,85	0,77	0,95	0,86	0,78	0,96	0,86	0,79
	4	0,88	0,80	0,73	0,89	0,80	0,73	0,90	0,81	0,74	0,91	0,82	0,74
	5	0,84	0,76	0,69	0,85	0,77	0,70	0,86	0,77	0,70	0,87	0,78	0,71
	6	0,82	0,74	0,67	0,83	0,75	0,68	0,84	0,75	0,68	0,85	0,76	0,69
	8	0,79	0,71	0,64	0,80	0,71	0,65	0,81	0,72	0,65	0,81	0,72	0,65
	10	0,77	0,69	0,62	0,78	0,69	0,63	0,78	0,70	0,63	0,79	0,70	0,63
Πολυβινυλοχλωρίδιο Υ 0,6/1–6/10 kV		m			m			m			m		
		0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
	1	0,96	0,97	0,98	1,01	1,01	1,00	1,07	1,05	1,01	1,16	1,10	1,02
	2	0,92	0,89	0,86	0,96	0,94	0,87	1,00	0,95	0,88	1,05	0,97	0,89
	3	0,88	0,84	0,77	0,91	0,85	0,78	0,95	0,86	0,79	0,96	0,87	0,79
	4	0,86	0,80	0,73	0,89	0,81	0,74	0,90	0,82	0,74	0,91	0,82	0,75
	5	0,84	0,76	0,70	0,85	0,77	0,70	0,87	0,78	0,71	0,87	0,79	0,71
	6	0,82	0,74	0,68	0,83	0,75	0,68	0,84	0,76	0,69	0,85	0,76	0,69
	8	0,79	0,71	0,65	0,80	0,72	0,65	0,81	0,72	0,65	0,81	0,73	0,66
	10	0,77	0,69	0,63	0,78	0,70	0,63	0,79	0,70	0,63	0,79	0,71	0,64
Καλώδιο μάζας 0,6/1–18/30 kV		m			m			m			m		
		0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
	1	0,93	0,94	0,95	1,00	1,00	1,00	1,09	1,06	1,01	1,19	1,10	1,03
	2	0,89	0,89	0,86	0,95	0,93	0,87	1,01	0,95	0,88	1,05	0,97	0,89
	3	0,86	0,84	0,77	0,90	0,85	0,78	0,95	0,86	0,79	0,96	0,87	0,79
	4	0,84	0,80	0,73	0,88	0,81	0,74	0,91	0,82	0,74	0,91	0,82	0,75
	5	0,82	0,77	0,70	0,86	0,77	0,70	0,87	0,78	0,71	0,87	0,79	0,71
	6	0,81	0,74	0,68	0,83	0,75	0,68	0,85	0,76	0,69	0,85	0,76	0,69
	8	0,78	0,71	0,65	0,80	0,72	0,65	0,81	0,73	0,66	0,82	0,73	0,66
	10	0,77	0,69	0,63	0,78	0,70	0,63	0,79	0,70	0,64	0,79	0,71	0,64
Όλα τα καλώδια		m			m			m			m		
		0,85	1,0		0,85	1,0		0,85	1,0		0,85	1,0	
	1	0,91	0,85		0,92	0,85		0,92	0,85		0,93	0,85	
	2	0,77	0,71		0,78	0,71		0,78	0,71		0,79	0,71	
	3	0,69	0,62		0,69	0,62		0,69	0,62		0,69	0,62	
	4	0,65	0,58		0,65	0,58		0,65	0,58		0,65	0,58	
	5	0,61	0,55		0,61	0,55		0,62	0,55		0,62	0,55	
	6	0,59	0,53		0,60	0,53		0,60	0,53		0,60	0,53	
	8	0,57	0,51		0,57	0,51		0,57	0,51		0,57	0,51	
	10	0,55	0,49		0,55	0,49		0,55	0,49		0,55	0,49	

Πίνακας Π.19: Συντελεστής διόρθωσης  $f_5$  της επιτρεπόμενης φόρτισης πολυπολικών καλωδίων με περισσότερους των τριών αγωγών [1]

1	2	3
Πλήθος φορτιζόμενων αγωγών	Καλώδια ενταφιασμένα $f_5$	Καλώδια στον αέρα $n_3$
5	0,70	0,75
7	0,60	0,65
10	0,50	0,55
14	0,45	0,50
19	0,40	0,45
24	0,35	0,40
40	0,30	0,35
61	0,25	0,30

Πίνακας Π.20: Εκλογή ασφαλειών σκόνης ανάλογα με την ισχύ του Μ/Σ [1]

			Ονομαστικό ρεύμα ασφάλειας	
Ισχύς ΜΣ	Ρεύμα ΜΤ	Ρεύμα ΧΤ	Ελάχιστο	Μέγιστο
(kVA)	(A)	(A)	(A)	(A)
20 kV				
50	1,5	72	6,3	10
75	2,2	108	10	16
100	2,9	144	10	16
125	3,9	180	16	25
160	4,7	230	16	25
200	5,8	290	16	40
250	7,3	360	16	25
315	9,2	455	16	40
400	11,6	576	25	40
500	14,5	720	25	63
630	18,2	910	25	63
800	23,1	1160	40	100
1000	29	1440	40	100
1250	39	1800	63	100
15 kV				
50	2,0	96	6,3	10
75	2,9	144	10	16
100	3,9	192	16	25
125	5,2	240	16	25
160	6,3	307	16	25
200	7,7	387	16	40
250	9,7	480	25	40
315	12,3	607	25	40
400	15,5	768	40	63
500	19,5	960	40	63
630	24,3	1213	63	100
800	30,8	1546	63	100
1000	38,7	1920	63	100

Πίνακας Π.21: Μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση ζυγών χαλκού και αλουμινίου [1]

Διαστάσεις σε mm×mm		Διατομή σε mm <sup>2</sup>	Μία μπάρα				Δύο μπάρες σε απόσταση ίση με το πάχος τους			
			οξειδωμένη		βαμμένη		οξειδωμένη		βαμμένη	
			—	~	—	~	—	~	—	~
Χαλκός	12×2	24	108	108	123	123	182	182	202	202
	15×2	30	123	123	148	148	212	212	240	240
	15×3	45	162	162	187	187	282	282	316	316
	20×3	60	204	204	237	237	348	348	394	394
	25×3	75	245	245	287	287	412	412	470	470
	30×5	150	380	379	448	447	672	672	766	760
	40×5	200	484	482	576	573	836	836	966	952
	50×5	250	588	583	703	697	994	994	1170	1140
	40×10	400	728	715	865	850	1290	1290	1530	1470
	50×10	500	875	852	1050	1020	1510	1510	1830	1720
	60×10	600	1020	985	1230	1180	1720	1720	2130	1960
	80×10	800	1310	1240	1590	1500	2110	2110	2730	2410
100×10	1000	1600	1490	1940	1810	2480	2480	3310	2850	
Αλουμίνιο	12×2	24	84	84	97	97	142	142	160	160
	15×2	30	100	100	118	118	166	166	190	190
	15×3	45	126	126	148	148	222	222	252	252
	20×3	60	159	159	188	188	272	272	312	312
	25×3	75	191	190	228	228	322	322	372	372
	30×5	150	296	295	356	356	528	526	608	606
	40×5	200	376	376	457	456	662	658	766	762
	50×5	250	456	455	558	556	794	786	924	916
	40×10	400	561	557	682	677	1040	1030	1200	1108
	50×10	500	674	667	824	815	1250	1210	1440	1400
	60×10	600	787	774	966	951	1450	1390	1680	1610
	80×10	800	1010	983	1250	1220	1840	1720	2150	2000
100×10	1000	1240	1190	1540	1480	2250	2050	2630	2390	