

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 1207

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ, ΕΠΙΛΟΓΗ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ
ΙΣΧΥΟΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ
ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ HD 384

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΚΑΜΠΟΥΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΜΠΟΥΖΑΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο τίτλος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι: «Υπολογισμοί καλωδίων, επιλογή ηλεκτρολογικού υλικού και ποιότητα ισχύος κτιριακών εγκαταστάσεων χρησιμοποιώντας το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384». Σκοπός της είναι να επισημανθεί ο τρόπος υπολογισμού των κατάλληλων διατομών καλωδίων για διάφορες εφαρμογές χρησιμοποιώντας το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384. Περιγράφονται επίσης τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται στις Ε.Η.Ε καθώς και το πώς επηρεάζεται η ισχύς της εγκατάστασης από την παρουσία αρμονικών. Η εργασία εκπονήθηκε την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2012 στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Πατρών και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Ε.Η.Ε. και Αυτοματισμών υπό την πολύτιμη καθοδήγηση του καθηγητή Ανδρέα Θεοχάρη τον οποίο και ευχαριστούμε για τις επισημάνσεις του και τη βοήθειά του καθ'όλη την πορεία της συνεργασίας μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η εξοικείωση με την εφαρμογή του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384 για την διεξαγωγή μιας έγκυρης τεχνοοικονομικά σύγχρονης μελέτης κτιριακών εγκατάστασης. Η εφαρμογή του ΕΛΟΤ HD 384 οδηγεί σε πολλές περιπτώσεις σε διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με την εφαρμογή του ΚΕΗΕ. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύονται και παρουσιάζονται μερικά ζητήματα από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 όπως η διαδικασία επιλογής και οι τρόποι εγκατάστασης αγωγών και καλωδίων και ειδικότερα ο υπολογισμός της κατάλληλης διατομής αγωγών και καλωδίων για όλες τις πιθανές εφαρμογές τους. Στη συνέχεια αναφέρονται τα κριτήρια βάσει των οποίων επιλέγονται ηλεκτρολογικά υλικά (όπως μετασχηματιστές, όργανα προστασίας και ελέγχου, όργανα μέτρησης, υλικά ηλεκτρικών γραμμών, ηλεκτρικές συσκευές) σύμφωνα πάντα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μιας κτιριακής εγκατάστασης. Τέλος παρουσιάζονται στοιχεία για την ποιότητα ισχύος λόγω αρμονικών παραμορφώσεων των κυματομορφών των τάσεων και των ρευμάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις, κυρίως της 3ης τάξης οι οποίες είναι οι πιο έντονες, και αναφέρονται οι τρόποι περιορισμού και αντιμετώπισης αυτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	I
-----------------------	----------

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
-----------------------	-----------

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
-----------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ	2
--	----------

1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	2
1.2 ΤΡΟΠΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	3
1.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	12
1.3.1 ΣΧΟΛΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ	25
1.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΕΝΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	26
1.3.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΓΙΑ ΕΝΑ ΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟ ΑΓΩΓΟ Η ΚΑΛΩΔΙΟ	29
1.3.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΜΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	30
1.3.5 ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΥΠΙΚΩΝ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ.....	34
1.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	36
1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ	42
1.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΤΕΡΟΧΡΟΝΙΣΜΟΥ	50
1.7 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΑΓΩΓΩΝ	52
1.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΕΙΣ.....	57
1.8.1 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΝΑΝΤΙ ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΕΩΝ	58
1.8.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΝΑΝΤΙ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ	61
1.8.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΜΙΑ ΓΡΑΜΜΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	64
1.9 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	66
1.10 ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΓΩΓΩΝ ΠΟΛΥΠΟΛΙΚΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ.....	66
1.11 ΕΙΔΗ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	68
1.11.1 ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	68
1.11.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	69
1.11.3 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΤΥΠΟΙ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΝ Χ.Τ.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	72
---	----------------------------	-----------

2.1 ΓΕΝΙΚΑ	72
2.2 ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	72
2.2.1 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	73
2.2.2 ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΥΠΟΥ «ΠΕΔΙΟΥ».....	75
2.3 ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ ΤΗΗΣ.....	75
2.3.1 ΔΟΜΗ - ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	75
2.3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΩΝ ΤΗΗΣ	76
2.3.3 ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ ΤΥΠΟΥ D (DIAZED).....	76
2.3.4 ΤΗΚΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ ΤΥΠΟΥ DO (NEOZED)	77
2.3.5 ΜΑΧΑΙΡΩΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ ΝΗ	78
2.4 ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	79
2.4.1 ΔΟΜΗ ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ	81
2.4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ	81
2.4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ	84

2.4.4	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	84
2.4.5	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ	86
2.4.6	ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.....	86
2.5	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ - ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΤΕΝΤΑΣΗΣ (Δ.Α.Ε)	86
2.5.1	ΓΕΝΙΚΑ	86
2.5.2	ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	88
2.5.3	ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	89
2.5.4	ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ.....	93
2.6	ΒΑΘΜΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΙΡ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ.....	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ..... 95

3.1	ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΑΡΜΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	95
3.1.1	ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	97
3.1.2	ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	98
3.1.3	ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΕ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΟΥΔΕΤΕΡΟ	98
3.1.4	ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΙΣΟΡΡΟΠΗΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	103
3.1.5	ΦΙΛΤΡΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ 3 ^{ης} ΑΡΜΟΝΙΚΗΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	104
3.2	ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ	108
3.3	ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ.....	110
3.3.1	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	111
3.3.2	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΟΥΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ.....	112
3.3.3	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ	114
3.3.4	ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ	116
3.3.5	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	117
3.4	ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΕΡΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ - ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΥΝΦ.....	123
3.4.1	ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ.....	124
3.4.2	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΑΕΡΓΗ ΙΣΧΥΣ	125
3.4.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ.....	128
3.4.4	ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ.....	129
3.4.5	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟΥΣ ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ.....	130
3.4.6	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ.....	130
3.5	ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΦ.	131
3.5.1	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	131
3.5.2	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΥΚΝΩΤΩΝ.....	132
3.6	ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΠΥΚΝΩΤΩΝ - ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΑΕΡΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	135
3.6.1	ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΗ	137
3.6.2	ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΖΕΥΞΗΣ-ΑΠΟΖΕΥΞΗΣ	138
3.6.3	ΑΓΩΓΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΞΕΩΣ.....	138
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	139

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Πρότυπο ΕΛΟΤ-384 αναπτύχθηκε με βάση το διεθνές IEC-364 και ακολούθως τα Έγγραφα Εναρμονισμού της ΕΕ, (HD-384), προσαρμοσμένο στα Ελληνικά δεδομένα. Επειδή η κατάρτιση του Προτύπου ΕΛΟΤ-384 έγινε με χρονική καθυστέρηση σε σχέση με τα πρότυπα άλλων χωρών δημιουργήθηκε η ανάγκη της συνολικής, αντί της βαθμιαίας, αντικατάστασης και προσαρμογής του ΚΕΗΕ. Το Πρότυπο ΕΛΟΤ-384, όπως συμβαίνει διεθνώς, υποστηρίζεται από επί μέρους Πρότυπα (υλικού και εξοπλισμού), στα οποία παραπέμπει. Δεν επέρχονται «ανατροπές» στον εφαρμοζόμενο τρόπο κατασκευής των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων εντός κτηρίων, αλλά προσφέρεται η δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας κατασκευής τους. Οι Εσωτερικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις που έχουν κατασκευαστεί με βάση τον ΚΕΗΕ και την εφαρμοζόμενη τεχνική, ικανοποιούν γενικά και τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ- 384, όσον αφορά την διαμόρφωση και κατασκευή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ

1.1 Επιλογή και εγκατάσταση αγωγών και καλωδίων

Για τη σωστή επιλογή του τύπου και του είδους ενός καλωδίου, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η διατομή του και να ληφθεί υπόψη ο τρόπος και το περιβάλλον στο οποίο το καλώδιο πρόκειται να εγκατασταθεί.

Τα έγγραφα της σειράς IEC60364-5-52 “Electrical installation of buildings - Part 5-52 Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems” αποτελούν τα διεθνή πρότυπα για την εκλογή και εγκατάσταση καθώς και για τον υπολογισμό των μεγίστων επιτρεπόμενων ρευμάτων φόρτισης των αγωγών και καλωδίων για οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές.

Στο ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», τα κριτήρια επιλογής, ο τρόπος εγκατάστασης και οι μέθοδοι υπολογισμού του μέγιστου ρεύματος φόρτισης των ηλεκτρικών γραμμών, περιλαμβάνονται στο κεφάλαιο 52-Ηλεκτρικές γραμμές, στα τμήματα 520 έως και 529 και τα επιμέρους άρθρα τους.

Για την επιλογή του τύπου ενός καλωδίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι σε σχέση με το αγώγιμο υλικό, το μονωτικό περίβλημα και τον τύπο του αγωγού:

- **Αγώγιμο υλικό (χαλκός ή αλουμίνιο):** η επιλογή γίνεται με βάση το κόστος, τις διαστάσεις και το βάρος, την αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα (χημικά αντιδραστήρια ή οξειδωτικούς παράγοντες). Γενικά η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος από ένα χάλκινο αγωγό είναι περίπου 30% μεγαλύτερη από αυτή ενός αλουμινένιου αγωγού της ίδιας διατομής. Επίσης, ένας αγωγός αλουμινίου εμφανίζει ωμική αντίσταση 60% μεγαλύτερη και έχει βάρος ίσο περίπου με το ένα τρίτο σε σχέση με ένα αγωγό ίδιας διατομής κατασκευασμένο από χαλκό.
- **Μονωτικό υλικό (PVC ή XLPE ή EPR):** Το εάν ένας αγωγός φέρει μόνωση ή όχι και το υλικό από το οποίο αυτή είναι κατασκευασμένη, επηρεάζει τη μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού υπό συνθήκες πλήρους φόρτισης ή βραχυκυκλώματος και κατά συνέπεια παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική επιλογή της διατομής του αγωγού. (PVC: πολυβινυλοχλωρίδιο, EPR:ελαστικό αιθυλενίου- προπυλενίου, XLPE: πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού). Βασικό κριτήριο για τον υπολογισμό του μέγιστου ρεύματος που μπορεί ένα καλώδιο ή αγωγός να μεταφέρει σε συνεχή λειτουργία, αποτελεί το γεγονός ότι η θερμοκρασία του δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τους 70°C για μόνωση PVC και τους 90°C για μόνωση XLPE ή EPR (ΕΛΟΤ HD384.52.523.2.1.1).
- **Ο τύπος του αγωγού (γυμνός, μονόκλωνος ή πολύκλωνος),** επιλέγεται με βάση τη μηχανική του αντίσταση, το είδος της μόνωσης του, αλλά και τις ιδιαιτερότητες που μπορεί να παρουσιάζει τόσο ο χώρος όσο και η μέθοδος εγκατάστασης (καμπύλες, διακλαδώσεις κ.λπ.)

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι χρησιμοποιούμενοι τύποι αγωγών και καλωδίων, ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης των ηλεκτρικών γραμμών και με βάση τα πρότυπα IEC60364-5-52 και ΕΛΟΤ HD 384.52.521.

Πίνακας 1.1 Επιλογή τρόπου καλωδίωσης
(με βάση IEC60364-5-52 και ΕΛΟΤ HD 384-52-521)

Αγωγοί & καλώδια		Τρόπος εγκατάστασης					
		Χωρίς Στηρίγματα	Απευθείας στερεωμένα	Εντός καναλιού ή σωλήνα	Σε σχάρα ή φορέα καλωδίων	Επί μονωτήρων	Με σύρμα ανάρτησης
Γυμνοί αγωγοί		Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι
Μονωμένοι αγωγοί		Όχι	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι
Καλώδια με μανδύα και οπλισμένα	Ενός Πόλου	Δεν εφαρμόζεται	Ναι	Ναι	Ναι	Δεν εφαρμόζεται	Ναι
	Πολλών Πόλων	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Δεν εφαρμόζεται	Ναι

1.2 Τρόποι εγκατάστασης

Για τον καθορισμό του ρεύματος που είναι ικανός να μεταφέρει ένας αγωγός και εν συνεχεία για τον προσδιορισμό της διατομής που θα πρέπει αυτός να έχει για κάποιο συγκεκριμένο ρεύμα φορτίου, θα πρέπει να προσδιοριστεί ένας από τους τυποποιημένους τρόπους εγκατάστασης του αγωγού ή καλωδίου, που ταιριάζει περισσότερο στην πραγματική εγκατάσταση που πρόκειται να υλοποιηθεί.

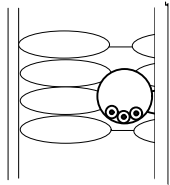
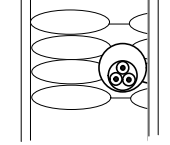
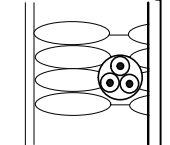
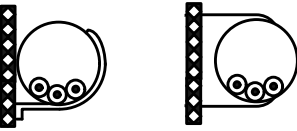
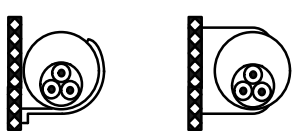
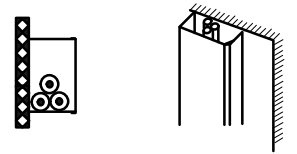
Από τους Πίνακες 1.2 και 1.3 μπορεί να επιλεγθεί ο τρόπος εγκατάστασης και στη συνέχεια να προσδιοριστεί ο τύπος της εγκατάστασης του αγωγού ή καλωδίου, με βάση τον οποίο θα γίνει η επιλογή από την κατάλληλη στήλη των πινάκων 3.8 (3.8α έως 3.8δ για τους μη υπόγειους αγωγούς) και του Πίνακα 1.16 (για τους υπόγειους αγωγούς) της τιμής έντασης ρεύματος που μπορεί ένας αγωγός με βάση τη διατομή του να μεταφέρει.

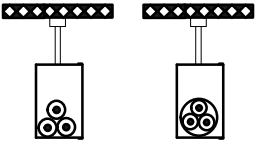

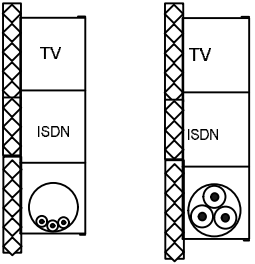
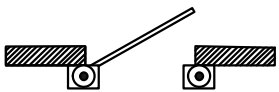
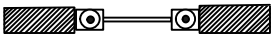
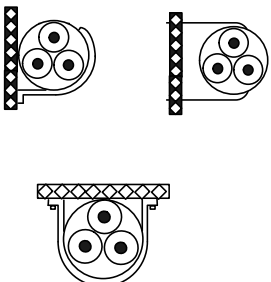
Επί των τιμών των πινάκων 3.8 και 3.16 θα εφαρμοστούν οι κατάλληλοι κατά περίπτωση συντελεστές διόρθωσης, που αφορούν σε περιβαλλοντικούς παράγοντες και άλλα κατασκευαστικά στοιχεία της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, για να καθοριστεί η τελική κατάλληλη διατομή του αγωγού ή του καλωδίου.

Πίνακας 1.2 Τρόπος εγκατάστασης αγωγών και καλωδίων (με βάση IEC60364-5-52)

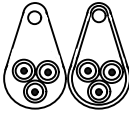
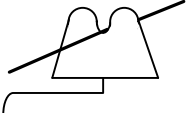
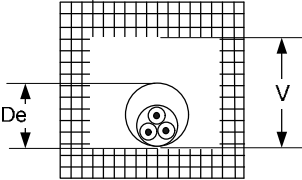
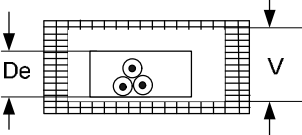
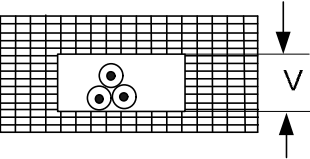
Θέση	Χωρίς στηρίγματα	Με στηρίγματα	Εντός Σωλήνα	Εντός ανοιγμένου καναλιού Οδευσης	Εντός κλειστού καναλιού	Επί σκάρας ή φορέων καλωδίων ή επί βραχιόνων στήριξης	Επί μονωτήρων	Με σύρμα ανάρτησης
Κοιλότητες κτιρίου	40,46, 15,16	Δεν εφαρμόζεται	15,16	Όχι	42	30,31,32, 33,34	Όχι	Όχι
Αυλάκια οδευσης καλωδίων	56	56	54,55	Όχι	44	30,31,32, 33,34	Όχι	Όχι
Θαμμένα στο έδαφος	72,73	Δεν εφαρμόζεται	70,71	Όχι	70,71	Δεν εφαρμόζεται	Όχι	Όχι
Χωνευτά, ενσωματωμένα εντός δομικών στοιχείων	57,58	3	1,2 59,60	50,51, 52,53	44	Δεν εφαρμόζεται	Όχι	Όχι
Εξωτερική εγκατάσταση	Όχι	20,21	4,5	6,7,8,9, 12,13,14	6,7,8,9	30,31,32, 33,34	36	Όχι
Εναέρια	Όχι	Όχι	Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται	Όχι	30,31,32, 33,34	36	35

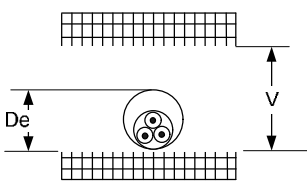
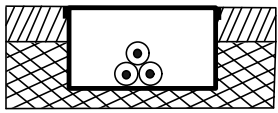
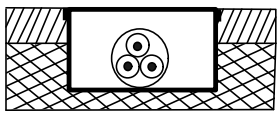
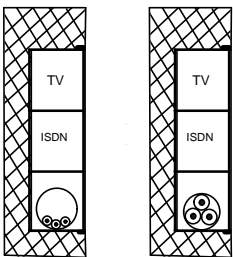
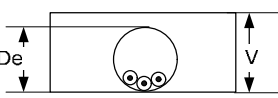
Πίνακας 1.3 Ενδεικτικά παραδείγματα τρόπων εγκατάστασης αγωγών και καλωδίων (με βάση IEC60364-5-52)

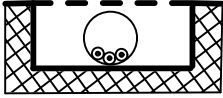
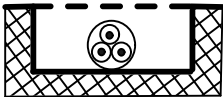
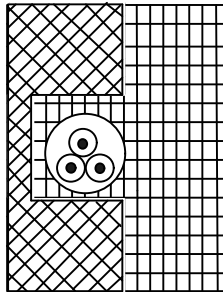
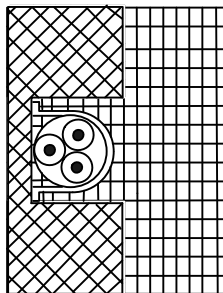
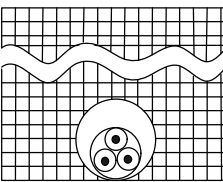
Τρόπος Εγκατάστασης	α/α	Περιγραφή	Τύπος εγκατάστασης για υπολογισμό της μέγιστης τιμής έντασης ρεύματος
	1	Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικά καλώδια σε σωλήνα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, εντός θερμομονωμένου τοίχου	A1
	2	Πολυπολικά καλώδια σε σωλήνα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, εντός θερμομονωμένου τοίχου	A2
	3	Πολυπολικά καλώδια απευθείας εντοιχισμένα, σε θερμοκρασία-μεμονωμένο τοίχο	A1
	4	Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικά καλώδια, εντός σωλήνα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, στηριγμένο (επί ή σε απόσταση μικρότερη από 0,3 φορές την διάμετρο του σωλήνα) σε τοίχο	B1
	5	Πολυπολικά καλώδια, εντός σωλήνα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, στηριγμένο (επί η σε απόσταση μικρότερη όποτε 0,3 φορές την διάμετρο του σωλήνα) σε τοίχο	B2
	6 7	Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικά καλώδια εντός καναλιού στηριγμένου σε τοίχο, οριζόντια (6) – ή κατακόρυφα (7)	B1

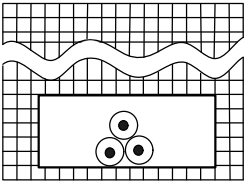
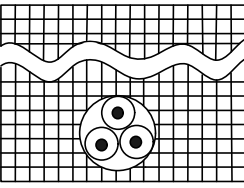
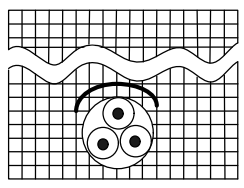
	<p>8 9</p>	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικά καλώδια εντός αναρτώμενου καναλιού (8) ή πολυπολικό καλώδιο εντός αναρτώμενου καναλιού (9)</p>	<p>B1 (8) ή B2 (9)</p>
	<p>12</p>	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικό καλώδιο, εντός χυτευμένων οδεύσεων</p>	<p>A1</p>
	<p>13 14</p>	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικά καλώδια εντός καναλιού στηριγμένου σε περβάζι (13) Πολυπολικό καλώδιο εντός καναλιού στηριζόμενου σε περβάζι (14)</p>	<p>B1 (13) ή B2(14)</p>
	<p>15</p>	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικό καλώδιο ή πολυπολικό καλώδιο εντός καναλιού στηριγμένου στο κάσωμα πόρτας</p>	<p>A1</p>
	<p>16</p>	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικό καλώδιο ή πολυπώλιο καλώδιο εντός καναλιού στηριγμένου στο πλαίσιο παραθύρου</p>	<p>A1</p>
	<p>20 21</p>	<p>Μονοπολικά ή πολυπολικά καλώδια, στηριγμένα επί ταβανιού (21) ή στηριγμένα (επί ή σε απόσταση μικρότερη από 0,3 φορές την διάμετρο του καλωδίου) σε τοίχο (20)</p>	<p>C</p>

	30	Σε μη διάτρητο ανοικτό κανάλι διέλευσης καλωδίων ¹	C
	31	Σε διάτρητο ανοικτό κανάλι διέλευσης καλωδίων ¹	E(πολυπόλια) ή P(μονοπολικά)
	32	Τοποθετημένα σε βραχίονες συγκράτησης ή σε σχάρα διέλευσης καλωδίων ¹	E(πολυπολικά) ή P(μονοπολικά)
	33	Στηριζόμενα (σε απόσταση μεγαλύτερη από 0.3 φορές την διάμετρο του καλωδίου) σε τοίχο	E(πολυπολικά) ή P(μονοπολικά) ή θ(μονοπολικά σε απόσταση μεταξύ τους)
	34	Σε καφασωτό φορέα (σκάλα καλωδίων)	E(πολυπολικά)

	35	<p>Πολυπολικό ή μονοπολικά καλώδια αναρτημένα από ενσωματωμένο ή ανεξάρτητο σύρμα.</p>	<p>E(πολυπολικά) ή P(μονοπολικά)</p>
	36	<p>Μονωμένοι ή γυμνοί αγωγοί επί μονωτήρων</p>	<p>G (μονοπολικά σε απόσταση)</p>
	40	<p>Μονοπολικό ή πολυπολικό καλώδιο σε κοιλότητα του κτιρίου²</p>	<p>$1.5D_e \leq V \leq 20D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1</p>
	42	<p>Μονωμένοι, αγωγοί σε κανάλι διέλευσης εντός κοιλότητας του κτιρίου²</p>	<p>$1.5D_e \leq V \leq 20D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1</p>
	44	<p>Μονωμένοι αγωγοί σε κανάλι διέλευσης απευθείας τοποθετημένο εντός δομικού υλικού με θερμική αντίσταση όχι μεγαλύτερη από 2m.K/W</p>	<p>$1.5D_e \leq V \leq 20D_e$ B2 $5D_e \leq V \leq 50D_e$ B2</p>

	46	<p>Μονοπολικό ή πολυπολικό καλώδιο σε κοιλότητα της οροφής (ψευδοροφή) ή ψευδοδάπεδο¹</p>	$1.5D_e \leq V \leq 20D_e$ B2 $5D_e \leq V \leq 50D_e$ B2
	50	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικά-πολικό καλώδιο εντός καναλιού διέλευσης χωνευτού στο δάπεδο</p>	B1
	51	<p>Πολυπολικό καλώδιο εντός καναλιού διέλευσης χωνευτού στο δάπεδο.</p>	B2
	52 53	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικό καλώδιο (52) ή πολυπολικό καλώδιο (53) εντός εντοιχισμένου καναλιού διέλευσης.</p>	B1 (52) B2 (53)
	54	<p>Μονωμένοι αγωγοί ή μονοπολικά καλώδια σε ηλεκτρολογικό σωλήνα τοποθετημένο σε οριζόντιο ή κατακόρυφο και μη αεριζόμενο κανάλι όδευσης.²</p>	$1.5D_e \leq V \leq 20D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1

	55	<p>Μονωμένοι αγωγοί σε σωλήνα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, τοποθετημένο εντός ανοικτού ή αεριζόμενου καναλιού στο δάπεδο</p>	B1
	56	<p>Μονοπολικό ή πολυπολικό καλώδιο με επένδυση τοποθετημένο εντός ανοικτού ή αεριζόμενου, οριζόντιου ή κατακόρυφου καναλιού</p>	B1
	57	<p>Μονοπολικό ή πολυπολικό καλώδιο απευθείας εγκατεστημένο εντός δομικού υλικού που έχει θερμική αντίσταση όχι μεγαλύτερη από 2m.K/W. Χωρίς επιπλέον μηχανική προστασία</p>	C
	58	<p>Μονοπολικό ή πολυπολικό καλώδιο απευθείας εγκατεστημένο εντός δομικού υλικού που έχει θερμική αντίσταση όχι μεγαλύτερη από 2m.K/W. Με επιπρόσθετη μηχανική προστασία.</p>	C
	70	<p>Πολυπολικά καλώδια εντός ηλεκτρολογικού σωλήνα ή αγωγού-καναλιού διέλευσης, θαμμένου στο έδαφος</p>	D

	71	Μονοπολικό καλώδιο εντός ηλεκτρολογικού σωλήνα ή αγωγού-καναλιού διέλευσης, θαμμένου στο έδαφος	D
	72	Μονοπολικό ή πολυπολικό καλώδιο με επένδυση τοποθετημένο απευθείας εντός του εδάφους -χωρίς επιπλέον μηχανική προστασία	D
	73	Μονοπολικό ή πολυπώλιο καλώδιο με επένδυση τοποθετημένο απευθείας εντός του εδάφους - με επιπλέον μηχανική προστασία	D

¹ D_e είναι η εξωτερική διάμετρος ενός πολυπώλιο καλωδίου

- Για την περίπτωση μονοπολικών καλωδίων σε επαφή θεωρείται ότι η είναι ίση με 2,2 φορές τη διάμετρο του μονοπολικού για τριγωνική διάταξη και ίση με 3 φορές τη διάμετρο του μονοπολικού για επίπεδη διάταξη των καλωδίων.

² D_e είναι η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα ή το κατακόρυφο βάθος του καναλιού καλωδίων

V είναι η μικρότερη διάσταση ή διάμετρος μιας κοιλότητας του κτιρίου ή το κατακόρυφο βάθος ενός καναλιού όδευσης ή ψευδοροφής ή ψευδοδάπεδου

Το ύψος ενός καναλιού-αγωγού όδευσης θεωρείται σημαντικότερο από το πλάτος του.

Ø Παρατήρηση: Οι Πίνακες 1.2 και 1.3 μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικουρικά για τον προσδιορισμό της σωστής στήλης των Πινάκων 1.8α έως 1.8δ και 1.16, απ' όπου θα γίνει και η επιλογή της μέγιστης ικανότητας μεταφοράς ρεύματος.

1.3 Επιλογή της διατομής μη υπόγειων αγωγών και καλωδίων, με βάση την ικανότητα τους για μεταφορά ρεύματος και τον τύπο της εγκατάστασης

Η τιμή της έντασης του ρεύματος το οποίο μπορεί ένας μη υπόγειος αγωγός να μεταφέρει, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση 1.1 (δεν ισχύει για τους υπόγειους αγωγούς και καλώδια):

$$I_Z = I_0 k_1 k_2 = I_0 k_{ολικο} \quad (1.1)$$

όπου:

I_0 [A] είναι η ένταση του ρεύματος που μπορεί ο αγωγός να μεταφέρει στη θερμοκρασία 30 °C, η οποία θεωρείται ως η θερμοκρασία αναφοράς.

k_1 είναι ο συντελεστής διόρθωσης για θερμοκρασίες διαφορετικές των 30°C

k_2 είναι ο συντελεστής διόρθωσης για περισσότερα του ενός ομαδοποιημένα κυκλώματα ή περισσότερων από ένα πολυποδιών καλωδίων σε επαφή ή μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία περιβάλλοντος του χώρου εγκατάστασης ενός μη υπόγειου αγωγού ή καλωδίου είναι διαφορετική από αυτήν των 30°C που αποτελεί την τιμή αναφοράς, η επιλογή του συντελεστή διόρθωσης θα πρέπει να γίνει από τον Πίνακα 1.4.

Η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος επηρεάζεται από την παρουσία άλλων καλωδίων που μπορεί να βρίσκονται εγκατεστημένα κοντά του. Η απαγωγή της θερμότητας για παράδειγμα από ένα καλώδιο, είναι διαφορετική στην περίπτωση που γειτονικά με αυτό βρίσκονται εγκατεστημένα και άλλα καλώδια σε σχέση με το να βρισκόταν μόνο του στο χώρο. Ο συντελεστής k_2 καθορίζεται με βάση το αν τα καλώδια είναι εγκατεστημένα το ένα κοντά στο άλλο, ομαδοποιημένα δηλαδή ή συνωστισμένα με άλλα λόγια σε ένα ή περισσότερα «στρώματα».

Με τον όρο «στρώση» εννοούμε καλώδια, τα οποία ανήκουν σε πολλά διαφορετικά μεταξύ τους κυκλώματα, τα οποία είναι εγκατεστημένα - ομαδοποιημένα το ένα δίπλα στο άλλο, είτε βρίσκονται σε επαφή ή όχι και σε κατακόρυφη ή οριζόντια διάταξη. Τα καλώδια που απαρτίζουν μια «στρώση», μπορεί να είναι εγκατεστημένα στον τοίχο, το ταβάνι, το δάπεδο ή σε σχάρα καλωδίων.

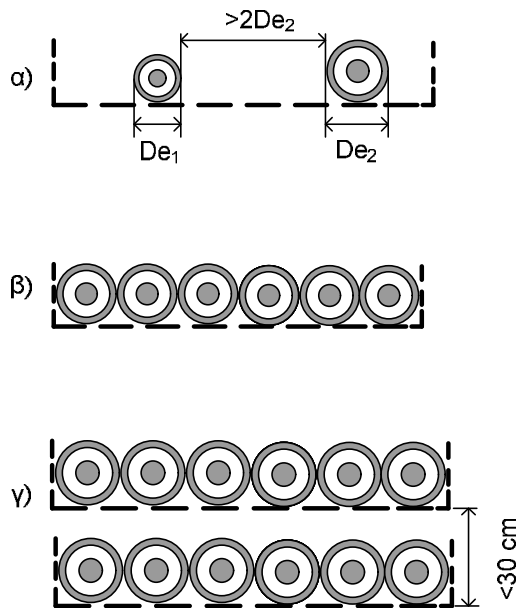
Ø Παρατηρήσεις: Η τιμή του συντελεστή k_2 είναι ίση με τη μονάδα στην περίπτωση:

- καλωδίων που απέχουν αρκετά μεταξύ τους:
 - i. δύο μονοπολικά καλώδια τα οποία ανήκουν σε διαφορετικά κυκλώματα, θεωρείται ότι απέχουν αρκετά μεταξύ τους όταν βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από το διπλάσιο της εξωτερικής διαμέτρου του καλωδίου με τη μεγαλύτερη διατομή.
 - ii. δύο πολυπολικά καλώδια θεωρείται ότι απέχουν αρκετά μεταξύ τους όταν βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον ίση με την εξωτερική διάμετρο του μεγαλύτερου καλωδίου.
- καλωδίων που συνθέτουν ένα στρώμα και διαρρέονται από ρεύμα μικρότερο του 30% του

ονομαστικού τους ρεύματος (ΕΛΟΤ HD384.52.523.4.1).

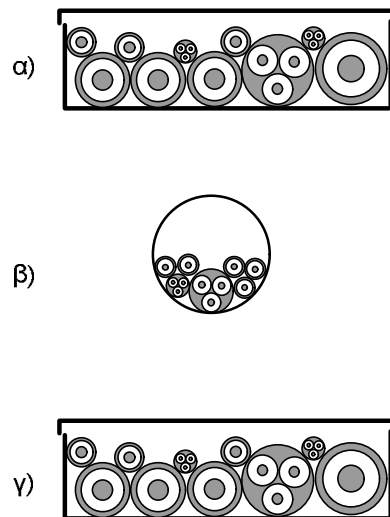
Πίνακας 1.4 Συντελεστής διόρθωσης k_1 για θερμοκρασίες περιβάλλοντος διαφορετικές των 30°C (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C	PVC	PER ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
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



Σχήμα 1.1

Μονοπολικά καλώδια εγκατεστημένα σε μια στρώση
 α) Σε απόσταση μεταξύ τους β) Σε επαφή μεταξύ τους γ) Σε δύο φορείς.



Σχήμα 1.2

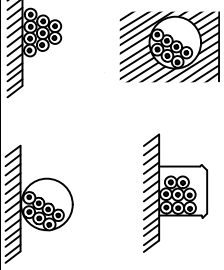
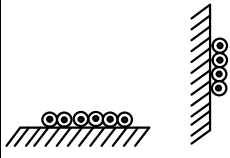
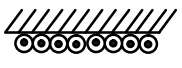
Ομαδοποιημένα-συνωστισμένα καλώδια σε:
 α) κανάλι διανομής
 β) ηλεκτρολογικό σωλήνα
 γ) μη διάτρητο φορέα καλωδίων

Οι συντελεστής διόρθωσης k_2 για τα ομαδοποιημένα καλώδια ή τους αγωγούς, υπολογίζεται υποθέτοντας ότι αυτοί έχουν την ίδια μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Για την περίπτωση ομάδων μονωμένων αγωγών ή καλωδίων με διαφορετικές μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας, θα πρέπει η χαμηλότερη θερμοκρασία να λαμβάνεται υπόψη ως αναφορά για όλους τους αγωγούς ή καλώδια της ομάδας (ΕΛΟΤ HD384.52.523.4.1 και 522.1.3).

Επίσης, ο συντελεστής k_2 εφαρμόζεται μόνο για ομάδες ομοιόμορφων και με ίσο φορτίο καλωδίων. Μια ομάδα θεωρείται ότι αποτελείται από ομοιόμορφα καλώδια όταν ο υπολογισμός του μεγίστου επιτρεπόμενου ρεύματος γίνεται με βάση την ίδια μέγιστη θερμοκρασία και οι διατομές των αγωγών ή καλωδίων που, απαρτίζουν την ομάδα δεν απέχουν περισσότερο από τρεις τυποποιημένες διατομές (π.χ. από 10mm^2 έως 25mm^2).

Οι τιμές του συντελεστή k_2 για διάφορους τρόπους τοποθέτησης των αγωγών σε συνάρτηση με το πλήθος των ανεξάρτητων κυκλωμάτων ή τον αριθμό των πολυπολικών καλωδίων φαίνονται στον Πίνακα 1.5.

Πίνακας 1.5 Συντελεστής k_2 για ομαδοποιημένα κυκλώματα ή πολυπολικά καλώδια σε επαφή ή μικρή απόσταση μεταξύ τους (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384).

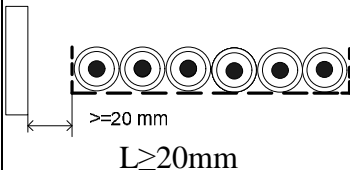
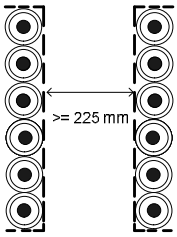
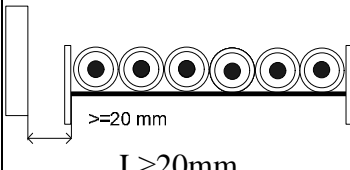
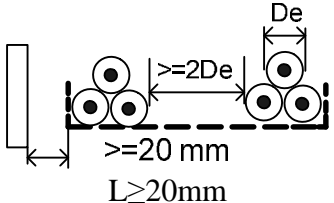
α/α	Τρόπος τοποθέτησης αγωγών ή καλωδίων	Ανεξάρτητα κυκλώματα ή πολυπολικά καλώδια												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Ομαδοποιημένα - συνωστισμένα, στον αέρα ή απευθείας πάνω στην επιφάνεια δομικού υλικού ή επίτοιχα/εντοιχισμένα (εντός ή εκτός σωλήνα)		1,00	0,8	0,7	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
2	Σε μια στρώση επί τοίχου, δαπέδου ή μη διάτρητου φορέα καλωδίων		1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Δεν απαιτείται επιπλέον μείωση του k_2 για περισσότερα από 9 κυκλώματα ή πολυπολικά καλώδια		
3	Σε μια στρώση απευθείας στερεωμένα σε οροφή		0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			

Σημειώσεις:

1. Οι παραπάνω συντελεστές εφαρμόζονται σε ομοιόμορφες ομάδες ισοφορτισμένων καλωδίων.
2. Στην περίπτωση που η οριζόντια απόσταση γειτονικών καλωδίων υπερβαίνει το διπλάσιο της εξωτερικής διαμέτρου τους δεν απαιτείται καμία διόρθωση.
3. Οι ίδιοι συντελεστές χρησιμοποιούνται για α) ομάδες δύο ή τριών μονοπολικών καλωδίων β) πολυπολικά καλώδια.
4. Αν ένα σύστημα περιλαμβάνει διπολικά και τριπολικά καλώδια συγχρόνως, το συνολικό πλήθος των καλωδίων θεωρείται ως πλήθος κυκλωμάτων και για μεν την περίπτωση του διπολικού καλωδίου επιλέγεται από τον αντίστοιχο Πίνακα ο συντελεστής που ισχύει για δύο φορτιζόμενους αγωγούς, για δε την περίπτωση του τριπολικού καλωδίου, ο συντελεστής που αφορά στους τρεις φορτιζόμενους αγωγούς.
5. Αν μια ομάδα αποτελείται από η μονοπολικά καλώδια μπορεί να θεωρηθεί είτε ως $n/2$ κυκλώματα δύο φορτιζόμενων αγωγών είτε ως $n/3$ κυκλώματα τριών φορτιζόμενων αγωγών.

Στον Πίνακα 1.6 και τον Πίνακα 1.7 φαίνονται οι τιμές του συντελεστή μείωσης k_2 για εγκατάσταση επί διάτρητων φορέων και για διάταξη των καλωδίων σε μια στρώση

Πίνακας 1.6 Συντελεστής k_2 για ομαδοποιημένα μονοπολικά καλώδια (με βάση το IEC603 64-5-52 και ΕΛΟΤ HD 384)

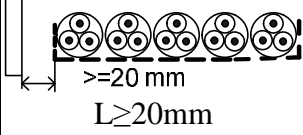
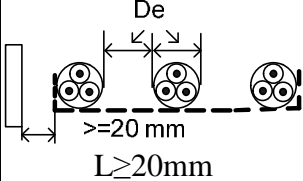
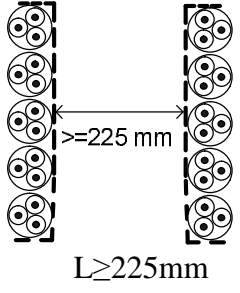
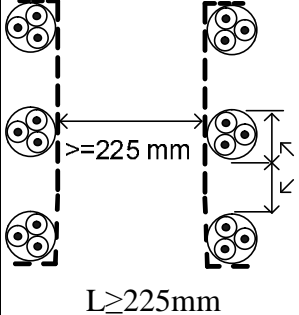
Τρόπος εγκατάστασης F			Πλήθος φορέων	Πλήθος τριφασικών κυκλωμάτων (Παρατ.4)		
				1	2	3
Οριζόντιες διάτρητες σχάρες (Σημ. 2)	31	<p>Σε επαφή</p>  <p>$\geq 20 \text{ mm}$ $L \geq 20 \text{ mm}$</p>	1	0.98	0.91	0.87
			2	0.96	0.87	0.81
			3	0.95	0.85	0.78
Κατακόρυφες διάτρητες σχάρες (Σημ. 3)	31	<p>Σε επαφή</p>  <p>$\geq 225 \text{ mm}$ $L \geq 225 \text{ mm}$</p>	1	0.96	0.86	-
			2	0.95	0.84	-
Σκάλες καλωδίων, βραχίονες συγκράτησης (Σημ. 2)	32 33 34	<p>Σε επαφή</p>  <p>$\geq 20 \text{ mm}$ $L \geq 20 \text{ mm}$</p>	1	1.00	0.97	0.96
			2	0.98	0.93	0.89
			3	0.97	0.90	0.86
Οριζόντιες διάτρητες σχάρες (Σημ. 2)	31	<p>Σε απόσταση $\geq 2De$</p>  <p>$\geq 2De$ $\geq 20 \text{ mm}$ $L \geq 20 \text{ mm}$</p>	1	1.00	0.98	0.96
			2	0.97	0.93	0.89
			3	0.96	0.92	0.86

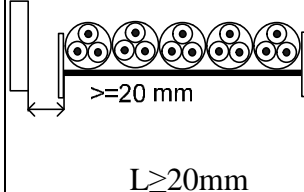
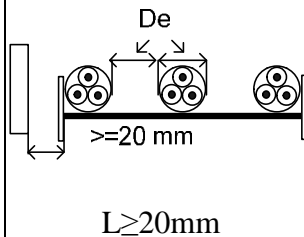
Κατακόρυφες διάτρητες σχάρες (Σημ. 3)	31	<p>Σε απόσταση</p> <p>$\geq 225 \text{ mm}$</p> <p>$\geq 2De$</p> <p>De</p> <p>$L \geq 225 \text{ mm}$</p>	1	1.00	0.91	0.89
			2	1.00	0.90	0.86
Σκάλες καλωδίων, βραχίονες συγκράτησης (Σημ. 2)	32 33 34	<p>Σε απόσταση $\geq 2De$</p> <p>$\geq 2De$</p> <p>De</p> <p>$\geq 20 \text{ mm}$</p> <p>$L \geq 20 \text{ mm}$</p>	1	1.00	1.00	1.00
			2	0.97	0.95	0.93
			3	0.96	0.94	0.90

Σημειώσεις:

1. Οι συντελεστές ισχύουν για μια στρώση καλωδίων (ή σε τριγωνική διάταξη) και δεν ισχύουν όταν τα καλώδια είναι τοποθετημένα σε επαφή μεταξύ τους και σε περισσότερες της μιας στρώσεων. Σε αυτή την περίπτωση οι συντελεστές θα πρέπει να υπολογίζονται με ειδική μέθοδο και θα πρέπει να είναι σημαντικά μικρότεροι από αυτούς του παρόντος Πίνακα.
2. Οι αναφερόμενοι συντελεστές ισχύουν για κατακόρυφη απόσταση 300mm μεταξύ των περισσότερων του ενός φορέων. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται.
3. Οι αναφερόμενες τιμές ισχύουν για οριζόντια απόσταση 225mm από πλάτη σε πλάτη μεταξύ των φορέων και με ελάχιστη απόσταση 20mm του φορέα από κάθε τοίχο. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται.
4. Για να ισχύουν οι αναφερόμενες τιμές και για κυκλώματα με περισσότερα από ένα παράλληλα συνδεδεμένα καλώδια ανά φάση, θα πρέπει κάθε τριάδα αγωγών διαφορετικών φάσεων να θε-

Πίνακας 1.7 Συντελεστής κ2 για ομαδοποιημένα πολυπολικά καλώδια (με βάση το IEC60364-5-52 και ΕΛΟΤ HD 384)

Τρόπος εγκατάστασης E		Πλήθος φορέων	Πλήθος καλωδίων						
			1	2	3	4	6	9	
Οριζόντιες διάτρητες σχάρες (Σημ. 2)	31	Σε επαφή							
			1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
		2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68	
	3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66		
	31	Σε απόσταση							
			1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	
2		1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	-		
3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85				
Κατακόρυφες διάτρητες σχάρες (Σημ. 3)	31	Σε επαφή							
			1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	0.72
		2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70	
	31	Σε απόσταση							
			1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	
		2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	-	

Σκάλες καλωδίων, βραχίονες συγκράτησης (Σημ. 2)									
		32	1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
		33	2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73
		3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70	
									
		34	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96		
	3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93			

Σημειώσεις:

1. Οι συντελεστές ισχύουν για μια στρώση καλωδίων (ή σε τριγωνική διάταξη) και δεν ισχύουν όταν τα καλώδια είναι τοποθετημένα σε επαφή μεταξύ τους και σε περισσότερες της μιας στρώσεων. Σε αυτή την περίπτωση οι συντελεστές θα πρέπει να υπολογίζονται με ειδική μέθοδο και θα πρέπει να είναι σημαντικά μικρότεροι από αυτούς του παρόντος Πίνακα.

2. Οι αναφερόμενοι συντελεστές ισχύουν για κατακόρυφη απόσταση 300mm μεταξύ των περισσότερων του ενός φορέων και με ελάχιστη απόσταση 20mm του φορέα από κάθε τοίχο. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται. Οι αναφερόμενες τιμές ισχύουν για οριζόντια απόσταση 225mm από πλάτη σε πλάτη μεταξύ των φορέων. Για μικρότερες αποστάσεις οι συντελεστές πρέπει να μειώνονται.

Οι Πίνακες 1.8α και 1.8β αφορούν σε ηλεκτρικές γραμμές με μονωμένους αγωγούς, μονοπολικά ή πολυπολικά καλώδια με μόνωση από PVC, XLPE, EPR, στις οποίες η απαγωγή της θερμότητας επηρεάζεται από τους τοίχους ή άλλα δομικά στοιχεία και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι 30°C. Οι τοίχοι θεωρούνται θερμομονωμένοι και στην περίπτωση που μια γραμμή είναι εντοιχισμένη, αυτή θεωρείται ότι βρίσκεται αμέσως κάτω από το επίχρισμα (σοβάς). Η θερμική αγωγιμότητα του επιχρίσματος θεωρείται ότι είναι 10W/mK.

Οι τιμές αυτών των πινάκων αφορούν κυρίως σε εγκαταστάσεις κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων μικρής ισχύος, καθώς επίσης και στις περιπτώσεις ηλεκτρικών γραμμών βιομηχανικών εγκαταστάσεων στις οποίες ανεξάρτητα της ισχύος τους η κυκλοφορία του αέρα γύρω από τις γραμμές δεν είναι ελεύθερη.

Οι Πίνακες 1.8γ και 1.8δ αφορούν σε ηλεκτρικές γραμμές με μονοπολικά ή πολυπολικά καλώδια με μόνωση από PVC, XLPE, EPR, στις οποίες η απαγωγή της θερμότητας δεν επηρεάζεται από τους τοίχους ή άλλα δομικά στοιχεία και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι 30°C. Αυτοί οι Πίνακες αφορούν κυρίως στις ηλεκτρικές γραμμές των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, όταν αυτές είναι εγκατεστημένες έτσι ώστε να κυκλοφορεί ελεύθερα ο αέρας γύρω τους.

Πίνακας 1.8 α Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα σε (A), εντοιχισμένων (χωνευτών) ηλεκτρικών γραμμών (30 °C) (με βάση το ΕΛΟΤ 384)

Τρόπος εγκατάστασης	A1 Μονωμένοι αγωγοί σε εντοιχισμένο ηλεκτρολογικό σωλήνα								A1 Πολυπολικό καλώδιο, απευθείας (εκτός σωλήνα) εντοιχισμένο								A2 Πολυπολικό καλώδιο σε εντοιχισμένο ηλεκτρολογικό σωλήνα							
	Cu				Al				Cu				Al				Cu				Al			
	XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC	
[mm ²]	2		3		2		3		2		3		2		3		2		3		2		3	
1,5	17	17	14,5	13,5					19	17	14,5	13,5					17	15,5	13,5	13				
2,5	23	23	19,5	18					26	23	19,5	18					23	21	18	17,5				
4	31	31	26	24					35	31	26	24					31	28	24	23				
6	40	40	34	31					44	40	34	31					40	36	31	29				
10	54	54	46	42					60	54	46	42					54	50	42	39				
16	73	73	61	56	58	58	48	43	80	73	61	56	64	58	48	43	73	68	56	52	58	53	43	41
25	95	95	80	73	73	73	62	57	105	95	80	73	84	73	62	57	95	89	73	68	73	70	57	53
35	117	117	99	89	90	90	77	70	128	117	99	89	103	90	77	70	117	109	89	83	90	86	70	65
50	141	141	118	108	110	110	92	84	154	141	118	108	124	110	92	84	141	130	108	99	110	104	84	78
70	179	179	149	136	140	140	116	107	194	179	149	136	156	140	116	107	179	164	136	125	140	131	107	98
95	216	216	179	164	170	170	139	129	233	216	179	164	188	170	139	129	216	197	164	150	170	157	129	11

120	249 249 206 188	197 197 160 149	268 249 206 188	216 197 160 149	249 227 188 172	197 180 149 13
150	285 285 240 216	226 226 189 170	318 285 240 216	253 226 189 170	285 259 216 196	226 206 170 15
185	324 324 273 245	256 256 215 194	362 324 273 245	288 256 215 194	324 295 245 223	256 233 194 17
240	380 380 321 286	300 300 252 227	424 380 321 286	338 300 252 227	380 346 286 261	300 273 227 20
300	435 435 367 328	344 344 289 261	486 435 367 328	387 344 289 261	435 396 328 298	344 3.13 261 23

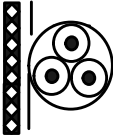
Πίνακας 1.8 β Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα σε (Α), επίτοιχων (ορατών) ηλεκτρικών γραμμών (30 °C) (με βάση το ΕΛΟΤ 384)

Τρόπος εγκατάστασης	B1 Μονωμένοι αγωγοί σε επίτοιχο ηλεκτρολογικό σωλήνα								B2 Πολυπολικό καλώδιο σε επίτοιχο ηλεκτρολογικό σωλήνα								C Πολυπολικό καλώδιο, γυμνό (απευθείας) Επίτοιχο							
	Cu				Al				Cu				Al				Cu				Al			
	XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC	
[mm ²]	Πλήθος φορτιζόμενων αγωγών		2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1,5	23	20	1	15,5					22	19	15,5	14,5					23	22	19	17				
2,5	31	28	2	21					30	26	21	19,5					31	30	26	23				
4	42	37	3	28					40	35	28	26					42	40	35	31				
6	54	48	4	36					51	44	36	34					54	51	44	40				
10	75	66	5	50					69	60	50	46					75	69	60	54				
16	10	88	7	68	79	71	58	53	91	80	68	61	72	64	53	48	100	91	80	73	79	72	64	58
25	13	117	9	89	101	93	73	70	119	105	89	80	90	84	70	62	133	119	105	95	101	90	84	73
35	16	144	117	109	126	116	90	86	146	128	109	99	112	103	86	77	164	146	128	117	126	112	103	90
50	19	175	141	130	154	140	1.10	104	175	154	130	118	136	124	104	92	198	175	154	141	154	136	124	110
70	25	222	179	164	198	179	140	131	221	194	164	149	174	156	131	116	253	221	194	179	198	174	156	140
95	30	269	216	197	241	217	170	157	265	233	197	179	211	188	157	139	306	265	233	216	241	211	188	170
120	35	312	249	227	280	251	197	180	305	268	227	206	245	216	180	160	354	305	268	249	280	245	216	197

150	44	285	259	324	226	206	371	318	259	240	283	253	206	189	441	371	318	285	324	283	253	226
185	50	324	295	371	256	233	424	362	295	273	323	288	233	215	506	424	362	324	371	323	288	256
240	59	380	346	439	300	273	500	424	346	321	382	338	273	252	599	500	424	380	439	382	338	300
300	69	435	396	508	344	313	576	486	396	367	440	387	313	289	693	576	486	435	508	440	387	344

Πίνακας 1.8γ

Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα (A), ηλεκτρικών γραμμών με πολυπολικά καλώδια στον αέρα (30°C) (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

	Τρόπος εγκατάστασης	Ε Πολυπολικά καλώδια σε απόσταση από τοίχους και άλλα δομικά υλικά							
									
		Αγωγός		Cu		PVC		Al	
Μόνωση		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC	
S [mm ²]	Πλήθος φορτιζόμενων Αγωγών	2	3	2	3	2	3	2	3
1,5		26	22	22	18,5				
2,5		36	30	30	25				
4		49	40	40	34				
6		63	51	51	43				
10		86	70	70	60				
16		115	94	94	80	91	73	73	61
25		149	119	119	101	108	89	89	78
35		185	148	148	126	135	111	111	96
50		225	180	180	153	164	135	135	117
70		289	232	232	196	211	173	173	150
95		352	282	282	238	257	210	210	183
120		410	328	328	276	300	244	244	212
150		473	379	379	319	346	282	282	245
185		542	434	434	364	397	322	322	280
240		641	514	514	430	470	380	380	330
300		741	593	593	497	543	439	439	381

Πίνακας 1.8δ

Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα (A), ηλεκτρικών γραμμών με μονοπολικά καλώδια στον αέρα (30°C) (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

Τρόπος εγκατάστασης	F Μονοπολικά καλώδια σε επαφή μεταξύ τους και σε απόσταση από τοίχους και άλλα δομικά υλικά												G Μονοπολικά καλώδια σε απόσταση μεταξύ τους και σε απόσταση από τοίχους και άλλα δομικά υλικά							
	Διάταξη επίπεδη οριζόντια ή κατακόρυφη						Διάταξη τριγωνική						Διάταξη επίπεδη Οριζόντια				Διάταξη επίπεδη κατακόρυφη			
	Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al					
Μόνωση	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PV C	XLP E EPR	PVC
S mm ²	2	3	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1,5																				
2,5																				
4																				
6																				
10																				
16																				
25	161	141	130	110	121	107	98	84	135	110	103	84	182	141	138	107	161	130	121	98
35	200	176	162	137	150	135	122	105	169	137	129	105	226	176	172	135	200	162	150	122
50	242	216	196	167	184	165	149	128	207	167	159	128	275	216	210	165	242	196	184	149
70	310	279	251	216	237	215	192	166	268	216	206	166	353	279	271	215	310	251	237	192
95	377	341	304	264	289	264	235	203	328	264	253	203	430	341	332	264	377	304	289	235
120	437	396	352	308	337	308	273	237	383	308	296	237	500	396	387	308	437	352	337	273
150	504	456	406	356	389	356	316	274	444	356	343	274	577	456	448	356	504	406	389	316
185	575	521	463	409	447	407	363	315	510	409	395	315	661	521	515	407	575	463	447	363
240	679	615	546	485	530	482	430	375	607	485	471	375	781	615	611	482	679	546	530	430
300	783	709	629	561	613	557	497	434	703	561	547	434	902	709	708	557	783	629	613	497
400	940	852	754	656	740	671	600	526	823	656	663	526	1085	852	856	671	940	754	740	600
500	1083	982	868	749	856	775	694	610	946	749	770	610	1253	982	991	775	1083	868	856	694
630	1254	1138	1005	855	996	900	808	711	1088	855	899	711	1454	1138	1154	900	1254	1005	996	808

1.3.1 Σχόλια σχετικά με την επιλογή διατομής μη υπόγειων αγωγών

- Ο Πίνακας 1.5 δίνει το συντελεστή διόρθωσης σαν συνάρτηση του αριθμού των επιμέρους ανεξάρτητων κυκλωμάτων ή των πολυπολικών καλωδίων.
- Ο Πίνακας 1.6 που αφορά σε μονοπολικά καλώδια (τύπος εγκατάστασης F), δίνει το συντελεστή διόρθωσης k_2 σε συνάρτηση με το αριθμό των κυκλωμάτων ενώ ο Πίνακας 1.7 που αφορά σε πολυπολικά καλώδια (τύπος εγκατάστασης E) και συνεπώς κάθε ένα από αυτά τα καλώδια θεωρείται ως ένα ανεξάρτητο κύκλωμα, δίνει το συντελεστή διόρθωσης k_2 με βάση το πλήθος των καλωδίων.
- Με βάση τα δύο προηγούμενα σχόλια, ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης k_2 , είναι ενιαίος είτε πρόκειται για την τροφοδότηση ενός τριφασικού ή ενός μονοφασικού φορτίου.
- Οι Πίνακες 1.8α έως 1.8δ δίνουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος σαν συνάρτηση του πλήθους των φορτισμένων αγωγών ενός κυκλώματος ή ενός

πολυπολικού καλωδίου.

- v. Οι αγωγοί προστασίας (PE) δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του πλήθους των φορτισμένων αγωγών. Στην περίπτωση που στο σύστημα τροφοδοσίας υπάρχει συνδυασμός αγωγού προστασίας και ουδέτερου PEN, αυτός αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και ο ουδέτερος αγωγός. (ΕΛΟΤ HD384.52.523.5.3).
- vi. Ως φορτισμένοι αγωγοί για ένα κύκλωμα θεωρούνται αυτοί που διαρρέονται από το ονομαστικό ρεύμα του φορτίου που θα τροφοδοτηθεί. Στην περίπτωση τριφασικών φορτίων, το ρεύμα αυτό είναι ίσο με το ονομαστικό ρεύμα κάθε φάσης του φορτίου. Όταν το τριφασικό φορτίο είναι ισορροπημένο, δεν λαμβάνουμε υπόψη στο πλήθος των φορτισμένων αγωγών τον ουδέτερο, καθώς αυτός δεν διαρρέεται από ρεύμα. Στην περίπτωση των μη ισορροπημένων φορτίων, όπως για παράδειγμα όταν από μια τριφασική παροχή τροφοδοτούνται και μονοφασικά φορτία, ο ουδέτερος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο πλήθος των φορτισμένων αγωγών (ΕΛΟΤ HD384.52.523.5.1).
- vii. Το ρεύμα του ουδέτερου αγωγού σε μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας είναι ίσο με το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων που διαρρέουν τις τρεις φάσεις. Για αυτό το λόγο όταν έχουμε ισορροπημένα τριφασικά φορτία, ο ουδέτερος δεν διαρρέεται από ρεύμα. Σε πολλές περιπτώσεις, όπου από ένα τριφασικό δίκτυο τροφοδοτούνται είτε μονοφασικές ή τριφασικές ηλεκτρονικές συσκευές όπως γέφυρες ανόρθωσης, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, κ.λπ., εμφανίζονται στον ουδέτερο αγωγό οι 3^{ης} τάξης αρμονικές συνιστώσες των ρευμάτων των φάσεων, οι οποίες είναι συμφασικές μεταξύ τους και προστίθενται αλγεβρικά, με αποτέλεσμα ο ουδέτερος αγωγός να επιβαρύνεται σημαντικά από το ρεύμα τους (βλ. παραγράφους 3.3.2. και 6.1). Σε αυτές τις ειδικές περιπτώσεις όπου ο ουδέτερος των τριφασικών παροχών τροφοδοσίας διαρρέεται από ρεύμα αρμονικών συνιστωσών, θα πρέπει και ο ουδέτερος αγωγός να υπολογίζεται στον αριθμό των φορτισμένων αγωγών (ΕΛΟΤ HD384.52.523.5.2).

Έτσι λοιπόν, έστω για παράδειγμα ότι έχουμε μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας (τρεις φάσεις, ουδέτερος και αγωγός προστασίας PE), κατασκευασμένη από μονοπολικά καλώδια τα οποία είναι εγκατεστημένα εντός εντοιχισμένου ηλεκτρολογικού σωλήνα. Επίσης, έστω ότι ο ουδέτερος αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, είτε λόγω τροφοδότησης μονοφασικών φορτίων διαφορετικών μεταξύ τους και άνισα κατανεμημένων στις τρεις φάσεις, είτε λόγω ύπαρξης αρμονικών συνιστωσών ρεύματος εξαιτίας της τροφοδότησης μη γραμμικών τριφασικών φορτίων. Στην περίπτωση αυτή, για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας, θα πρέπει στους φορτιζόμενους αγωγούς, να συμπεριληφθεί και ο ουδέτερος αγωγός. Άρα λοιπόν έχουμε ομαδοποίηση 4 φορτιζόμενων αγωγών και σύμφωνα με την παρατήρηση 5 του Πίνακα 1.5, η ομάδα των 4 αγωγών θα πρέπει να θεωρηθεί ως 2 ανεξάρτητα κυκλώματα των 2 φορτιζόμενων αγωγών και συνεπώς θα πρέπει να ληφθεί υπόψη συντελεστής $k_2 = 0,8$ για τον υπολογισμό της μέγιστης ικανότητας μεταφοράς ρεύματος από τους αγωγούς.

1.3.2 Επίδραση των αρμονικών συνιστωσών ρεύματος στον υπολογισμό της διατομής των αγωγών ενός κυκλώματος

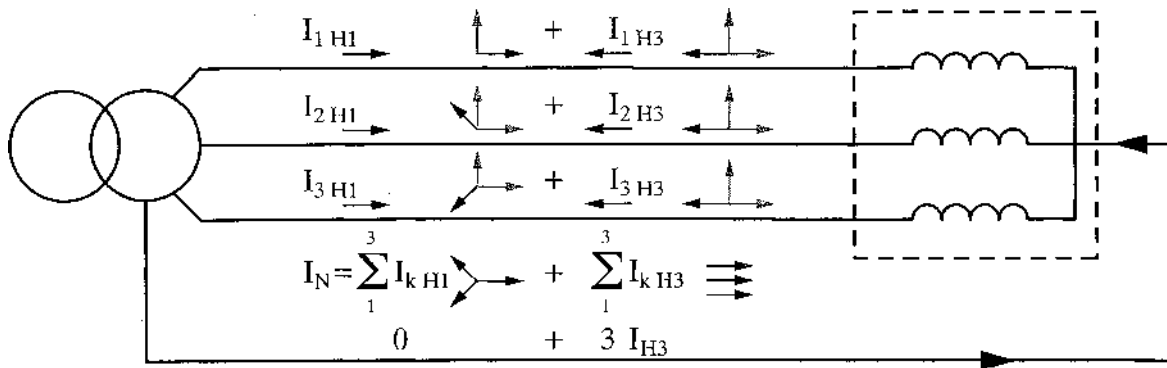
Οι αρμονικές συνιστώσες του ρεύματος, αναπτύσσονται εξαιτίας των μη γραμμικών φορτίων τα οποία τροφοδοτούνται από μια ηλεκτρική εγκατάσταση (H/Y, ballast για λαμπτήρες φθορισμού, ανορθωτικές διατάξεις κ.λπ.).

Αποτέλεσμα της ύπαρξης των αρμονικών συνιστωσών, εκτός της επιβάρυνσης των αγωγών των φάσεων, είναι και η κυκλοφορία ρευμάτων στον ουδέτερο αγωγό μιας τριφασικής γραμμής τροφοδοσίας, με τιμή υψηλότερη σε πολλές περιπτώσεις από αυτή του ρεύματος φορτίου.

Ειδικό ενδιαφέρον σε μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας παρουσιάζουν οι 3ης τάξης αρμονικές συνιστώσες του ρεύματος, καθώς οι τιμές τους αθροίζονται αλγεβρικά και το άθροισμα τους διαρρέει τον ουδέτερο αγωγό της εγκατάστασης.

Θεωρούμε την περίπτωση όπου τρία όμοια μη γραμμικά μονοφασικά φορτία τροφοδοτούνται από μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας με ουδέτερο (σχήμα 1.3).

Το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων για τη θεμελιώδη συχνότητα των 50Hz, είναι ίσο με το μηδέν. Το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων 3ης αρμονικής συνιστώσας (150Hz) το οποίο διαρρέει τελικά τον ουδέτερο αγωγό, έχει μέτρο ίσο με το τριπλάσιο του μέτρου του ρεύματος 3ης αρμονικής που διαρρέει κάθε φάση.



Σχήμα 1.3 Τροφοδοσία τριών όμοιων μη γραμμικών μονοφασικών φορτίων από τριφασική γραμμή τροφοδοσίας

I_{H1}, I_{2H1}, I_{3H1} : διανύσματα της θεμελιώδους συχνότητας (50Hz) των ρευμάτων που διαρρέουν κάθε φάση αντίστοιχα.

I_{H3}, I_{2H3}, I_{3H3} : διανύσματα της 3ης αρμονικής συνιστώσας (150Hz) των ρευμάτων που διαρρέουν κάθε φάση αντίστοιχα.

Η μέθοδος υπολογισμού της διατομής των αγωγών ενός καλωδίου με βάση την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος (βλ. παράγραφο 1.3.), αφορά σε καλώδια με 2 ή 3 ενεργούς (φορτιζόμενους) αγωγούς.

Εξαιτίας όμως της ύπαρξης των αρμονικών συνιστωσών, θα πρέπει και ο ουδέτερος αγωγός ο οποίος διαρρέεται τελικά από ρεύμα, να συνυπολογισθεί στους φορτιζόμενους αγωγούς κατά τη διαδικασία υπολογισμού της διατομής των αγωγών (ΕΛΟΤ HD384.52.523.5.2).

Με άλλα λόγια, ο ουδέτερος αγωγός συμμετέχει στην ανάπτυξη θερμότητας εξαιτίας του ρεύματος από το οποίο διαρρέεται και συνεπώς προκαλεί μείωση της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος των αγωγών των φάσεων της γραμμής τροφοδοσίας.

Με βάση το πρότυπο IEC60364, προβλέπονται συντελεστές μείωσης της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος των αγωγών, εξαιτίας της ύπαρξης των αρμονικών συνιστωσών οι οποίες συνθέτουν το ρεύμα που διαρρέει τον ουδέτερο αγωγό.

Οι συντελεστές μείωσης ορίζονται σε σχέση με το επί τοις εκατό (%) περιεχόμενο σε αρμονικές συνιστώσες 3ης τάξης, που έχει το ρεύμα που διαρρέει τους αγωγούς των φάσεων.

Επίσης, αυτοί οι συντελεστές μείωσης λαμβάνουν υπόψη και τη θερμική επιβάρυνση των αγωγών των φάσεων, εξαιτίας της ύπαρξης των αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος.

Εφαρμόζοντας τους συντελεστές του Πίνακα 1.9 στην ικανότητα μεταφοράς ρεύματος ενός καλωδίου με τρεις φορτιζόμενους αγωγούς, προκύπτει το ρεύμα το οποίο μπορεί να μεταφέρει το ίδιο καλώδιο, στην περίπτωση των 4 φορτιζόμενων αγωγών, όπου το ρεύμα του τέταρτου αγωγού (ουδέτερου), οφείλεται αποκλειστικά στις αρμονικές συνιστώσες.

Πίνακας 1.9 Συντελεστές μείωσης της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος ενός αγωγού, εξαιτίας των αρμονικών συνιστωσών 3ης τάξης του ρεύματος (με βάση το IEC60364)

Τιμή αρμονικής συνιστώσας 3ης τάξης (%)	Συντελεστής μείωσης	
	Επιλογή διατομής με βάση το ρεύμα του αγωγού φάσης	Επιλογή διατομής με βάση το ρεύμα του ουδέτερου αγωγού
0-15	1	-
15-33	0,86	-
33-45	-	0,86
>45	-	1

Οι συντελεστές του Πίνακα 1.9, εφαρμόζονται με βάση το IEC60364, μόνο για την περίπτωση που ο ουδέτερος αγωγός βρίσκεται ενσωματωμένος σε τετραπολικό ή πενταπολικό καλώδιο τροφοδοσίας, είναι κατασκευασμένος από το ίδιο υλικό με τους αγωγούς των φάσεων και έχει την ίδια διατομή με αυτούς.

- Στην περίπτωση που το ρεύμα στον ουδέτερο αγωγό αναμένεται να είναι μεγαλύτερο από αυτό των φάσεων, η επιλογή της διατομής των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας, θα πρέπει να γίνεται με βάση το ρεύμα του ουδέτερου αγωγού.
- Όταν η επιλογή των διατομών γίνεται με βάση το ρεύμα του ουδέτερου αγωγού, ο αντίστοιχος συντελεστής του Πίνακα 1.9 θα πρέπει να εφαρμόζεται επί της τιμής της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος του καλωδίου, για τρεις φορτιζόμενους αγωγούς.
- Εάν το ρεύμα στον ουδέτερο αγωγό είναι μεγαλύτερο του 135% του ρεύματος κάθε φάσης και η επιλογή της διατομής των αγωγών έχει γίνει με βάση το ρεύμα του ουδέτερου αγωγού, οι αγωγοί των φάσεων δεν θα φορτίζονται πλήρως. Σε αυτή την περίπτωση, η μείωση της παράγόμενης θερμότητας από τους αγωγούς των φάσεων, αντισταθμίζει την αυξημένη από τον ουδέτερο αγωγό παραγωγή θερμότητας, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται η εφαρμογή συντελεστή μείωσης επί της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος των τριών φορτιζόμενων αγωγών.

Ø Παρατήρηση: Με την όλο και αυξανόμενη χρήση μη γραμμικών μονοφασικών φορτίων (π.χ. Η/Υ, ηλεκτρονικών συσκευών και διατάξεων, διατάξεων ημιαγωγών κ.λπ.), γεννάται πλέον θέμα «μόλυνσης» του δικτύου τροφοδοσίας από τα ρεύματα αρμονικών συνιστωσών (κατά κύριο λόγο προερχόμενα από βιομηχανικές εγκαταστάσεις), με κύρια συνέπεια την υποβάθμιση της «ποιότητας» της παρεχόμενης από το δίκτυο ισχύος, αλλά και με πλήθος άλλων αρνητικών συνεπειών που σχετίζονται με τη λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών αλλά και των εγκαταστάσεων γενικότερα. Η ορθή αντιμετώπιση του προβλήματος σε αυτές τις περιπτώσεις, επιβάλλει την καταστολή με διάφορες μεθόδους των αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος και όχι την υπερδιαστασιολόγηση των αγωγών απλά και μόνο για να μπορέσουν να αντέξουν τα θερμικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την ύπαρξη και κυκλοφορία αυτού του είδους ρευμάτων.

1.3.3 Συνοπτική διαδικασία επιλογής της διατομής για ένα μη υπόγειο αγωγό ή καλώδιο

Ανακεφαλαιώνοντας τα όσα μέχρι στιγμής αναφέρθηκαν σχετικά με τη διαδικασία επιλογής της διατομής ενός μη υπόγειου αγωγού ή καλωδίου, μπορούμε να πούμε ότι αυτή αποτελείται από τα παρακάτω 5 επιμέρους βήματα:

Βήμα 1

Από τον Πίνακα 1.3, προσδιορίζεται ο τρόπος και ο τύπος της εγκατάστασης του αγωγού ή καλωδίου που ταιριάζει περισσότερο προς την πραγματική εγκατάσταση που πρόκειται να υλοποιηθεί.

Βήμα 2

Από τον Πίνακα 1.4 γίνεται επιλογή του συντελεστή διόρθωσης k_1 ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος εγκατάστασης και του υλικού μόνωσης του αγωγού.

Βήμα 3

- Από τον Πίνακα 1.5 γίνεται επιλογή του συντελεστή διόρθωσης για ομαδοποιημένα, συνωστισμένα καλώδια με τυχαίο τρόπο, απευθείας πάνω στο δομικό υλικό ή πάνω στον ίδιο φορέα ή εντός του ίδιου ηλεκτρολογικού σωλήνα ή καναλιού διανομής, ή σε μια στρώση όταν πρόκειται για μη διάτρητο κανάλι διανομής.
- Από τον Πίνακα 1.6 γίνεται επιλογή του συντελεστή διόρθωσης για μονοπολικά καλώδια σε μια στρώση σε ένα ή περισσότερους διάτρητους φορείς
- Από τον Πίνακα 1.7 γίνεται επιλογή του συντελεστή διόρθωσης για πολυπολικά καλώδια σε μια στρώση σε ένα ή περισσότερους διάτρητους φορείς

Βήμα 4

Σκοπός μας είναι να υπολογίσουμε από τους σχετικούς Πίνακες 1.8.α. έως 1.8.δ. ένα ρεύμα I_b' , το οποίο μετά και από την εφαρμογή των κατάλληλων ανάλογα με την περίπτωση συντελεστών διόρθωσης, να προκύψει τουλάχιστον ίσο με το ρεύμα φορτίου I_b το οποίο πρόκειται να φέρει το καλώδιο. Θα ισχύει δηλαδή η σχέση 1.2

$$I_b = I_b' \times k_1 \times k_2 \Leftrightarrow I_b' = \frac{I_b}{k_1 \times k_2} = \frac{I_b}{k_{ολικο}} \quad (1.2)$$

Βήμα 5

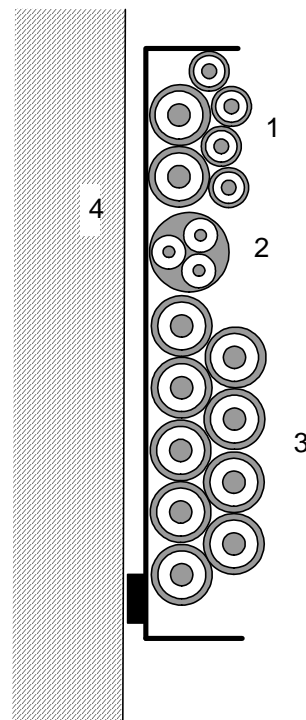
Από τους Πίνακες 1.8α έως 1.8δ ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης του αγωγού ή του καλωδίου, το μονωτικό και το αγωγίμο υλικό του και το πλήθος των ενεργών αγωγών, επιλέγουμε διατομή με ικανότητα μεταφοράς ρεύματος $I_0 \geq I_b'$. Τελικά το ρεύμα που πραγματικά θα μεταφέρεται από την επιλεγμένη διατομή θα είναι ίσο με $I_Z = I_0 \times k_1 \times k_2$

1.3.4 Παραδείγματα υπολογισμού διατομών μη υπόγειων αγωγών και καλωδίων

1.3.4.1 Παράδειγμα I: Υπολογισμός διατομής αγωγών για συνωστισμένα με τυχαίο τρόπο ανεξάρτητα κυκλώματα

Επιθυμούμε να επιλέξουμε την κατάλληλη διατομή για ένα χάλκινο πολυπολικό καλώδιο με μόνωση από PVC, το οποίο θα τροφοδοτεί τριφασικό ισορροπημένο φορτίο με ονομαστικό ρεύμα 100A. Το καλώδιο θα τοποθετηθεί - στοιβαχτεί σε πολλές στρώσεις, συνωστίζεται με άλλα λόγια μαζί με άλλα ήδη εγκατεστημένα καλώδια, εντός επίτοιχης οριζόντιας σχάρας καλωδίων όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4 και για τα οποία ισχύουν τα εξής:

- 1) τέσσερα μονοπολικά καλώδια (τρεις φάσεις και αγωγός προστασίας PE), διατομής 50mm^2 το καθένα τροφοδοτούν ένα τριφασικό φορτίο.
- 2) ένα τριπολικό καλώδιο $3 \times 10\text{mm}^2$ (φάση, ουδέτερος, αγωγός προστασίας) τροφοδοτεί ένα μονοφασικό πίνακα διανομής.
- 3) εννέα μονοπολικά καλώδια $9 \times 95\text{mm}^2$ είναι ανά τρία συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους, αποτελώντας έτσι ένα τριφασικό σύστημα τροφοδοσίας με τρεις αγωγούς ανά φάση, το οποίο τροφοδοτεί ένα ισορροπημένο τριφασικό φορτίο.
- 4) δυο μονοπολικοί αγωγοί $2 \times 70\text{mm}^2$ τροφοδοτούν ένα μονοφασικό φορτίο.



Σχήμα 1.4

Ομαδοποιημένα - συνωστισμένα μονοπολικά και πολυπολικά καλώδια, που συνθέτουν διαφορετικά ανεξάρτητα μεταξύ τους κυκλώματα (Παράδειγμα I).

Η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος στο χώρο εγκατάστασης του καλωδίου θα είναι $40\text{ }^\circ\text{C}$. Με βάση τον Πίνακα 1.3 μπορούμε να προσδιορίσουμε τον τρόπο και τον τύπο της εγκατάστασης που αφορά στο συγκεκριμένο παράδειγμα και ανάλογα να επιλέξουμε τον κατάλληλο Πίνακα από τους 1.8α έως 1.8δ με βάση τον οποίο θα γίνει η επιλογή της διατομής του καλωδίου. Ο τυποποιημένος τρόπος που είναι πλησιέστερος στην περίπτωση του παραδείγματος μας είναι η περίπτωση 32, του Πίνακα 1.3.

Από τον Πίνακα 1.4 επιλέγουμε το συντελεστή διόρθωσης ο οποίος ισχύει για υλικό μόνωσης PVC και θερμοκρασία περιβάλλοντος $40\text{ }^\circ\text{C}$, $k_1=0,87$.

Από τον Πίνακα 1.5 θα επιλέξουμε την τιμή του συντελεστή διόρθωσης k_2 για ομαδοποιημένα σε πολλές στρώσεις καλώδια, όπως συμβαίνει στην περίπτωσή μας. Για να γίνει αυτή η επιλογή θα πρέπει να καθορίσουμε τον αριθμό των ανεξάρτητων κυκλωμάτων ή των πολυπολικών καλωδίων. Στην περίπτωση του παραδείγματος μας ισχύουν τα ακόλουθα:

- κάθε ένα από τα κυκλώματα 2 και 4, αποτελεί και ένα ανεξάρτητο κύκλωμα
- το κύκλωμα 3, προκύπτει από τη συμβολή τριών ανεξάρτητων κυκλωμάτων, καθώς έχουμε τρεις αγωγούς ανά φάση συνδεδεμένους παράλληλα.
- το κύκλωμα 1 των 4 μονοπολικών αγωγών, θεωρείται ως ένα ανεξάρτητο κύκλωμα με 3

φορτιζόμενους αγωγούς, καθώς ο αγωγός προστασίας δεν λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή της διατομής των αγωγών.

- το καλώδιο του οποίου επιθυμούμε να υπολογίσουμε τη διατομή, είναι πολυπολικό και συνεπώς θεωρείται και αυτό σαν ένα ανεξάρτητο κύκλωμα.

Συνεπώς έχουμε 7 συνολικά ανεξάρτητα κυκλώματα. Από τον Πίνακα 1.5, για συνωστισμένα με τυχαίο τρόπο καλώδια και αγωγούς και από την κατάλληλη στήλη επιλέγουμε $k_2=0,54$.

Με βάση λοιπόν τους συντελεστές k_1 και k_2 καθώς και τη σχέση 1.2 έχουμε ότι:

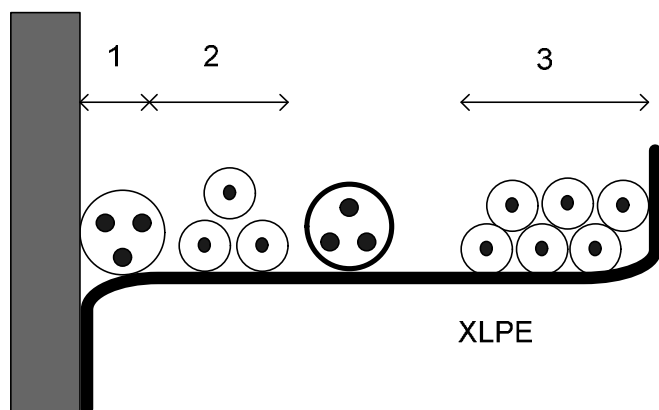
$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \times k_2} = \frac{100}{0,87 \times 0,54} = 212,86A$$

Από τον Πίνακα 1.8γ που αφορά σε πολυπολικά καλώδια εγκατεστημένα σε απόσταση από τους τοίχους ή άλλα δομικά υλικά (τύπος E) και για πλήθος 3 χάλκινων φορτιζόμενων αγωγών και υλικό μόνωσης PVC, βρίσκουμε ότι η πλησιέστερη τυποποιημένη διατομή που μπορεί να μεταφέρει ένταση ρεύματος τουλάχιστον ίσο με 212,86A είναι αυτή των 95mm². Η συγκεκριμένη διατομή αγωγού έχει υπό φυσιολογικές συνθήκες ικανότητα μεταφοράς έντασης ρεύματος 238A. Για τις συνθήκες του παραδείγματος μας το μέγιστο ρεύμα που θα μπορεί να μεταφερθεί από τη συγκεκριμένη διατομή αγωγού θα είναι $I_2=238 \times 0,87 \times 0,54=111,81A$.

1.3.4.2 Παράδειγμα 2: Υπολογισμός διατομής αγωγών για ομαδοποιημένα σε μια στρώση ανεξάρτητα κυκλώματα

Ένα τριπολικό καλώδιο XLPE που θα τροφοδοτεί τριφασικό ισορροπημένο φορτίο, πρόκειται να εγκατασταθεί μαζί με τρία άλλα προϋπάρχοντα ανεξάρτητα κυκλώματα, σε μη διάτρητο κανάλι-φορέα διέλευσης καλωδίων (σχήμα 1.5), με ρεύμα φορτίου 23A ανά φάση.

- Το κύκλωμα 1 τροφοδοτεί τριφασικό φορτίο μέσω τριπολικού καλωδίου.
 - το κύκλωμα 2 είναι τριφασικό και αποτελείται από 3 μονοπολικά μονωμένα καλώδια σε τριγωνική διάταξη.
 - το κύκλωμα 3 είναι τριφασικό και κάθε φάση τροφοδοτείται από δύο μονοπολικά καλώδια παράλληλα συνδεδεμένα, συνθέτοντας τελικά δύο επιμέρους κυκλώματα όμοιων μονοπολικών αγωγών σε τριγωνική διάταξη, τα οποία τροφοδοτούν το ίδιο φορτίο.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος στο χώρο εγκατάστασης είναι 40° C.



Σχήμα 1.5

Τριπολικό καλώδιο XLPE εγκατεστημένο με άλλα ανεξάρτητα κυκλώματα σε φορέα καλωδίων.

Ο τύπος εγκατάστασης που ταιριάζει στην περίπτωση του παραδείγματος είναι ο C (περίπτωση 30 του Πίνακα 1.3). Από τον Πίνακα 1.4 έχουμε συντελεστή $k_1=0,9$.

Το σύνολο των ανεξάρτητων κυκλωμάτων μαζί με το προς εγκατάσταση τριπολικό καλώδιο είναι 5, καθώς το κύκλωμα 3 προκύπτει από τον παράλληλο συνδυασμό δύο επιμέρους κυκλωμάτων. Η διάταξη μεταξύ των ανεξάρτητων γραμμών τροφοδοσίας είναι σε μια στρώση οπότε από τον Πίνακα 1.5 προκύπτει συντελεστής $k_2=0,73$. Ο υπολογισμός της μέγιστης ικανότητας μεταφοράς ρεύματος από τους αγωγούς θα γίνει με βάση το ρεύμα:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \times k_2} = \frac{100}{0,9 \times 0,73} = \frac{23}{0,66} = 34,85A$$

Από τον Πίνακα 1.8.β. προκύπτει ότι για το XLPE καλώδιο με 3 φορτιζόμενους αγωγούς για τύπο εγκατάστασης C, η κατάλληλη διατομή είναι τα 4mm^2 .

1.3.4.3 Παράδειγμα 3: Υπολογισμός διατομής αγωγών υπό την παρουσία αρμονικών συνιστωσών ρεύματος

Επιθυμούμε να επιλέξουμε την κατάλληλη διατομή για μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας κατασκευασμένη από 5 μονοπολικά καλώδια (τρεις φάσεις, ουδέτερο και αγωγό προστασίας). Τα μονοπολικά καλώδια είναι τοποθετημένα εντός εντοιχισμένου ηλεκτρολογικού σωλήνα. Η γραμμή τροφοδοσίας θα τροφοδοτεί τρία όμοια μονοφασικά φορτία με ονομαστική τιμή έντασης ρεύματος 23A. Η μέση θερμοκρασία στον περιβάλλοντα χώρο της εγκατάστασης είναι 30°C .

Με βάση τον Πίνακα 1.3 μπορούμε να εντοπίσουμε τον τύπο της εγκατάστασης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο πλησιέστερος τρόπος τυποποιημένης εγκατάστασης είναι η περίπτωση 1 (A1) του Πίνακα 1.3.

Ο συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας είναι ίσος με τη μονάδα $k_1 = 1$ όπως και ο συντελεστής λόγω ομαδοποίησης (Πίνακας 1.5) είναι επίσης ίσος με τη μονάδα, $k_2=1$.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν αρμονικές συνιστώσες ρεύματος, οι φόρτιζόμενοι αγωγοί είναι τρεις, καθώς ο αγωγός προστασίας δεν λαμβάνεται υπόψη και ο ουδέτερος αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύματος αφού τα μονοφασικά φορτία είναι όμοια μεταξύ τους και το δίκτυο τροφοδοσίας είναι ισορροπημένο. Έτσι λοιπόν, από τον Πίνακα 1.8α και για 3 φορτιζόμενους χάλκινους αγωγούς επιλέγουμε την κατάλληλη διατομή με βάση το ρεύμα:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \times k_2} = \frac{23}{1 \times 1} = 23A$$

Με βάση τα προηγούμενα στοιχεία, η κατάλληλη διατομή για τους αγωγούς της τριφασικής γραμμής τροφοδοσίας είναι αυτή των 4mm^2 , που υπό τις παρούσες συνθήκες μπορεί να μεταφέρει έως και 24A.

Υποθέτουμε τώρα ότι παράγονται αρμονικές συνιστώσες 3ης τάξης με τιμή 28% της έντασης του ρεύματος φορτίου.

Στην περίπτωση αυτή, ο ουδέτερος αγωγός της γραμμής τροφοδοσίας θα διαρρέεται από ρεύμα και συνεπώς θα συμμετέχει με τη θερμική επιβάρυνση που θα προκαλεί, στη μείωση της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος των αγωγών των φάσεων.

Πρώτη προσέγγιση του προβλήματος:

Εφόσον ο ουδέτερος αγωγός διαρρέεται από ρεύματος, θα πρέπει με βάση την παράγραφο 52.523.5.2 του ΕΛΟΤ HD384 να ληφθεί υπόψη ως φορτιζόμενους αγωγός, για την εκτίμηση της διατομής των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας.

Θα είναι δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση 4 οι φορτιζόμενοι αγωγοί. Σύμφωνα με την παρατήρηση 5 του Πίνακα 1.5, οι 4 φορτιζόμενοι αγωγοί μπορούν να θεωρηθούν ότι συνθέτουν δύο ανεξάρτητα κυκλώματα διατεταγμένα σε μια στρώση, με 2 φορτιζόμενους αγωγούς το καθένα. Προκύπτει συνεπώς από τον Πίνακα 1.5, συντελεστής $k_2=0,80$ και τότε εκτίμηση της διατομής των αγωγών γίνεται με βάση το ρεύμα:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \times k_2} = \frac{23}{1 \times 0,80} = 28,75A$$

Η επιλογή της διατομής των αγωγών θα γίνει από τον Πίνακα 1.8α, για τύπο εγκατάστασης A1 με δύο σε αυτή την περίπτωση φορτιζόμενους αγωγούς χαλκού, οπότε προκύπτει ότι η διατομή των 6mm^2 με $I_0=34A > 28,75A$, μπορεί να μεταφέρει το ρεύματος της συγκεκριμένης περίπτωσης.

Η μέγιστη ικανότητα μεταφοράς ρεύματος της διατομής των 6mm^2 για τις συγκεκριμένες συνθήκες θα είναι $I_z = I_0 \times k_{0\lambda} = 34 \times 1 \times 0,80 = 27,2A$.

Δεύτερη προσέγγιση του προβλήματος:

Συμφώνα με το πρότυπο IEC60364 (βλ. παράγραφο 3.3.2.), για τον προσδιορισμό της διατομής των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ένας συντελεστής μείωσης της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος των αγωγών, εξαιτίας του γεγονότος ότι ο ουδέτερος αγωγός διαρρέεται από ρεύματος που οφείλεται στην ύπαρξη αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος φορτίου κάθε φάσης.

Εφόσον η αναπτυσσόμενη 3η αρμονική συνιστώσα έχει τιμή ίση με το 28% του ρεύματος φορτίου κάθε φάσης, τότε σύμφωνα με τον Πίνακα 1.9, η εκτίμηση της διατομής των αγωγών τροφοδοσίας θα πρέπει να γίνει με βάση το ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς των φάσεων και λαμβάνοντας υπόψη συντελεστή μείωσης ίσο με 0,86. Άρα:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \times k_2 \times 0,86} = \frac{23}{1 \times 1 \times 0,86} = 26,74A$$

Από τον Πίνακα 1.8α, για τύπο εγκατάστασης A1 και 3 χάλκινους φορτιζόμενους αγωγούς με μόνωση PVC, προκύπτει ότι η διατομή των 6mm^2 μπορεί να καλύψει το ρεύματος της συγκεκριμένης περίπτωσης.

Η μέγιστη ικανότητα μεταφοράς ρεύματος της διατομής των 6mm^2 για τις συγκεκριμένες συνθήκες θα είναι $I_z = I_0 \times k_{0\lambda} = 31 \times 1 \times 0,86 = 26,66A$.

Εάν το ρεύμα των αρμονικών συνιστωσών αυξηθεί στο 40% του ρεύματος φορτίου κάθε φάσης, με βάση το πρότυπο IEC60364 (Πίνακας 1.9), ο υπολογισμός της διατομής των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας θα πρέπει να γίνει με βάση το ρεύμα που διαρρέει τον ουδέτερο αγωγό. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα και με βάση όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.3.2, το ρεύμα του ουδέτερου αγωγούς θα είναι:

Επίσης, ο συντελεστής μείωσης που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι 0,86, οπότε τελικά:

$$I_N = 3 \times \frac{I_\Phi}{k_1 \times k_2} \times 0,4 = 3 \times \frac{23}{1 \times 1} \times 0,4 = 27,6A$$

$$I'_b = \frac{I_N}{0,86} = \frac{27,6}{0,86} = 32,09A$$

Με τον ίδιο τρόπο όπως και προηγουμένως για τρεις φορτιζόμενους χάλκινους αγωγούς από τον Πίνακα 1.8α, βρίσκουμε ότι η διατομή τους πρέπει να είναι 10mm^2 .

1.3.4.4 Παράδειγμα 4: Διατομή αγωγών, εξωτερικού πολυπολικού καλωδίου, υπό την παρουσία αρμονικών συνιστωσών ρεύματος

Έστω τριφασική γραμμή τροφοδοσίας κατασκευασμένη από τετραπολικό καλώδιο (τρεις φάσεις και ουδέτερος) με μόνωση PVC, στερεωμένο επίτοιχα (τύπος εγκατάστασης C). Η γραμμή πρόκειται να τροφοδοτήσει τρία όμοια μονοφασικά μη γραμμικά φορτία, με ονομαστική τιμή ρεύματος 37A.

Συμφώνα με τον Πίνακα 1.8β, η διατομή των 6mm^2 είναι κατάλληλη για την τροφοδοσία του φορτίου, στην περίπτωση που δεν υπάρχουν αρμονικές συνιστώσες ρεύματος και συνεπώς ο ουδέτερος αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύματος.

Εάν υποθέσουμε την ύπαρξη 3^{ης} αρμονικής συνιστώσας της τάξης του 20% του ρεύματος φορτίου, τότε σύμφωνα με το πρότυπο IEC60364 (Πίνακας 1.9) θα πρέπει να εφαρμοστεί συντελεστής μείωσης 0,86 και συνεπώς η επιλογή της διατομής θα πρέπει να γίνει για ρεύματος $37/0,86=43A$. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται διατομή 10mm^2 .

Για ρεύμα 3^{ης} αρμονικής 40%, η επιλογή της διατομής βασίζεται στο ρεύματος του ουδέτερου αγωγούς με συντελεστή μείωσης 0,86. Τελικά η επιλογή της διατομής του αγωγούς γίνεται για ρεύματος $3 \times 37 \times 0,4 / 0,86 = 51,6A$, οπότε κατάλληλη διατομή είναι τα 10mm^2 .

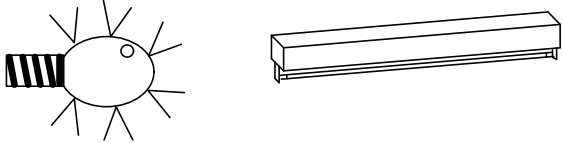
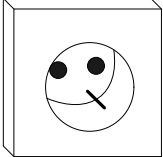
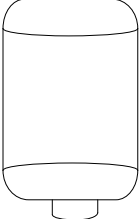
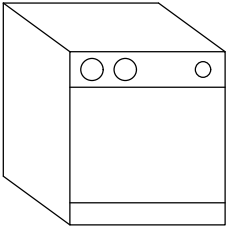
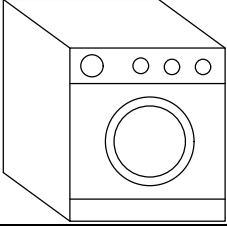
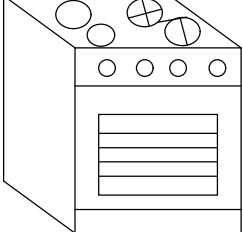
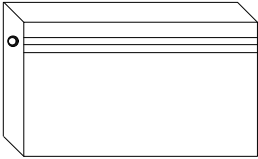
Για ρεύμα 3^{ης} αρμονικής 50%, θα είναι $3 \times 37 \times 0,5 = 55,5A$ με συντελεστή μείωσης ίσο με τη μονάδα και κατάλληλη τελικά διατομή τα 16mm^2 .

1.3.5 Γραμμές τροφοδοσίας τυπικών μονοφασικών οικιακών καταναλώσεων

Στον παρακάτω Πίνακα 1.10, φαίνονται οι απαιτούμενες διατομές μονοπολικών μονωμένων αγωγών εντός εντοιχισμένου ηλεκτρολογικοί σωλήνα, καθώς και το αντίστοιχο ασφαλιστικό μέσο έναντι υπερφορτίσεων, για τις γραμμές τροφοδοσίας (1φάση + ουδέτερος) τυπικών οικιακών μονοφασικών καταναλώσεων με ονομαστική τάση τροφοδοσίας 230V.

Πίνακας 1.10

Συνήθεις μονοφασικές οικιακές καταναλώσεις

Μονοφασική κατανάλωση (1φ+N)	Μέγιστη Ισχύς	Διατομή αγωγών	Ασφαλιστικό μέσο έναντι υπερφόρτισης
Γραμμή φωτισμού 	2300 W	1,5mm ²	Τηκτική ασφάλεια gG ή μικροαυτ. διακόπτης 10A
Γραμμή πριζών 	3680W	2,5mm ²	Τηκτική ασφάλεια gG ή μικροαυτ. διακόπτης 16A
Θερμοσίφωνο 	4600W	4mm ²	Τηκτική ασφάλεια gG ή μικροαυτ. διακόπτης 20A
Γραμμή πλυντηρίου πιάτων 	3680W	2,5mm ²	Τηκτική ασφάλεια gG ή μικροαυτ. διακόπτης 16A
Γραμμή πλυντηρίου ρούχων 	3680W	2,5mm ²	Τηκτική ασφάλεια gG ή μικροαυτ. διακόπτης 16A
Ηλεκτρικό μαγειρείο 	5750W	6mm ²	Τηκτική ασφάλεια gG ή μικροαυτ. διακόπτης 256A
Θερμοσυσσωρευτής 	3680W	2,5mm ²	Τηκτική ασφάλεια gG ή μικροαυτ. διακόπτης 16 ^A

Ø Παρατηρήσεις:

α. Η μονοφασική γραμμή τροφοδοσίας κάθε συσκευής, οδεύει μόνη της εντός

- του ηλεκτρολογικού σωλήνα και συνεπώς είναι $k_2=1$.
- β. Η μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος της εγκατάστασης θεωρήθηκε ίση με 30°C .
- γ. Η επιλογή της διατομής των κυκλωμάτων τροφοδοσίας των μονοφασικών καταναλώσεων στον Πίνακα 1.10, έγινε με βάση το απαιτούμενο ρεύμα φορτίου της κάθε κατανάλωσης και με τη βοήθεια του Πίνακα 1.8α. για τύπο εγκατάστασης A1 και χάλκινους αγωγούς με μόνωση PVC.
- δ. Στην περίπτωση του οικιακού μαγειρείου, η επιλεγθείσα διατομή των 6mm^2 μπορεί να καλύψει και συσκευές μεγαλύτερης ισχύος (από την αναφερόμενη στον Πίνακα 1.10), εφόσον ληφθεί υπόψη συντελεστής ετεροχρονισμού για τις επιμέρους λειτουργίες της συσκευής.
- ε. Η επιλογή της ονομαστικής τιμής του μέσου προστασίας έναντι υπερφόρτισης, έγινε με βάση τις συνθήκες που ορίζονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384 (βλ. παράγραφο 3.9.).

1.4 Επιλογή της διατομής υπόγειων αγωγών και καλωδίων, με βάση την ικανότητα τους για μεταφορά ρεύματος και τον τύπο της εγκατάστασης

Η τιμή της έντασης του ρεύματος το οποίο μπορεί ένας υπόγειος αγωγός να μεταφέρει, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση 1.3 (δεν ισχύει για τους μη υπόγειους αγωγούς και καλώδια):

$$I_Z = I_0 k'_1 k'_2 k'_3 = I_0 k_{ol iko} \quad (1.3)$$

όπου:

- I_0 είναι η ένταση του ρεύματος που μπορεί ο εγκατεστημένος εντός του εδάφους αγωγός να μεταφέρει στη θερμοκρασία 20°C , η οποία θεωρείται ως η θερμοκρασία αναφοράς.
- k'_1 είναι ο συντελεστής διόρθωσης για θερμοκρασίες διαφορετικές των 20°C
- k'_2 είναι ο συντελεστής διόρθωσης λόγω ύπαρξης παρακείμενων καλωδίων
- k'_3 είναι ο συντελεστής διόρθωσης για την περίπτωση που η ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους είναι διαφορετική από $2,5\text{m.K/W}$

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του εδάφους εντός του οποίου είναι εγκατεστημένο ένα καλώδιο είναι διαφορετική από αυτήν των 20°C που αποτελεί την τιμή αναφοράς, η επιλογή του συντελεστή διόρθωσης θα πρέπει να γίνει από τον Πίνακα 1.11.

Πίνακας 1.11

Συντελεστής διόρθωσης k'_1 για θερμοκρασίες εδάφους διαφορετικές των 20°C (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

Θερμοκρασία εδάφους °C	PVC	EPR ή XLPE
10	1,1	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	0,8
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

Κατ' εξαίρεση μπορεί να μη ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό της διατομής του καλωδίου ο συντελεστής διόρθωσης k'_1 όταν είναι βέβαιο ότι η θερμοκρασία του εδάφους εντός του οποίου το καλώδιο είναι εγκατεστημένο, ξεπερνά τους 25 ° C για λίγες μόνο εβδομάδες μέσα σε ένα έτος (ΕΛΟΤ HD 384.523.2.3).

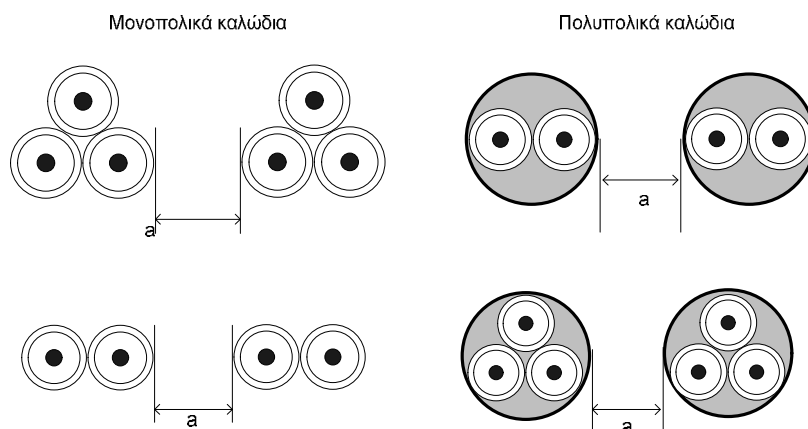
Η ικανότητα μεταφοράς ρεύματος ενός υπόγειου καλωδίου, επηρεάζεται από την παρουσία άλλων καλωδίων που μπορεί να βρίσκονται εγκατεστημένα κοντά του. Η απαγωγή της θερμότητας για παράδειγμα από ένα καλώδιο, είναι διαφορετική στην περίπτωση που γειτονικά με αυτό βρίσκονται εγκατεστημένα και άλλα καλώδια σε σχέση με το να βρισκόταν μόνο του στο χώρο.

Ο συντελεστής διόρθωσης k'_2 που ισχύει για την περίπτωση ύπαρξης γειτονικών εγκατεστημένων καλωδίων με αυτό του οποίου τη διατομή επιθυμούμε να καθορίσουμε, δίνεται α) από τον Πίνακα 1.12 για την περίπτωση της απευθείας τοποθέτησης εντός του εδάφους, β) από τον 3.13 για την περίπτωση πολυπολικών καλωδίων εντός αγωγών όδευσης ή οχετών θαμμένων στο έδαφος και γ) από τον Πίνακα 1.14 για την περίπτωση μονοπολικών καλωδίων εντός αγωγών όδευσης ή οχετών θαμμένων στο έδαφος. Σημειώνεται ότι και οι τρεις Πίνακες (1.12, 1.13 και 1.14) ισχύουν για τις περιπτώσεις εγκατάστασης σε βάθος 0,70 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους και για ειδική θερμική αντίσταση ίση με 2,5m.K/W.

Πίνακας 1.12 Συντελεστής διόρθωσης k'_2 για καλώδια απευθείας θαμμένα στο έδαφος (με

βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

Αριθμός Κυκλωμάτων	Απόσταση (a) μεταξύ των καλωδίων (βλ.σχήμα 1.6)				
	Σε επαφή (μηδέν απόσταση)	Απόσταση μιας διαμέτρου	0.125m	0.25m	0.5m
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

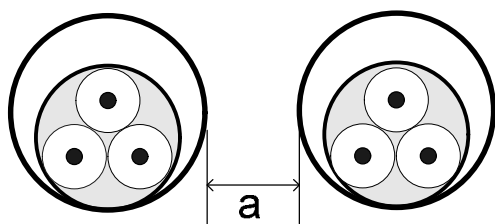


Σχήμα 1.6 Καθορισμός αποστάσεων μεταξύ μονοπολικών ή πολυπολικών καλωδίων απευθείας εγκατεστημένων εντός του εδάφους.

Πίνακας 1.13 Συντελεστής διόρθωσης για πολυπολικά καλώδια εντός αγωγών όδευσης ή οχετών θαμμένων στο έδαφος (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

Αριθμός Κυκλωμάτων	Απόσταση (a) μεταξύ των πολυπολικών καλωδίων (βλ.σχήμα 1.7)			
	Σε επαφή (μηδέν απόσταση)	0,25m	0,50m	1,00m
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

Πολυπολικά καλώδια

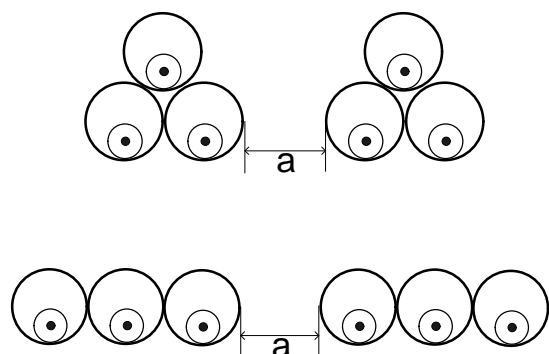


Σχήμα 1.7

Καθορισμός αποστάσεων μεταξύ πολυπολικών καλωδίων εντός αγωγών όδευσης ή οχετών θαμμένων στο έδαφος.

Πίνακας 1.14 Συντελεστής διόρθωσης k'_2 για μονοπολικά καλώδια εντός αγωγών όδευσης ή οχετών θαμμένων στο έδαφος (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

Αριθμός Κυκλωμάτων	Απόσταση (a) μεταξύ των μονοπολικών καλωδίων (βλ.σχήμα 1.8)			
	Σε επαφή (μηδέν απόσταση)	0,25m	0,50m	1,00m
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



Σχήμα 1.8

Καθορισμός αποστάσεων μεταξύ μονοπολικών καλωδίων εντός αγωγών όδευσης ή οχετών θαμμένων στο έδαφος

Η απαγωγή της θερμότητας από ένα υπόγειο καλώδιο, επηρεάζεται από την ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους εντός του οποίου είναι εγκατεστημένο. Ο συντελεστής διόρθωσης k'_3 δίνεται από τον Πίνακα 1.15 για τις περιπτώσεις όπου η ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους είναι διαφορετική από 2,5m.K/W.

Πίνακας 1.15 Συντελεστής διόρθωσης k'_3 για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους διαφορετική από 2,5m.K/W (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

Ειδική θερμική αντίσταση [m.K/W]	1	1,5	2	2,5	3

Συντελεστής διόρθωσης k_3	1,18	1,10	1,05	1	0,96
-----------------------------	------	------	------	---	------

Στον Πίνακα 1.16 δίνονται οι τιμές της έντασης ρεύματος που μπορεί ένα καλώδιο να μεταφέρει με βάση τη διατομή του, για θερμοκρασία εδάφους 20 °C.

Πίνακας 1.16 Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα (A), καλωδίων εγκατεστημένων εντός του εδάφους (20°C) (με βάση το ΕΛΟΤ HD 384)

	Τρόπος Εγκατάστασης	D Καλώδια τοποθετημένα στο έδαφος								
		Cu				Al				
		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		
S[mm ²]	Πλήθος φορτιζόμενων Αγωγών		2	3	2	3	2	3	2	3
1,5			26	22	22	18				
2,5			34	29	29	24				
4			44	37	38	31				
6			56	46	47	39				
10			73	61	63	52				
16			95	79	81	67	7	61	62	52
25			121	101	104	86	9	78	80	66
35			146	122	125	103	11	94	96	80
50			173	144	148	122	13	112	113	94
70			213	178	183	151	16	138	140	117
95			252	211	216	179	19	164	166	138
120			287	240	246	203	22	186	189	157
150			324	271	278	230	24	210	213	178
185			363	304	312	258	27	236	240	200
240			419	351	361	297	32	272	277	230
300			474	396	408	336	36	308	313	260

1.4.1 Συνοπτική διαδικασία επιλογής της διατομής για ένα υπόγειο αγωγό ή καλώδιο

Ανακεφαλαιώνοντας τα όσα μέχρι στιγμής αναφέρθηκαν σχετικά με τη διαδικασία επιλογής της διατομής ενός υπόγειου αγωγούς ή καλωδίου, μπορούμε να πούμε ότι αυτή αποτελείται από τα παρακάτω 5 επιμέρους βήματα:

Βήμα 1

- Από τον Πίνακα 1.11 γίνεται επιλογή του συντελεστή διόρθωσης k'_1 ανάλογα με τη θερμοκρασία του εδάφους και το υλικό μόνωσης του καλωδίου.

Βήμα 2

- Από τους Πίνακες 1.12, 1.13 και 1.14 γίνεται η επιλογή του συντελεστή διόρθωσης k'_2 ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των καλωδίων ή των αγωγών όδευσης εντός των οποίων είναι εγκατεστημένα.

Βήμα 3

- Από τον Πίνακα 1.15 γίνεται επιλογή συντελεστή διόρθωσης k'_3 με βάση την ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους.

Βήμα 4

- Σκοπός μας είναι να υπολογίσουμε ένα ρεύματος I'_b , το οποίο μετά και από την εφαρμογή των κατάλληλων ανάλογα με την περίπτωση συντελεστών διόρθωσης, να προκύψει τουλάχιστον ίσο με το ρεύματος φορτίου I_b το οποίο πρόκειται το καλώδιο να μεταφέρει. Θα ισχύει δηλαδή η σχέση:

$$I_b = I'_b \times k'_1 \times k'_2 \times k'_3 \Leftrightarrow I'_b = \frac{I_b}{k'_1 \times k'_2 \times k'_3} = \frac{I_b}{k_{ολικο}} \quad (1.4)$$

Βήμα 5

- Από τον Πίνακα 1.16 και ανάλογα με το μονωτικό και το αγωγίμο υλικό του καλωδίου καθώς και το πλήθος των ενεργών αγωγών, επιλέγουμε διατομή με ικανότητα μεταφοράς ρεύματος $I_0 \geq I'_b$. Τελικά το ρεύματος που πραγματικά θα μεταφέρεται από την επιλεγμένη διατομή θα είναι ίσο με $I_z = I_0 \times k'_1 \times k'_2 \times k'_3$

1.5 Υπολογισμός της διατομής αγωγών με βάση την πτώση τάσης

Η απόδοση μιας ηλεκτρικής συσκευής, διάταξης ή μηχανής μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά όταν η τάση τροφοδοσίας της είναι μικρότερη από την ονομαστική της.

Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής τροφοδοσίας ενός κυκλώματος, ιδιαίτερα όταν αυτή είναι μεγάλη σε μήκος. Ειδικότερα:

- στους κινητήρες, η ροπή είναι ανάλογη με την τάση τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα η μείωση της τάσης τροφοδοσίας να συνεπάγεται και μείωση της ροπής εκκίνησης αλλά και της ροπής πλήρους φορτίου.
- στους λαμπτήρες πυράκτωσης, όσο μεγαλύτερη είναι η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας τους, τόσο χαμηλότερη είναι και η φωτεινή ένταση που αποδίδουν.
- στους λαμπτήρες εκκένωσης, μια σημαντική πτώση τάσης μπορεί να οδηγήσει μέχρι και στο σβήσιμο τους.
- στις ηλεκτρονικές διατάξεις και συσκευές, οι διακυμάνσεις στην τάση τροφοδοσίας τους προκαλούν ανωμαλίες στη λειτουργία τους.
- στις ηλεκτρομηχανικές διατάξεις όπως για παράδειγμα σε ένα ηλεκτρονόμο ισχύος, δεν διασφαλίζεται η όπλιση του, στην περίπτωση που η τάση τροφοδοσίας του πηνίου του είναι αρκετά μικρότερη της ονομαστικής.

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384 τμήμα 525, η αποδεκτή πτώση τάση σε μια γραμμή τροφοδοσίας πρέπει να είναι μικρότερη έως ίση του 4% της ονομαστικής τάσης τροφοδότησης της εγκατάστασης. Το ίδιο όριο καθορίζεται και από το πρότυπο IEC 60364 clause 525. Στο πρότυπο της IEC γίνεται άλλη μια αναφορά στην επιτρεπόμενη πτώση τάσης στο άρθρο 714, όπου ειδικά για τις εγκαταστάσεις φωτισμού, καθορίζεται ότι η πτώση τάσης σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας επιβάλλεται από το ρεύμα έναυσης των λαμπτήρων.

	Τάση τροφοδοσίας 230V	Τάση τροφοδοσίας 400V
Μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης σύμφωνα με ΕΛΟΤ HD384	9,2V	16V

1.5.1 Υπολογισμός της πτώσης τάσης

1.5.1.1 Αναλυτικός υπολογισμός

Σε ένα αγωγό ο οποίος έχει σύνθετη αντίσταση Z , η πτώση τάσης υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$\Delta U = bZI_{\phi} = bI_{\phi} \frac{L}{n} (r'sunf + x'hmf) = bI_{\phi} \frac{L}{n} sunf(r'+x'eff) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \Delta U = b I_{\phi} Z' \frac{L}{n} \text{sun} f \quad [V] \quad (1.5)$$

Οπου:

b Ένας συντελεστής ίσος με 2 για την περίπτωση των μονοφασικών γραμμών και ίσος με 3 για την περίπτωση των τριφασικών γραμμών

I_{ϕ} [A] το ρεύμα φορτίου ή στην περίπτωση που ως δεδομένο έχουμε μόνο τη διατομή, το θεωρούμε ίσο με την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος από το συγκεκριμένο αγωγό υπό πραγματικές συνθήκες I_z (βλ. παράδειγμα υπολογισμού διατομής αγωγού με βάση την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος)

L [km] το μήκος του αγωγού

n ο αριθμός των παράλληλων ανά φάση αγωγών

r' [Q/km] η ωμική αντίσταση του αγωγού ανηγμένη ανά χιλιόμετρο

x' [Q/km] η επαγωγική αντίδραση του αγωγού ανηγμένη ανά χιλιόμετρο

συνφ ο συντελεστής ισχύος του φορτίου. Ισχύει $\eta_{\mu\phi} = \sqrt{1 - \text{sun}^2 f}$

Z' ($r' + x' \epsilon\phi$) η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του αγωγού ανηγμένη ανά km, η οποία είναι συνάρτηση του είδους του αγωγού, και του συντελεστή ισχύος του

Η εκατοστιαία πτώση τάσης ορίζεται από τη σχέση:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U} 100 \quad (1.6)$$

Από τις σχέσεις (1.4) και (1.5), προκύπτει

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U} 100 = (b I_{\phi} Z' \frac{L}{n U} \text{sun} f) 100 \quad [\%] \quad (1.7)$$

Στην περίπτωση των τριφασικών συστημάτων η προηγούμενη σχέση μας δίνει την εκατοστιαία πτώση τάσης αναφορικά με την τιμή της πολικής τάσης του δικτύου (όπου U θέτουμε την πολική τάση U_{π}), ενώ για μονοφασική γραμμή τροφοδοσίας η $\Delta U\%$ εκφράζεται αναφορικά με τη φασική τάση δικτύου (όπου U θέτουμε την πολική τάση U_{ϕ}).

Δηλαδή ισχύει:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U} 100 = 2 Z' \frac{PL}{n U_{\phi}^2} 100 \quad [\%] \quad (1.8a)$$

μονοφασική γραμμή :

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U} 100 = Z' \frac{PL}{n U_{\Pi}^2} 100 \quad [\%]$$

τριφασική γραμμή :

όπου

$P[W]$ είναι η ισχύς του φορτίου που τροφοδοτεί τη γραμμή.

Επίσης, ισχύει ότι:

$$r' \frac{r}{S} \times 1000 = \frac{1}{kS} \times 1000 \quad [\Omega / km] \quad (1.9)$$

Όπου

$\rho[\Omega mm^2 m^{-1}]$ είναι η ειδική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αγωγός

$k[\Omega^{-1} mm^{-2} m]$ είναι η ειδική αγωγιμότητα του υλικού

$S[mm^2]$ είναι η διατομή του αγωγού.

Η ειδική αντίσταση ρ_{20} του χαλκού στους $20^\circ C$ είναι $0,01786 [\Omega mm^2 m^{-1}]$ ενώ η ειδική αγωγιμότητα για την ίδια θερμοκρασία είναι $k=56[\Omega^{-1} mm^{-2} m]$. Στην περίπτωση που θα πρέπει να γίνει υπολογισμός της ειδικής αντίστασης για θερμοκρασία διαφορετική των $20^\circ C$, τότε χρησιμοποιούμε τη σχέση: $\rho_\theta = \rho_{20} \{1 + 0,004(\theta - 20)\}$, με τη θερμοκρασία θ σε $^\circ C$. Προσεγγιστικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για διατομές αγωγών μικρότερες ή ίσες των $16 mm^2$, η ανηγμένη ανά μήκος επαγωγική αντίδραση x' του αγωγού είναι αμελητέα σε σχέση με την ανηγμένη ανά μήκος ωμική αντίσταση r' . Προσεγγιστικά συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι ισχύει:

$$Z' = r' = \frac{1}{kS} \times 1000 \quad [\Omega / km] \quad (1.10)$$

Με βάση αυτή την παραδοχή προκύπτουν οι επόμενες απλοποιημένες σχέσεις:

$$\Delta u \% = 2r' \frac{PL}{nU_\Phi^2} 100 = \frac{2PL \times 100}{nkSU_\Phi^2} \Leftrightarrow$$

Μονοφασική γραμμή

$$\Leftrightarrow S = \frac{2PL \times 100}{nkSU_\Phi^2 \times \Delta u \%} \quad [mm^2] \quad (1.11\alpha)$$

Τριφασική γραμμή

$$\Delta u\% = r' \frac{PL}{nU_{\Pi}^2} 100 = \frac{2PL \times 100}{nkSU_{\Pi}^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow S = \frac{PL \times 100}{nkSU_{\Pi}^2 \times \Delta u\%} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.11\beta)$$

Στον Πίνακα 1.17 δίνονται ενδεικτικές τιμές της αντίστασης και της επαγωγικής αντίδρασης ενός χάλκινου αγωγού, ανηγμένες ανά χιλιόμετρο (km) και με βάση τη διατομή του. Η ανηγμένη τιμή της αντίστασης αφορά σε θερμοκρασία 80 ° C, και η ανηγμένη τιμή της αντίδρασης αφορά σε συχνότητα 50Hz.

Πίνακας 1.17 Ανηγμένη αντίσταση και αντίδραση αγωγών χαλκού

Διατομή S[mm ²]	μονοπολικά καλώδια		διπολικά/τριπολικά καλώδια	
	r' [Ω/km] (στους 80°C)	X' [Ω/km]	r' [Ω/km] (στους 80°C)	x' [Ω/km]
1,5	14,8	0,168	15,1	0,118
2,5	8,91	0,156	9,08	0,109
4	5,57	0,143	5,68	0,101
6	3,71	0,135	3,78	0,0955
10	2,24	0,119	2,27	0,0861
16	1,41	0,112	1,43	0,0817
25	0,889	0,106	0,907	0,0813
35	0,641	0,101	0,654	0,0783
50	0,473	0,101	0,483	0,0779
70	0,328	0,0965	0,334	0,0751
95	0,236	0,0975	0,241	0,0762
1.20	0,188	0,0939	0,191	0,074
150	0,153	0,0928	0,157	0,0745
185	0,123	0,0908	0,125	0,0742
240	0,0943	0,0902	0,0966	0,0752
300	0,0761	0,0895	0,078	0,075

1.5.1.2 Προσεγγιστικός υπολογισμός

Στους Πίνακες 1.18 έως 1.22 δίνεται προσεγγιστικά η ανηγμένη πτώση τάσης ΔU_L ανά Αμπέρ [A] και χιλιόμετρο [km], χάλκινων αγωγών, με βάση τη διατομή τους και την τιμή του συντελεστή ισχύος (συνφ) του φορτίου. Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης ΔU θα πρέπει η ένδειξη των πινάκων να πολλαπλασιαστεί με την τιμή του ρεύματος φορτίου I_f σε [A] και με την τιμή της απόστασης L σε [km].

Πίνακας 1.18

Πτώση τάσης χάλκινων αγωγών ΔU_x [V/(Akm)] για $\text{syn}\phi = 1$

Διατομή $S[\text{mm}^2]$	Μονοπολικό καλώδιο		διπολικό καλώδιο	Τριπολικό καλώδιο
	μονοφασική γραμμή	τριφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή
1,5	29,60	25,63	30,20	26,15
2,5	17,82	15,43	18,16	15,73
4	11,14	9,65	11,36	9,84
6	7,42	6,43	7,56	6,55
10	4,48	3,88	4,54	3,93
16	2,82	2,44	2,86	2,48
25	1,78	1,54	1,81	1,57
35	1,28	1,11	1,31	1,13
50	0,95	0,82	0,97	0,84
70	0,66	0,57	0,67	0,58
95	0,47	0,41	0,48	0,42
120	0,38	0,33	0,38	0,33
150	0,31	0,27	0,31	0,27
185	0,25	0,21	0,25	0,22
240	0,19	0,16	0,19	0,17
300	0,15	0,13	0,16	0,14

Πίνακας 1.19

Πτώση τάσης χάλκινων αγωγών ΔU_x [V/(Akm)] για $\text{syn}\phi = 0,9$

Διατομή $S[\text{mm}^2]$	Μονοπολικό καλώδιο		διπολικό καλώδιο	τριπολικό καλώδιο
	μονοφασική γραμμή	τριφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή
1,5	26,79	23,20	27,28	23,63
2,5	16,17	14,01	16,44	14,24
4	10,15	8,79	10,31	8,93
	6,80	5,89	6,89	5,96
10	4,14	3,58	4,16	3,60
16	2,64	2,28	2,65	2,29
25	1,69	1,47	1,70	1,48
35	1,24	1,08	1,25	1,08
50	0,94	0,81	0,94	0,81
70	0,67	0,58	0,67	0,58
95	0,51	0,44	0,50	0,43
120	0,42	0,36	0,41	0,35
150	0,36	0,31	0,35	0,30
185	0,30	0,26	0,29	0,25
240	0,25	0,22	0,24	0,21
300	0,22	0,19	0,21	0,18

Πίνακας 1.20 Πτώση τάσης χάλκινων αγωγών ΔU_x [V/(Akm)] για $\text{syn}\phi = 0,85$

Διατομή $S[\text{mm}^2]$	μονοπολικό καλώδιο		διπολικό καλώδιο	Τριπολικό καλώδιο
	μονοφασική γραμμή	τριφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή
1,5	25,34	21,94	25,79	22,34
2,5	15,31	13,26	15,55	13,47
4	9,62	8,33	9,76	8,45
6	6,45	5,59	6,53	5,65
10	3,93	3,41	3,95	3,42
16	2,51	2,18	2,52	2,18
25	1,62	1,41	1,63	1,41
35	1,20	1,04	1,19	1,03
50	0,91	0,79	0,90	0,78
70	0,66	0,57	0,65	0,56
95	0,50	0,44	0,49	0,42
120	0,42	0,36	0,40	0,35
150	0,36	0,31	0,35	0,30
185	0,30	0,26	0,29	0,25
240	0,26	0,22	0,24	0,21
300	0,22	0,19	0,21	0,18

Πίνακας 1.21 Πτώση τάσης χάλκινων αγωγών ΔU_x [V/(Akm)] για $\text{syn}\phi = 0,80$

Διατομή $S[\text{mm}^2]$	μονοπολικό καλώδιο		διπολικό καλώδιο	τριπολικό καλώδιο
	μονοφασική γραμμή	τριφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή
1,5	23,88	20,68	24,30	21,05
2,5	14,44	12,51	14,66	12,69
4	9,08	7,87	9,21	7,98
6	6,10	5,28	6,16	5,34
10	3,73	3,23	3,74	3,23
16	2,39	2,07	2,39	2,07
25	1,55	1,34	1,55	1,34
35	1,15	0,99	1,14	0,99
50	0,88	0,76	0,87	0,75
70	0,64	0,55	0,62	0,54
95	0,49	0,43	0,48	0,41
120	0,41	0,36	0,39	0,34
150	0,36	0,31	0,34	0,29
185	0,31	0,26	0,29	0,25
240	0,26	0,22	0,24	0,21
300	0,23	0,20	0,21	0,19

Πίνακας 1.22

Πτώση τάσης χάλκινων αγωγών ΔU_x [V/(Akm)] για $\cos\phi = 0,75$

Διατομή S[mm ²]	μονοπολικό καλώδιο		διπολικό καλώδιο	τριπολικό καλώδιο
	μονοφασική γραμμή	τριφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή	μονοφασική γραμμή
1,5	22,42	19,42	22,81	19,75
2,5	13,57	11,75	13,76	11,92
4	8,54	7,40	8,65	7,49
6	5,74	4,97	5,80	5,02
10	3,52	3,05	3,52	3,05
16	2,26	1,96	2,25	1,95
25	1,47	1,28	1,47	1,27
35	1,10	0,95	1,08	0,94
50	0,84	0,73	0,83	0,72
70	0,62	0,54	0,60	0,52
95	0,48	0,42	0,46	0,40
120	0,41	0,35	0,38	0,33
150	0,35	0,31	0,33	0,29
185	0,30	0,26	0,29	0,25
240	0,26	0,23	0,24	0,21
300	0,23	0,20	0,22	0,19

1.5.2 Παραδείγματα υπολογισμού πτώσης τάσης

1.5.2.1 Προσεγγιστικός υπολογισμός

Θεωρούμε μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας κατασκευασμένη από 3 μονοπολικά χάλκινα καλώδια $3 \times 50 \text{mm}^2$, η οποία τροφοδοτεί τριφασικό φορτίο ονομαστικής τάσης 400V και ονομαστικής έντασης ρεύματος 100A, με συντελεστή ισχύος $\cos\phi = 0,9$. Το μήκος της γραμμής είναι 25 μέτρα. Για τον προσεγγιστικά υπολογισμό της πτώσης τάσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον Πίνακα 1.19, από τον οποίο βρίσκουμε ότι η ανηγμένη πτώση τάσης για μια τριφασική γραμμή κατασκευασμένη από μονοπολικά καλώδια 50mm^2 , είναι $0,81 \text{V/Akm}$. Συνεπώς θα είναι $\Delta U = \Delta U_x I_\phi L = 0,81 \times 100 \times 0,025 = 2,025 \text{V}$. Η εκατοστιαία πτώση τάσης είναι:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U} 100 = \frac{2,025}{400} 100 = 0,51\%$$

1.5.2.2 Παράδειγμα 2

Τριφασική γραμμή τροφοδοσίας είναι κατασκευασμένη από δύο τριπολικά χάλκινα καλώδια $3 \times 10 \text{mm}^2$ συνδεδεμένα παράλληλα και τροφοδοτεί τριφασικό φορτίο ονομαστικής τάσης 690V και ονομαστικής έντασης ρεύματος 50A. Το μήκος της γραμμής είναι 50 μέτρα και ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι $\cos\phi = 0,85$.

Από τον Πίνακα 1.20, βρίσκουμε ότι για ένα τριπολικό καλώδιο με διατομή 10mm^2 η τάση $\Delta U_x=3,42$ [V/(A km)]. Πολλαπλασιάζουμε την τιμή αυτή με το μήκος της γραμμής σε χιλιόμετρα και με την ένταση του ρεύματος σε Amperes και διαιρούμε με τον αριθμό των παράλληλα συνδεδεμένων αγωγών ανά φάση, οπότε προκύπτει: $\Delta U=\Delta U_x I_\phi L/2=3,42 \times 50 \times 0,05/2=4,275\text{V}$. Η εκατοστιαία πτώση τάσης είναι:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U} 100 = \frac{4,275}{690} 100 = 0,62\%$$

1.5.3 Προσδιορισμός της διατομής αγωγού με βάση τη μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης

Στην περίπτωση γραμμών τροφοδοσίας με μεγάλο σχετικά μήκος ή όταν μια ειδική εφαρμογή επιβάλλει ελάχιστη πτώση τάσης κατά μήκος μιας γραμμής τροφοδοσίας, η μέθοδος επιλογής της διατομής των αγωγών με βάση την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος, μπορεί να οδηγήσει σε διατομές που δεν εξασφαλίζουν το ότι η πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής τροφοδοσίας βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων.

Υπενθυμίζεται ότι το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 «Απαιτήσεις για Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις» επιβάλλει, το μέγιστο αποδεκτό όριο πτώση τάσης κατά μήκος μιας γραμμής τροφοδοσίας, να είναι το πολύ ίσο με το 4% της ονομαστικής τάσης τροφοδοσίας.

Στις περιπτώσεις όπου ο υπολογισμός της διατομής ενός αγωγού με βάση την *ικανότητα* μεταφοράς ρεύματος οδηγεί σε μη αποδεκτές τιμές πτώσης τάσης, ο προσδιορισμός της σωστής διατομής του αγωγού γίνεται με βάση την παρακάτω και χρησιμοποιώντας σαν τιμή για το ΔU_{\max} τη μέγιστη αποδεκτή τιμή της πτώσης τάσης.

$$\Delta U_{\max} = \frac{\Delta U\% \times U_N}{100 I_\phi L} \quad (1.12)$$

1.5.3.1 Παράδειγμα I

Επιθυμούμε να υπολογίσουμε τη διατομή των χάλκινων αγωγών τριπολικού καλωδίου με μόνωση PVC τοποθετημένου εντός ηλεκτρολογικού σωλήνα στερεωμένου εξωτερικά σε τοίχο, για την τροφοδοσία ενός τριφασικού φορτίου πραγματικής ισχύος $P_w=26\text{kW}$, ονομαστικής τάσης τροφοδοσίας $U_N=400\text{V}$ με συντελεστή ισχύος $\cos\phi=0,85$. Το μήκος της γραμμής τροφοδοσίας είναι $L=150\text{m}$ και η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 30°C . Η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης με βάση τον ισχύοντα κανονισμό είναι 4% της ονομαστικής τάσης τροφοδοσίας, ίση δηλαδή με 16V .

Το ονομαστικό ρεύμα του φορτίου είναι:

$$I_\phi = \frac{P_w}{\sqrt{3} U_N \cos\phi} = \frac{26000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,85} = 44,2$$

Από τον Πίνακα 1.8β, για τύπο εγκατάστασης B2, για 3 φορτιζόμενους χάλκινους αγωγούς προκύπτει διατομή αγωγών 10mm^2 . Απο τον Πίνακα 1.20 για τριπολικό καλώδιο $3 \times 10\text{mm}^2$ που τροφοδοτεί τριφασικό φορτίο με $\cos\phi=0,85$ έχουμε $\Delta U_x=3,42$ [V/(Akm)]. Είναι δηλαδή $\Delta U=3,42 I_\phi L=3,42 \times 44,2 \times 0,15=22,67\text{V}$, προφανώς μη αποδεκτή τιμή για την πτώση τάσης η οποία αντιστοιχεί σε εκατοστιαία πτώση τάσης:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_N} 100 = \frac{22,67}{400} 100 = 5,67\%$$

Με βάση τη σχέση 1.12 η μέγιστη επιθυμητή πτώση τάσης ανηγμένη ανά χιλιόμετρο και Αμπέρ για τη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να είναι:

$$\Delta U_{\max} = \frac{\Delta U\% \times U_N}{100 I_{\phi} L} = \frac{4 \times 400}{100 \times 44,2 \times 0,15} = 2,41 \left[\frac{V}{A \times km} \right]$$

Επιστρέφουμε στον Πίνακα 1.20 και διαπιστώνουμε ότι η ελάχιστη διατομή για την οποία η AU_{\max} είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με $2,41[V/Akm]$ είναι αυτή των $16mm^2$.

Άρα η διατομή των αγωγών που ικανοποιεί το κριτήριο της 4% πτώσης τάσης κατά μήκος της γραμμής τροφοδοσίας είναι τα $16mm^2$.

Σε ανάλογο αποτέλεσμα θα καταλήξουμε χρησιμοποιώντας την προσεγγιστική σχέση 1.11β που ισχύει για την περίπτωση των τριφασικών γραμμών τροφοδοσίας. Με βάση αυτή τη σχέση έχουμε:

$$S = \frac{PL \times 100}{nkSU_{\Pi}^2 \times \Delta u\%} = \frac{26000 \times 150 \times 100}{56 \times 400^2 \times 4} = 10,88 \quad [mm^2]$$

Η απαιτούμενη δηλαδή ελάχιστη διατομή είναι $10,88mm^2$ και συνεπώς επιλέγουμε την αμέσως μεγαλύτερη τυποποιημένη διατομή που είναι τα $16mm^2$.

1.6 Συντελεστής ετεροχρονισμού

Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση, οι τροφοδοτούμενες καταναλώσεις δεν λειτουργούν ποτέ όλες μαζί ή ακόμη και στην περίπτωση χρονικής ταύτισης στη λειτουργία τους, είναι σπάνιο έως απίθανο οι καταναλώσεις αυτές να απορροφούν συγχρόνως την ονομαστική ισχύ τους. Ως ένα απλό παράδειγμα μπορούμε να σκεφτούμε, ότι είναι σπάνιες οι περιπτώσεις όπου το ηλεκτρικό μαγειρείο μιας κατοικίας δουλεύει σε πλήρη ισχύ, δηλαδή όλες οι ηλεκτρικές εστίες του να λειτουργούν στη μέγιστη ισχύ τους ενώ συγχρόνως είναι ενεργοποιημένος επίσης σε μέγιστη ισχύ και ο φούρνος της συσκευής, ο ανεμιστήρας της, κ.λπ. Στην περίπτωση που η συγκεκριμένη ηλεκτρική εγκατάσταση προβλέπει την τροφοδότηση δύο ή περισσότερων ηλεκτρικών μαγειρείων, τότε πλέον θεωρείται ακόμη σπανιότερο το ενδεχόμενο όλες αυτές οι συσκευές να λειτουργήσουν ταυτόχρονα στην ονομαστική τους ισχύ.

Επίσης, είναι ελάχιστη η πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας όλης της εγκατεστημένης ισχύος φωτισμού σε ένα κτίριο. Ακόμη είναι βέβαιο ότι σε μια κτιριακή εγκατάσταση για την οποία προβλέπεται κάποιο ποσό ηλεκτρικής ισχύος για τον κλιματισμό-ψύξη των χώρων και κάποια ηλεκτρική ισχύς για τη θέρμανση τους, τα δύο αυτά ποσά ισχύος ποτέ δεν θα ζητηθούν ταυτόχρονα.

Με τα απλά παραδείγματα που αναφέρθηκαν, γίνεται αντιληπτό ότι για τον υπολογισμό της συνολικής ζήτησης ισχύος σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση, μπορούμε υπό προϋποθέσεις να λάβουμε υπόψη μας ένα συντελεστή, το λεγόμενο συντελεστή ετεροχρονισμού, ο οποίος εκφράζει το μέγιστο ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος σε μια γραμμή τροφοδοσίας, το οποίο μπορεί να ζητηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα. Με το συντελεστή ετεροχρονισμού, ο οποίος προφανώς έχει τιμή μικρότερη της μονάδας, πολλαπλασιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς μιας γραμμής τροφοδοσίας και με βάση την προκύπτουσα τιμή γίνεται η επιλογή του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που απαιτείται για την κατασκευή και τον έλεγχο της συγκεκριμένης γραμμής τροφοδοσίας.

Πίνακας 1.23 Ενδεικτικές εμπειρικές τιμές συντελεστή ετεροχρονισμού

Ομάδες φορτίων	Κατοικίες	Κτίρια Γραφείων	Εμπορικά κέντρα	Νοσοκομεία	Βιομηχανικές εγκαταστάσεις
Φωτισμός	0,75 έως 0,95		0,85 έως 0,95	0,65 έως 1	0,75 έως 0,95
Πρίζες	0,1 έως 0,35	0,2 έως 0,4		0,1 έως 0,2	0,15 έως 0,3
Συσκευές κλιματισμού	0,9 έως 1	1	0,85 έως 0,95	0,9 έως 1	0,65 έως 0,8
Φορτία κίνησης	1		0,9 έως 1	0,7 έως 0,9	0,6 έως 0,95
Ηλεκτρικά μαγειρεία	0,7 έως 0,8 μειούμενος κατά 0,15 για κάθε επιπλέον συσκευή			0,6 έως 0,9	0,5 έως 0,8
Ηλεκτρική θέρμανση	1		0,9 έως 1		0,75 έως 0,85

Η χρησιμοποίηση του συντελεστή ετεροχρονισμού προβλέπεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384 στο μέρος 3 τμήμα 311, όπου αναφέρεται ότι μπορεί να λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής ετεροχρονισμού για τον υπολογισμό της μέγιστης ζήτησης τόσο στα επιμέρους κυκλώματα όσο και στο σύνολο μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης, έτσι ώστε ο σχεδιασμός της ηλεκτρικής εγκατάστασης να είναι οικονομικός και αξιόπιστος αναφορικά με το θερμικό όριο φόρτισης και το επιτρεπόμενο όριο πτώσης τάσης. Επίσης, στην παράγραφο 512.1.4 του πρότυπου, αναφέρεται ότι «Το υλικό που επιλέγεται με βάση τα χαρακτηριστικά της ισχύος του, πρέπει να είναι κατάλληλο για τις συνθήκες κανονικής λειτουργίας, λαμβανομένου υπόψη του συντελεστή ετεροχρονισμού».

Ακριβής μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή ετεροχρονισμού ή κάποιο διεθνές πρότυπο που να αναφέρει τον ακριβή τρόπο υπολογισμού του, δεν υπάρχει προς το παρόν, είναι δυνατή όμως η χρήση εμπειρικών κατά περίπτωση τιμών [8], [12].

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η τιμή που θα επιλεγεί για το συντελεστή ετεροχρονισμού, συναρτάται άμεσα με παράγοντες όπως η προβλεπόμενη χρήση της εγκατάστασης, η δομή της, οι εξωτερικές επιδράσεις (κλιματολογικές και άλλες), το πλήθος των καταναλώσεων κ.λπ.

Στον Πίνακα 1.23 δίνεται για ορισμένες τυπικές ομάδες φορτίων σε συνάρτηση με τη χρήση της εγκατάστασης, ένα ενδεικτικό εμπειρικό εύρος τιμών του συντελεστή ετεροχρονισμού, ο οποίος μπορεί να εφαρμόζεται επί της ονομαστικής ισχύος των φορτίων.

Ø Παρατηρήσεις:

- Η χρησιμοποίηση του συντελεστή ετεροχρονισμού επηρεάζει την επιλογή της διατομής των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των φορτίων που συνθέτουν μια ομάδα, τόσο μικρότερη τιμή αποκτά ο συντελεστής ετεροχρονισμού.
- Σε περιπτώσεις ομάδων φορτίων που αποκλείεται η ταυτόχρονη λειτουργία τους (π.χ.

συσκευές ψύξης και συσκευές θέρμανσης ή συσκευών ψύξης-θέρμανσης), λαμβάνεται υπόψη η ομάδα φορτίων με τη μεγαλύτερη αριθμητικά εγκατεστημένη ισχύ, ή η λειτουργία με τη μεγαλύτερη απορροφούμενη ισχύ αν πρόκειται για συσκευή διπλής λειτουργίας, επί της οποίας εφαρμόζεται ο συντελεστής ετεροχρονισμού για τον προσδιορισμό της μέγιστης ζητούμενης ισχύος.

- Στην περίπτωση ομάδων φορτίων με διαφορετικό μεταξύ τους συντελεστή ισχύος συνφ, ο συντελεστής ετεροχρονισμού θα πρέπει να εφαρμόζεται επί της φαινόμενης σε [VA] ισχύος και όχι επί της πραγματικής σε [kW] ισχύος.
- Σε ομάδες φορτίων, η μέγιστη ζητούμενη ισχύς που προκύπτει μετά την εφαρμογή του συντελεστή ετεροχρονισμού, δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τη μεγαλύτερη μεμονωμένη ισχύ των επιμέρους φορτίων.
- Ο συντελεστής ετεροχρονισμού δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται σε γραμμές τροφοδότησης φορτίων τα οποία θα πρέπει να είναι διαθέσιμα σε πλήρη ισχύ ανά πάσα στιγμή (π.χ. γραμμές τροφοδότησης χειρουργείων, γραμμές τροφοδότησης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, γραμμές φωτισμού αιθουσών συνάθροισης κ.λπ.)

1.7 Ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές αγωγών

1.7.1 Ενεργοί αγωγοί

Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση όλοι οι αγωγοί φάσεων όταν πρόκειται για κυκλώματα που τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα ή οι ενεργοί αγωγοί όταν πρόκειται για κυκλώματα συνεχούς ρεύματος, θα πρέπει να έχουν μια ελάχιστη απαιτούμενη διατομή. Η διατομή αυτή εξαρτάται από το είδος της ηλεκτρικής γραμμής, τη χρήση του κυκλώματος αλλά και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί (ΕΛΟΤ HD384.524.1). Συνοπτικά οι ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.24.

Πίνακας 1.24 Ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές ενεργών αγωγών (σύμφωνα με ΕΛΟΤHD384)

Είδος ηλεκτρικής γραμμής		Χρήση κυκλώματος	Αγωγοί	
			Υλικό	Διατομή S [mm ²]
Μόνιμες εγκαταστάσεις	Μονωμένοι αγωγοί ή καλώδια	Κυκλώματα ισχύος	Χαλκός	1,5
		Κυκλώματα φωτισμού	Αλουμίνιο	16*
	Γυμνοί αγωγοί	Κυκλώματα ελέγχου και σηματοδότησης	Χαλκός	0,5**
		Κυκλώματα ισχύος	Χαλκός	10
		Κυκλώματα ελέγχου και σηματοδότησης	Αλουμίνιο	16
			Χαλκός	4

Εύκαμπτες Συνδέσεις	Μονωμένοι αγωγοί ή καλώδια	Τροφοδότηση Συσκευών	Χαλκός	Σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο
		Οποιαδήποτε άλλη χρήση		0,75***
		Κυκλώματα πολύ χαμηλής τάσης για ειδικές εφαρμογές		0,75

Σημειώσεις:

* Οι συνδετήρες που χρησιμοποιούνται για τους αγωγούς αλουμινίου, πρέπει να έχουν δοκιμασθεί και να είναι κατάλληλοι για τη χρήση αυτή.

** Για τα κυκλώματα ελέγχου και σηματοδότησης που προορίζονται για ηλεκτρονικό εξοπλισμό επιτρέπονται αγωγοί διατομής $0,1\text{mm}^2$.

*** Σε πολυπολικά καλώδια με 7 ή περισσότερους αγωγούς, εφαρμόζεται η σημείωση **.

1.7.2 Ουδέτερος αγωγός

Η διατομή του ουδέτερου αγωγού είναι υποχρεωτικά η ίδια με τη διατομή των φάσεων στα μονοφασικά κυκλώματα δύο αγωγών για οποιαδήποτε τιμή της διατομής των αγωγών των φάσεων. Το ίδιο πρέπει να ισχύει και για την περίπτωση των τριφασικών κυκλωμάτων, όταν η διατομή των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με 16mm^2 για το χαλκό και 25mm^2 για το αλουμίνιο (ΕΛΟΤ HD384.524.2).

Όταν η διατομή των αγωγών των φάσεων είναι μεγαλύτερη από 16mm^2 για τους χάλκινους αγωγούς και μεγαλύτερη από 25mm^2 για τους αλουμινένιους αγωγούς, η αντίστοιχη διατομή του ουδέτερου αγωγού μπορεί να είναι μικρότερη από αυτή των αγωγών των φάσεων, εφόσον πληρούνται και οι τρεις παρακάτω συνθήκες (ΕΛΟΤ HD384.524.3):

1. Το ρεύμα φορτίου που πρόκειται να διαρρεύσει τον αγωγό δεν περιέχει αρμονικές συνιστώσες (βλ. παραγράφους 3.3.2. και 6.1 «Επιβάρυνση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων από τις αναπτυσσόμενες αρμονικές συνιστώσες ρεύματος»). Στην περίπτωση που υπάρχουν αρμονικές, η τιμή του συνολικού ρεύματος όπως αυτή διαμορφώνεται με τη συμμετοχή και των αρμονικών δεν θα πρέπει να ξεπερνά το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα που αντιστοιχεί στην επιλεγθείσα μειωμένη διατομή του ουδέτερου αγωγού, με το φορτίο να είναι ισο- κατανεμημένο μεταξύ των φάσεων της γραμμής τροφοδοσίας.
2. Η διατομή του ουδέτερου αγωγού είναι τουλάχιστον 16mm^2 για τους χάλκινους αγωγούς και τουλάχιστον 25mm^2 για τους αλουμινένιους αγωγούς.
3. Ο ουδέτερος αγωγός προστατεύεται έναντι υπερεντάσεων (υπερφορτίσεων και βραχυκυκλωμάτων) όπως ορίζεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384 (βλ. παράγραφο 3.9 «Προστασία αγωγών από υπερεντάσεις»).

Στον παρακάτω Πίνακα 1.25 παρουσιάζονται συνοπτικά οι ελάχιστες δυνατές τιμές της διατομής του ουδέτερου αγωγού μιας γραμμής τροφοδοσίας.

Πίνακας 1.25

Ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές ουδέτερου αγωγού

	Διατομή αγωγών φάσεων $S[\text{mm}^2]$	Ελάχιστη διατομή ουδέτερου αγωγού $S_N [\text{mm}^2]$
Μονοφασικό κύκλωμα Cu/Al	Οποιαδήποτε	ίδια με αυτήν αγωγού φάσης
Τριφασικό κύκλωμα Cu	$S < 16$ $S > 16$	ίδια με αυτήν αγωγού φάσης 16
Τριφασικό κύκλωμα Al	$S < 25$ $S > 25$	ίδια με αυτήν αγωγού φάσης 25

1.7.3 Αγωγός PEN

Ο αγωγός PEN είναι ένας γειωμένος αγωγός που συνδυάζει τις λειτουργίες του αγωγού προστασίας και του ουδέτερου αγωγού. Ο συμβολισμός PEN προέρχεται από το συνδυασμό των PE (συμβολισμός αγωγού γείωσης) και N (συμβολισμός ουδέτερου αγωγού) ΕΛΟΤ HD384.202.04.06).

Ειδικά για την περίπτωση του συστήματος TN-C όπου ένας κοινός αγωγός (αγωγός PEN) χρησιμοποιείται ως ουδέτερος αγωγός αλλά και ως αγωγός προστασίας συγχρόνως, και υπό την προϋπόθεση ότι το τμήμα της εγκατάστασης που χρησιμοποιεί τον αγωγό PEN δεν προστατεύεται από διακόπτη διαρροής έντασης (Δ.Δ.Ε.), η ελάχιστη επιτρεπόμενη διατομή του αγωγού PEN είναι 10mm^2 για τους αγωγούς από χαλκό και 16mm^2 για τους αγωγούς από αλουμίνιο (ΕΛΟΤ HD384.546.2).

1.7.4 Αγωγοί γείωσης

Με τον όρο αγωγός γείωσης εννοείται ο αγωγός ο οποίος συνδέει το ηλεκτρόδιο γείωσης με τον κύριο ακροδέκτη γείωσης ή τον κύριο ζυγό γείωσης (ΕΛΟΤ HD384.202.04.07).

Ο κύριος ακροδέκτης γείωσης ή κύριος ζυγός γείωσης είναι ένα κομβικό σημείο στο οποίο συνδέονται οι αγωγοί γείωσης, οι αγωγοί προστασίας, οι αγωγοί ισοδυναμικής σύνδεσης και οι αγωγοί της γείωσης λειτουργία εφόσον υπάρχουν (ΕΛΟΤ HD384.202.04.08).

Ο υπολογισμός της διατομής των αγωγών γείωσης γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και ο υπολογισμός της διατομής των αγωγών προστασίας.

Συμβαίνει πολλές φορές, οι αγωγοί γείωσης για κάποιο τμήμα της διαδρομής τους να είναι θαμμένοι στο έδαφος. Σε αυτή την περίπτωση οι ελάχιστη επιτρεπόμενη διατομή των αγωγών γείωσης φαίνεται στον Πίνακα 1.26 (ΕΛΟΤ HD384.542.3.1).

(σύμφωνα με ΕΛΟΤ HD384.542.3.1)

	Με μηχανική προστασία	Χωρίς μηχανική προστασία
Με προστασία έναντι διάβρωσης	ίδιες ελάχιστες διατομές με αυτές των αγωγών προστασίας	16mm ² Χαλκός 16mm ² Γαλβανισμένος χάλυβας
Χωρίς προστασία έναντι διάβρωσης		25mm ² Χαλκός 50mm ² Σίδηρος

1.7.5 Αγωγοί προστασίας

Ο αγωγός προστασίας, ο οποίος συμβολίζεται με PE, προορίζεται για την ηλεκτρική σύνδεση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών που περιλαμβάνονται σε μια εγκατάσταση, με σημεία όπως: τον κύριο ακροδέκτη γείωσης ή άλλα ξένα αγωγίμα στοιχεία ή το ηλεκτρόδιο γείωσης ή το γειωμένο σημείο της πηγής τροφοδοσίας ή ένα γειωμένο τεχνητό ουδέτερο κόμβο (ΕΛΟΤ HD384.202.4.5).

Υπενθυμίζεται, ότι εκτεθειμένο αγωγίμο μέρος θεωρείται κάθε προσβάσιμο αγωγίμο τμήμα ενός ηλεκτρολογικού υλικού (π.χ. το μεταλλικό περίβλημα μιας οικιακής συσκευής, το μεταλλικό περίβλημα μιας ηλεκτρικής μηχανής κ.λπ.). Υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης το εκτεθειμένο αγωγίμο μέρος δεν εμφανίζει διαφορά δυναμικού ως προς τη γη. Στην περίπτωση όμως εμφάνισης κάποιου σφάλματος μόνωσης μπορεί μεταξύ του εκτεθειμένου αγωγίμου μέρους και της γης να εμφανιστεί διαφορά δυναμικού (ΕΛΟΤ HD384.202.03.02).

Επίσης, ξένο αγωγίμο στοιχείο θεωρείται κάθε αγωγίμο αντικείμενο το οποίο όμως δεν ανήκει στην ηλεκτρική εγκατάσταση (π.χ. μεταλλικά δομικά στοιχεία μιας κτιριακής εγκατάστασης όπως μεταλλικά δάπεδα, μεταλλικές πόρτες ή παράθυρα αλλά και οι μεταλλικές σχάρες, οι βραχίονες και οι φορείς των καλωδίων κ.λπ.). Το δυναμικό των ξένων αγωγίμων στοιχείων είναι συνήθως ίσο με το δυναμικό της γης (ΕΛΟΤ HD384.202.03.03).

Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές των αγωγών προστασίας σε σχέση με τις διατομές των αγωγών φάσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.27. Πρέπει να σημειωθεί ότι εφόσον η διατομή του αγωγού προστασίας επιλεχθεί ώστε να ικανοποιεί τις ελάχιστες τιμές που φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα, δεν είναι απαραίτητος ο ακριβής υπολογισμός της με την αναλυτική μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο 543.1.1 του ΕΛΟΤ HD384 (βλ. παράγραφο 2.11.4.1 «Αναλυτικός υπολογισμός ελάχιστης διατομής αγωγού προστασίας»).

Πίνακας 1.27 Ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές αγωγών προστασίας (σύμφωνα με ΕΛΟΤ HD384.543.1.2.)

Διατομή αγωγών φάσεων S [mm ²]	Ελάχιστη διατομή αγωγού προστασίας S _{PE} [mm ²]
S ≤ 16	ίδια με αυτήν του αγωγού φάσης
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

Οι τιμές του Πίνακα 1.27 ισχύουν μόνο για την περίπτωση που ο αγωγός προστασίας είναι κατασκευασμένος από το ίδιο υλικό με τους αγωγούς των φάσεων. Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να υπολογίζεται η διατομή του αγωγού προστασίας, με τρόπο ώστε η αγωγιμότητα του αγωγού για τη διατομή που υπολογίστηκε να είναι ισοδύναμη με αυτή της διατομής που φαίνεται στον Πίνακα 1.27.

Στην περίπτωση που ο αγωγός προστασίας είναι μεμονωμένος, δεν είναι πόλος δηλαδή του καλωδίου τροφοδοσίας και δεν περιλαμβάνεται στο ίδιο περίβλημα με τους αγωγούς των φάσεων, η διατομή του δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από $2,5\text{mm}^2$ εάν ο αγωγός διαθέτει μηχανική προστασία και μικρότερη από 4mm^2 εάν δεν προβλέπεται μηχανική προστασία (ΕΛΟΤ HD384.543.1.3). Επίσης, στην περίπτωση που ένας αγωγός προστασίας είναι κοινός για περισσότερα του ενός κυκλώματα, η διατομή του θα πρέπει να συμφωνεί μ΄ τη μεγαλύτερη από τις διατομές των αγωγών φάσεων αυτών των κυκλωμάτων (ΕΛΟΤ HD384.543.1.4).

1.7.6 Αγωγοί ισοδυναμικών συνδέσεων

Ο αγωγός ισοδυναμικής σύνδεσης εξασφαλίζει μια ηλεκτρική σύνδεση, που διατηρεί στο ίδιο περίπου δυναμικό, τόσο όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης όσο και τα ξένα αγωγίμα στοιχεία (ΕΛΟΤ HD384.202.04.09).

Πίνακας 1.28 Ελάχιστες επιτρεπόμενες διατομές αγωγών ισοδυναμικών συνδέσεων (σύμφωνα με ΕΛΟΤ HD384)

	Κύρια ισοδυναμική σύνδεση (ΕΛΟΤ HD384.547.1.1)	Συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση (ΕΛΟΤ HD384.547.1.2)	
		μεταξύ δύο εκτεθειμένων αγωγίμων μερών	μεταξύ εκτεθειμένου αγωγίμου μέρους και ξένου στοιχείου
Ελάχιστη διατομή	$\geq S_{PEmax}/2$ με ελάχιστη τιμή τα 6mm^2 και δεν απαιτείται διατομή $\geq 25\text{mm}^2$ για αγωγούς από Cu*	$\geq S_{PEmin}$	$\geq S_{PE}/2$ και $\geq 2,5\text{mm}^2$ με μηχανική προστασία $\geq 4\text{mm}^2$ χωρίς μηχανική προστασία

* για άλλο μέταλλο διατομή που έχει ισοδύναμο μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα ίσο με αυτό των 25mm^2 για Cu.

S_{PEmax} η μέγιστη διατομή του αγωγού προστασίας στην εγκατάσταση

S_{PEmin} η μικρότερη από τις διατομές των αγωγών προστασίας που καταλήγουν στα δύο προς ισοδυναμική σύνδεση εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη

S_{PE} διατομή του αγωγού προστασίας που είναι συνδεδεμένος στο εκτεθειμένο αγωγίμο μέρος
Με τον αγωγό ισοδυναμικής σύνδεσης συνδέονται μεταξύ τους ο κύριος αγωγός προστασίας

και ο κύριος αγωγός γείωσης αλλά και τα ξένα αγωγίμα στοιχεία όπως οι μεταλλικές σωληνώσεις παροχών (π.χ. νερού, αερίου) στο εσωτερικό του κτιρίου, οι μεταλλικές σωληνώσεις κεντρικής θέρμανσης και κλιματισμού, τα μεταλλικά δομικά στοιχεία του κτιρίου και ο μεταλλικός οπλισμός του σκυροδέματος εφόσον είναι δυνατό (ΕΛΟΤ HD384.413.1.2.1). Η ελάχιστη διατομή που μπορεί να έχουν οι αγωγοί κύριας ή συμπληρωματικής ισοδυναμικής σύνδεσης δίνεται στον Πίνακα 1.28.

1.8 Προστασία αγωγών από υπερεντάσεις

Όπως καθορίζεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384.43.431.1 «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις - Προστασία έναντι υπερεντάσεων» αλλά και το πρότυπο IEC 60364-4-43 “Electrical Installation of buildings- Protection against overcurrent”, οι ενεργοί αγωγοί μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης θα πρέπει να προστατεύονται από μια τουλάχιστον διάταξη αυτόματης διακοπής της τροφοδότησης για την περίπτωση που ανιχνευθεί υπερφόρτιση ή συμβεί ένα βραχυκύκλωμα.

Ως υπερένταση σε ένα αγωγό, ορίζεται κάθε ρεύμα μεγαλύτερο από αυτό που καθορίζεται, με βάση τη μέγιστη ικανότητα μεταφοράς ρεύματος από τον αγωγό (ΕΛΟΤ HD384.202).

Τόσο η υπερφόρτιση όσο και το βραχυκύκλωμα ορίζονται ως καταστάσεις υπερέντασης, με τη διαφορά ότι το βραχυκύκλωμα εμφανίζεται σε ένα κύκλωμα όταν υπάρχει σφάλμα μόνωσης μεταξύ των ενεργών αγωγών που σε κανονικές συνθήκες έχουν διαφορά δυναμικού, ενώ η υπερφόρτιση εμφανίζεται σε ένα κύκλωμα χωρίς να υπάρχει σφάλμα μόνωσης στον αγωγό (ΕΛΟΤ HD384.202).

Η εμφάνιση υπερέντασης ή βραχυκυκλώματος σε ένα κύκλωμα οδηγεί σε καταστροφή των αγωγών τροφοδοσίας εξαιτίας της ανάπτυξης μεγάλης θερμοκρασίας ή μπορεί επίσης από τον ίδιο λόγο να προξενηθούν βλάβες στις συνδέσεις των αγωγών ή ακόμη σε εξαιρετικές περιπτώσεις τα δημιουργούμενα προβλήματα μπορεί να μεταφερθούν και στο περιβάλλον των αγωγών.

Η προστασία των αγωγών από υπερεντάσεις μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διατάξεων που προστατεύουν από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα συγχρόνως (ΕΛΟΤ HD384.432.1) όπως για παράδειγμα:

- από διακόπτες ισχύος (circuit breakers), που διαθέτουν και διάταξη προστασίας έναντι υπερφόρτισης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι μικροαυτόματοι διακόπτες (MCB- Mini Circuit Breakers), οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι τόσο με θερμικό στοιχείο για την προστασία από υπερφορτίσεις όσο και με μαγνητικό στοιχείο για την προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων (βλ. παράγραφο 2.4 «Μικροαυτόματοι διακόπτες ισχύος»).
- από διακόπτες ισχύος (circuit breakers) σε συνδυασμό με ασφάλειες.
- από τηκτές ασφάλειες τύπου “gG” σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 60269-1.

Επίσης, μια γραμμή τροφοδοσίας μπορεί να προστατεύεται από υπερεντάσεις με τη χρήση διατάξεων που παρέχουν προστασία μόνο έναντι υπερφορτίσεων (διατάξεις με χαρακτηριστική αντιστρόφου χρόνου), σε συνδυασμό με διατάξεις προστασίας μόνο έναντι βραχυκυκλωμάτων (διακόπτες ισχύος με διάταξη πτώσης από βραχυκύκλωμα ή τηκτές ασφάλειες) (ΕΛΟΤ HD384.432.2 και 432.3).

Οι διατάξεις προστασίας έναντι υπερφόρτισης και βραχυκυκλωμάτων, τοποθετούνται συνήθως στην αρχή ενός κυκλώματος τροφοδοσίας και εντός του πίνακα διανομής από όπου γίνεται και η διανομή στα επιμέρους κυκλώματα μιας εγκατάστασης. Στην περίπτωση που κατά μήκος μιας γραμμής τροφοδοσίας υπάρχει αλλαγή σε κάποιο από τα αρχικά

χαρακτηριστικά της (π.χ. αλλαγή διατομής ή είδους αγωγών, αλλαγή τρόπου εγκατάστασης, η όποια άλλη αλλαγή έχει ως επίπτωση τη μείωση του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος), θα πρέπει οι διατάξεις προστασίας να τοποθετούνται στο σημείο που συμβαίνει αυτή η αλλαγή χαρακτηριστικών της γραμμής (ΕΛΟΤ HD384.473.1.1 και 473.2.1).

Στην ειδική περίπτωση όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση της διάταξης στο σημείο που γίνεται η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της γραμμής τροφοδοσίας, η διάταξη μπορεί να τοποθετηθεί σε άλλο σημείο κατά μήκος της γραμμής μετά το σημείο διαφοροποίησης και προς τη μεριά του φορτίου (ΕΛΟΤ HD384.473.1.1.2 και 473.2.2), εφόσον εξασφαλίζεται ότι:

- το τμήμα της γραμμής από το σημείο αλλαγής των χαρακτηριστικών της μέχρι το σημείο εγκατάστασης της διάταξης προστασίας, δεν περιλαμβάνει διακλαδώσεις ή ρευματοδότες.
- το τμήμα της γραμμής από το σημείο αλλαγής των χαρακτηριστικών της μέχρι το σημείο εγκατάστασης της διάταξης προστασίας, προστατεύεται από βραχυκυκλώματα από διάταξη που βρίσκεται ήδη εγκατεστημένη προς την πλευρά της τροφοδοσίας
- το μήκος του τμήματος από το σημείο αλλαγής και μέχρι το σημείο της εγκατάστασης της συσκευής προστασίας δεν υπερβαίνει τα 3 μέτρα.
- ο τρόπος εγκατάστασης αυτού του τμήματος της γραμμής, περιορίζει στο ελάχιστο την πιθανότητα εμφάνισης βραχυκυκλώματος (π.χ. κατασκευαστική ενίσχυση του εν λόγω τμήματος έναντι εξωτερικών επιδράσεων) και την ανάπτυξη πυρκαγιάς

1.8.1 Προστασία έναντι υπερφορτίσεων

Σύμφωνα με άρθρο 433.2 του ΕΛΟΤ HD384 «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις» αλλά και τα όσα περιγράφονται στο πρότυπο IEC 60364-4-43 “Electrical Installation for buildings - Protection against overcurrent”, τα χαρακτηριστικά μιας διάταξης που παρέχει προστασία έναντι υπερφόρτισης θα πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες δύο συνθήκες:

$$I_b \leq I_n \leq I_Z \quad (1.13)$$

$$I_2 \leq 1,45I_Z \quad (1.14)$$

οπου:

I_b είναι το ρεύμα κανονικής λειτουργίας του υπό προστασία κυκλώματος

I_Z είναι το μέγιστο ρεύμα της γραμμής τροφοδοσίας (η μέγιστη ικανότητα μεταφοράς ρεύματος των αγωγών ή του καλωδίου της γραμμής) για συνεχή λειτουργία

I_N το ονομαστικό ρεύμα της διάταξης προστασίας (στην περίπτωση διατάξεων με δυνατότητα ρύθμισης του ονομαστικού ρεύματος, ως I_{II} λαμβάνεται υπόψη η επιλεγμένη τιμή του ρεύματος)

I_2 η τιμή της έντασης ρεύματος για την οποία εξασφαλίζεται η ενεργοποίηση της διάταξης προστασίας εντός του προβλεπόμενου-συμβατικού χρόνου. Ο συμβατικός αυτός χρόνος προδιαγράφεται από τα πρότυπα που ισχύουν για κάθε είδος προστατευτικής διάταξης.

Η σχέση 1.13 δηλώνει το γεγονός ότι για να υπάρξει προστασία από υπερφόρτιση μιας γραμμής τροφοδοσίας, το ονομαστικό ρεύμα I_n ενεργοποίησης της διάταξης προστασίας στη μόνιμη λειτουργία του κυκλώματος θα πρέπει:

- να είναι μεγαλύτερο έως ίσο με από το ρεύμα κανονικής λειτουργίας I_b της γραμμής για να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία της.
- να είναι το πολύ ίσο με την τιμή της έντασης I_z που προκύπτει με βάση την ικανότητα μεταφοράς ρεύματος των αγωγών ή του καλωδίου της γραμμής τροφοδοσίας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται τελικά και η προστασία της γραμμής από υπερφόρτιση.

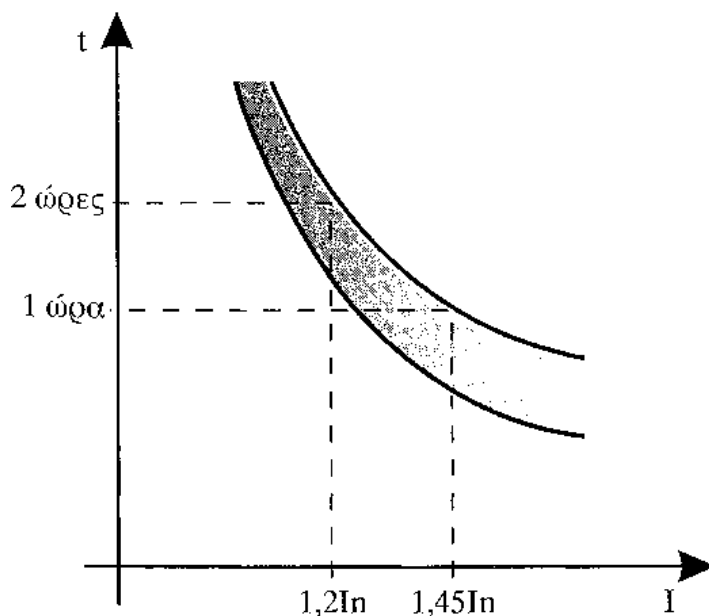
Η σχέση 1.14 επιτρέπει την εμφάνιση υπερφόρτισης μέχρι και 45% αλλά για μικρά χρονικά διαστήματα, όσος είναι δηλαδή και ο συμβατικός με βάση τα ισχύοντα πρότυπα χρόνος, εντός του οποίου θα πρέπει η διάταξη προστασίας έναντι υπερφόρτισης να ενεργοποιηθεί.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, προστασία έναντι υπερφορτίσεων παρέχεται με τη χρήση διακοπών ισχύος εξοπλισμένων με διάταξη αντίδρασης σε υπερφόρτιση, καθώς επίσης και με τη χρήση τηκτών ασφαλειών ή με συνδυασμό τηκτών ασφαλειών και διακοπών ισχύος.

Ειδικά για τους διακόπτες ισχύος, συμπεριλαμβανομένων και των μικροαυτόματων διακοπών, ο έλεγχος της σχέσης 1.14 δεν αποτελεί πρώτη προτεραιότητα, καθώς:

- για τους διακόπτες ισχύος που είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο IEC60947-2 (Low Voltage switchgear and control gear - Part 2: Circuit breakers for industrial use), καθορίζεται ότι η διάταξη προστασίας προκαλεί απόξευξη σε λιγότερο από 2 ώρες όταν συμβεί να είναι $I_2=1,2I_n$
- για τους διακόπτες ισχύος που είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο IEC60898 (Circuit breakers for household and similar installations), καθορίζεται ότι η διάταξη προστασίας προκαλεί απόξευξη σε λιγότερο απ 1 ώρα όταν συμβεί να είναι $I_2=1,45I_n$

Συνεπώς για την περίπτωση χρήσης διακοπών ισχύος και εφόσον ισχύει $I_n < I_z$ τότε θα ισχύει και $I_2 < 1,45I_z$.



Σχήμα 1.10

Χαρακτηριστικές καμπύλες

λειτουργίας διακοπών.

Στην περίπτωση που ως διάταξη προστασίας έναντι υπερφόρτισης χρησιμοποιείται τηκτική ασφάλεια, το πρότυπο IEC 60269-2-1 “Low voltage fuses”, καθορίζει ότι η ασφάλεια θα πρέπει να τήκεται αυτόματα στην περίπτωση που εμφανιστεί ρεύμα ίσο με $1,6 I_n$. Με βάση αυτή την παρατήρηση η συνθήκη 1.14 γράφεται ως εξής: $1,6 I_n < 1,45 I_Z$ ή $I_n < 0,9 I_Z$. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε τελικά πλήρη εκμετάλλευση της ικανότητας μεταφοράς ρεύματος του αγωγού ή καλωδίου, καθώς η σχέση 1.14 παίρνει τη μορφή $I_b < I_n < 0,9 I_Z$.

Δηλαδή, η τηκτική ασφάλεια που θα χρησιμοποιηθεί για προστασία έναντι υπερφόρτισης, θα πρέπει να έχει ονομαστική τιμή το πολύ ίση με το 90% της μέγιστης ικανότητας μεταφοράς ρεύματος του προστατευόμενου αγωγού, αλλιώς δεν ικανοποιείται η προηγούμενη σχέση 1.14.

Εάν η γραμμή τροφοδοσίας υλοποιείται με τη χρήση παράλληλα συνδεδεμένων αγωγών ανά φάση, τότε ως ικανότητα μεταφοράς ρεύματος I_Z της γραμμής, λαμβάνεται υπόψη το άθροισμα των ρευμάτων που διαρρέουν κάθε ένα από τους παράλληλα συνδεδεμένους αγωγούς, με την προϋπόθεση ότι τα ρεύματα αυτά είναι ίσα μεταξύ τους (ΕΛΟΤ HD384.433.3). Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει η προστασία από υπερφόρτιση για κάθε ένα από τους αγωγούς να αντιμετωπιστεί μεμονωμένα.

Να σημειωθεί ότι δεν είναι αναγκαία η εγκατάσταση διάταξης υπερφόρτισης σε μια γραμμή τροφοδοσίας, στην περίπτωση όπου υπάρχει μεν αλλαγή σε κάποιο από τα αρχικά χαρακτηριστικά της (π.χ. αλλαγή διατομής ή είδους αγωγών, αλλαγή τρόπου εγκατάστασης, κ.λπ.) εφόσον το σύνολο της γραμμής με τις νέες συνθήκες, προστατεύεται αποτελεσματικά έναντι υπερφορτίσεων από διάταξη που βρίσκεται εγκατεστημένη προς την πλευρά της τροφοδότησης (ΕΛΟΤ HD 473.1.2).

Με άλλα λόγια, δεν είναι αναγκαία η εγκατάσταση διάταξης προστασίας έναντι υπερφόρτισης όταν η αλλαγή των χαρακτηριστικών κατά μήκος μιας γραμμής δεν οδηγεί σε μείωση του της τιμής του μεγίστου επιτρεπόμενου ρεύματος. Τέτοιες περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται η εγκατάσταση διάταξης έναντι υπερφόρτισης, είναι για παράδειγμα η αύξηση από ένα σημείο και μετά της διατομής του αγωγού, ο τερματισμός της γειτνίασης ή του συνωστισμού με αγωγούς άλλων γραμμών τροφοδοσίας, ο τερματισμός της επίδρασης άλλων παραγόντων με αρνητική επίδραση στην ικανότητα μεταφοράς ρεύματος των αγωγών κ.λπ.

Επίσης, υπάρχουν ειδικές περιπτώσεις κυκλωμάτων, όπου διακοπή της τροφοδότησης εξαιτίας της παρέμβασης της διάταξης προστασίας έναντι υπερφορτίσεων, μπορεί να εγκυμονεί κινδύνους. Ως τέτοιες περιπτώσεις στην παράγραφο 473.1.4 του ΕΛΟΤ HD384 όπου και συστήνεται να μην τοποθετείται διάταξη προστασίας έναντι υπερέντασης, αναφέρονται: τα κυκλώματα διέγερσης στρεφόμενων μηχανών, τα κυκλώματα τροφοδότησης ηλεκτρομαγνητικών ανυψωτικών μηχανημάτων, τα δευτερεύοντα κυκλώματα μετασχηματιστών εντάσεως και τα κυκλώματα που τροφοδοτούν διατάξεις πυρόσβεσης.

1.8.2 Προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο λόγος για τον οποίο οι αγωγοί και τα καλώδια θα πρέπει να προστατεύονται έναντι των βραχυκυκλωμάτων, είναι η αποφυγή υπερθέρμανσης και καταστροφής τους, εξαιτίας της μεγάλης τιμής της έντασης του ρεύματος που ένα βραχυκύκλωμα συνεπάγεται.

Η προστασία έναντι ρευμάτων βραχυκύκλωσης έχει έννοια εφόσον αναφερόμαστε σε βραχυκυκλώματα που μπορεί να συμβούν μεταξύ αγωγών του ίδιου κυκλώματος (ΕΛΟΤ HD384.434).

Στόχος της προστασίας μιας γραμμής τροφοδοσίας έναντι βραχυκυκλώματος, είναι η διακοπή κάθε ρεύματος που προκαλείται από βραχυκύκλωμα σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος, εντός χρονικού διαστήματος που θα εξασφαλίζει ότι ο αγωγός ή το καλώδιο δεν θα ξεπεράσει την επιτρεπόμενη οριακή του θερμοκρασία (ΕΛΟΤ HD384.434.3.2).

Προφανώς τη δυσμενέστερη περίπτωση από άποψη χρόνου (ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο), έχουμε όταν κατά τη στιγμή εμφάνισης του βραχυκυκλώματος, η θερμοκρασία του αγωγού έχει ήδη τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή κανονικής λειτουργίας.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες λειτουργίας καθώς και οι μέγιστες οριακές θερμοκρασίες για χάλκινους αγωγούς με μόνωση από PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο), EPR (ελαστικό αιθυλενίου-προπυλενίου) και XLPE (δικτυωμένο πολυαιθυλένιο) φαίνονται στον Πίνακα 1.29.

Πίνακας 1.29 Θερμοκρασίες χάλκινων αγωγών

Θερμοκρασία αγωγού (°C)	Μόνωση αγωγού		
	PVC (<300mm ²)	PVC (>300mm ²)	EPR/XLPE
Μέγιστη τιμή κανονικής λειτουργίας	70	70	90
Επιτρεπόμενη οριακή τιμή	160	140	250

Σημείωση:

Για τα σημεία σύνδεσης των χάλκινων αγωγών με κασσιτεροκόλληση ως θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας θεωρούνται οι 70 °C και ως επιτρεπόμενη οριακή θερμοκρασία θεωρούνται οι 160 °C.

Στην περίπτωση βραχυκυκλωμάτων διάρκειας μικρότερης των 5sec, όλη η ενέργεια Joule που αναπτύσσεται εξαιτίας του ρεύματος βραχυκύκλωσης μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στον αγωγό, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται αύξηση της θερμοκρασίας του. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης δεν έχει σταθερή τιμή κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του φαινομένου του βραχυκυκλώματος όπως επίσης και η θερμοκρασία του αγωγού αλλάζει με συνέπεια την αλλαγή και της ωμικής αντίστασης του αγωγού. Με βάση τις τελευταίες παρατηρήσεις μπορούμε να διατυπώσουμε την παρακάτω σχέση όσον αφορά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα στον αγωγό κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος:

$$\begin{aligned}
i^2(t) \cdot R(q)dt &= mc \cdot dq \Leftrightarrow \frac{r_{20}[1+a(q-20)]L}{S} i^2(t) = c \cdot d \cdot L \cdot S \cdot dq \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \frac{r_{20}[1+a(q-20)]L}{S} i^2(t) &= c' \cdot S \cdot dq \Leftrightarrow i^2(t)dt = \frac{c'S^2}{r_{20}} \cdot \frac{1}{1+a(q-20)} dq \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} i(t)^2 dt &= \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{c'S^2}{r_{20}} \int_{q_a}^{q_t} \frac{1}{1+a(q-20)} dq \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} i(t)^2 dt &= \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{c'S^2}{r_{20}} \cdot \ln \left[\frac{1+a(q_t-20)}{1+a(q_a-20)} \right] \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} i(t)^2 dt} &= \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{c'S^2}{r_{20}} \cdot \ln \left[\frac{1+a(q_t-20)}{1+a(q_a-20)} \right]} \Leftrightarrow \\
\Leftrightarrow \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} i(t)^2 dt} &= \frac{S}{\sqrt{\Delta t}} \sqrt{\frac{c'}{ar_{20}} \cdot \ln \left[\frac{1+a(q_t-20)}{1+a(q_a-20)} \right]} \quad (1.15)
\end{aligned}$$

όπου

$i(t)$	η στιγμιαία τιμή της έντασης του ρεύματος βραχυκύκλωσης [A]
$R(\theta)$	η τιμή της αντίστασης του αγωγού σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας [Ω]
M	η μάζα του χάλκινου κυλινδρικού αγωγού
C	η ειδική θερμότητα [$J / ^\circ C \cdot \text{kg}$]
D	η πυκνότητα του χαλκού ίση με 8930 [kg / m^3]
c'	η ειδική θερμοχωρητικότητα του χαλκού ίση με 0,00345 [$J / ^\circ C \cdot \text{mm}^3$]
ρ_{20}	η ειδική αντίσταση του χαλκού στους 20° C ίση με 0,01786 [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$]
a	θερμοκρασιακός συντελεστής αντίστασης, περίπου ίσος με 0,004 για το χαλκό
θ	η θερμοκρασία του αγωγού [$^\circ C$]
θ_a, θ_t	η αρχική και τελική θερμοκρασία του αγωγού αντίστοιχα [$^\circ C$]
S	η διατομή του αγωγού [mm^2]
L	το μήκος του αγωγού [m]
Δt	χρονικό διάστημα από τη στιγμή t_1 έως τη στιγμή t_2
$Dt, d\Theta$	τα διαφορικά του χρόνου και της θερμοκρασίας αντίστοιχα

Το πρώτο μέλος της σχέσης 1.15 αντιστοιχεί στην ενδεικνύμενη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης, οπότε έχουμε

$$\boxed{I_{rms} \frac{S}{\sqrt{\Delta t}} k \Leftrightarrow \sqrt{\Delta t} = \frac{S}{I_{rms}} k} \quad (1.16)$$

Όπου

$$k = \sqrt{\frac{c'}{ar_{20}} \cdot \ln \left[\frac{1 + a(q_t - 20)}{1 + a(q_a - 20)} \right]}$$

συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από το υλικό του αγωγού και της μόνωσης και την αρχική και τελική θερμοκρασία $\left[\frac{A}{mm^2} s^{1/2} \right]$

I_{rms} η ενδεικνύμενη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης [A]

S η διατομή του αγωγού [mm²]

Δt ο χρόνος διάρκειας του βραχυκυκλώματος [s]

Η σχέση 1.16 προτείνεται στην παράγραφο 434.3.2 του ΕΛΟΤ HD384 για τον υπολογισμό του χρόνου που απαιτείται ώστε η θερμοκρασία του αγωγού να φτάσει από τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας στην οριακή, για ένα δεδομένο ρεύμα βραχυκύκλωσης και για την περίπτωση βραχυκυκλωμάτων με διάρκεια έως 5 sec.

Στην ίδια παράγραφο του κανονισμού, καθορίζεται ότι ο συντελεστής k παίρνει τις παρακάτω τιμές:

- k=115 για χάλκινους αγωγούς με μόνωση PVC
- k=135 για χάλκινους αγωγούς με μόνωση ελαστικό ή βουτύλιο ή πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού (XLPE) ή αιθυλενίου - προπυλενίου (EPR).
- k=74 για αγωγούς αλουμινίου με μόνωση PVC
- k= 115 για τις συνδέσεις χάλκινων αγωγών με κόλληση από κασσίτερο

Από τη σχέση 1.16, προκύπτει ότι ένα καλώδιο προστατεύεται ικανοποιητικά έναντι βραχυκυκλώματος, όταν η ενέργεια ($I_{rms}^2 t$) που η διάταξη προστασίας αφήνει να περάσει μέσα από τον αγωγό είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την ενέργεια ($k^2 S^2$) που το καλώδιο μπορεί να αντέξει (σχέση 1.17).

$$I_{rms}^2 \cdot t = k^2 S^2 \quad (1.17)$$

οπου:

$I_{rms}^2 t$ συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας, της οποίας τη διέλευση επιτρέπει η διάταξη προστασίας και η οποία μπορεί με ακρίβεια να προσδιοριστεί από τις χαρακτηριστικές καμπύλες της διάταξης που παρέχει ο κατασκευαστής.

S η διατομή του αγωγού σε [mm²]. Στην περίπτωση παράλληλα συνδεδεμένων αγωγών λαμβάνεται υπόψη η διατομή του ενός αγωγού.

K συντελεστής του οποίου η τιμή εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του αγωγού και της μόνωσης του (βλέπε προηγούμενα).

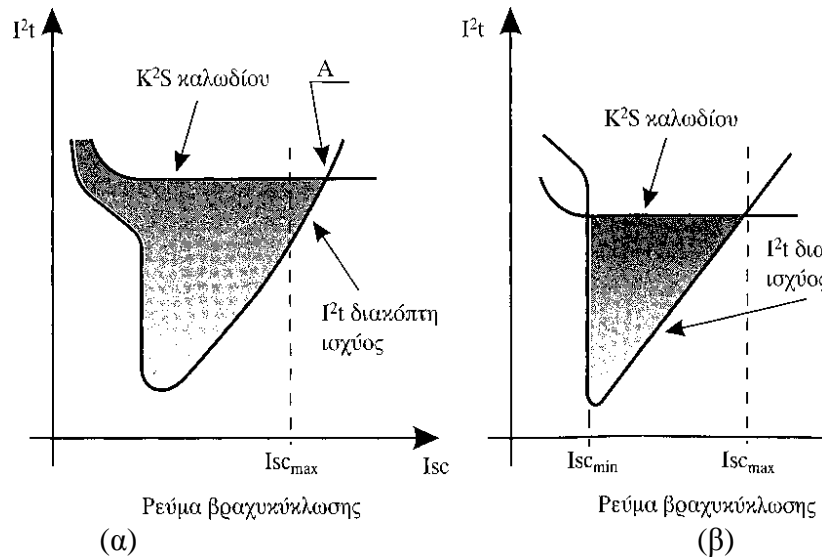
Επίσης, από τη σχέση 1.16 υπολογίζεται ο μέγιστος χρόνος εντός του οποίου η διάταξη προστασίας θα πρέπει να έχει αντιδράσει και να έχει προκαλέσει τη διακοπή τροφοδοσίας του κυκλώματος, έτσι ώστε να έχουμε αποτελεσματική προστασία των αγωγών τροφοδοσίας.

Με βάση τις γραφικές παραστάσεις αφενός της ενέργειας που μπορεί να αντέξει ένας αγωγός και αφετέρου της ενέργειας που αφήνει ο διακόπτης ισχύος να περάσει χωρίς να ενεργοποιηθεί, μπορεί να γίνει γραφικός προσδιορισμός των ορίων ελάχιστου και μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης, εντός των οποίων ο αγωγός προστατεύεται αποτελεσματικά έναντι βραχυκυκλωμάτων με τη χρήση διακόπτη ισχύος.

Στην περίπτωση όπου ο διακόπτης ισχύος είναι εφοδιασμένος με διάταξη προστασίας τόσο έναντι υπερφορτίσεων όσο και έναντι βραχυκυκλωμάτων (σχήμα 1.11.α), για να υπάρξει

αποτελεσματική προστασία από βραχυκυκλώματα θα πρέπει η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης να είναι μικρότερη από την τιμή που ορίζει το σημείο Α (τομή των δύο καμπύλων).

Στην περίπτωση που ο διακόπτης ισχύος είναι εφοδιασμένος μόνο με διάταξη προστασίας έναντι βραχυκυκλώματος, η καμπύλη της ενέργειας που ο διακόπτης αφήνει να διέλθει, τέμνεται σε δύο σημεία με την αντίστοιχη καμπύλη της ενέργειας που ο αγωγός μπορεί να αντέξει (σχήμα 1.11.β). Σε αυτή την περίπτωση για να υπάρχει προστασία του αγωγού έναντι βραχυκυκλωμάτων, θα πρέπει η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης να βρίσκεται μεταξύ των τιμών ρεύματος που ορίζουν τα δύο σημεία τομής των δύο καμπύλων.



Σχήμα 1.11 Προσδιορισμός μεγίστου και ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης για διακόπτες ισχύος με προστασία έναντι υπερεντάσεων και βραχυκυκλώματος (α) ή μόνο βραχυκυκλώματος (β).

Στην περίπτωση όπου ένας αγωγός προστατεύεται από μια διάταξη μόνο έναντι υπερφορτίσεων και από μια άλλη διάταξη μόνο έναντι βραχυκυκλωμάτων, τα χαρακτηριστικά των διατάξεων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η διάταξη έναντι υπερφορτίσεων να μην κινδυνεύει από την ενέργεια που η διάταξη έναντι βραχυκυκλωμάτων αφήνει να διέλθει (ΕΛΟΤ HD384.435.2).

1.8.3 Διατάξεις προστασίας από υπερεντάσεις σε μια γραμμή τροφοδοσίας

Για την προστασία έναντι υπερεντάσεων θα πρέπει να τοποθετούνται κατάλληλες διατάξεις ανίχνευσης σε όλους τους αγωγούς των φάσεων (ΕΛΟΤ HD384.473.3.1.1). Οι διατάξεις αυτές θα πρέπει να διακόπτουν την τροφοδοσία στη φάση στην οποία εκδηλώνεται η υπερένταση, χωρίς να είναι υποχρεωτική η διακοπή και των άλλων φάσεων της γραμμής τροφοδοσίας.

Στον ουδέτερο αγωγό των συστημάτων TT και TN, δεν υπάρχει η ανάγκη εγκατάστασης διάταξης προστασίας έναντι υπερεντάσεων (υπερφορτίσεων ή βραχυκυκλωμάτων), όταν η διατομή του είναι ίση με τη διατομή των αγωγών των φάσεων (ΕΛΟΤ HD384.473.3.2.1). Η διατομή του ουδέτερου αγωγού είναι υποχρεωτικά η ίδια με τη διατομή των φάσεων στα

μονοφασικά κυκλώματα δύο αγωγών (για όλες τις διατομές) και στα τριφασικά κυκλώματα όταν η διατομή των χάλκινων αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με 16mm^2 (ΕΛΟΤ HD384.524.2) Σε αυτή την περίπτωση επιίπτε για παράδειγμα μια τυπική οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση που έχει γραμμή τροφοδοσίας $3 \times 10\text{mm}^2$ και στην οποία δεν απαιτείται η ανίχνευση υπερεντάσεων στον ουδέτερο, καθώς αυτός προστατεύεται από τις αντίστοιχες διατάξεις που είναι εγκατεστημένες στους αγωγούς των φάσεων.

Στην περίπτωση όμως που ο ουδέτερος αγωγός έχει διατομή μικρότερη από τη διατομή των αγωγών των φάσεων, θα πρέπει να υπάρχει διάταξη ανίχνευσης υπερεντάσεων και στον ουδέτερο αγωγό και εφόσον υπάρξει κάποιου είδους υπερένταση (υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα), η διάταξη θα πρέπει να επέμβει και να διακόψει την τροφοδότηση όλων των ενεργών αγωγών όχι όμως αναγκαστικά και του ουδέτερου. Ακόμη και σε αυτή την περίπτωση δεν είναι ανάγκη να εγκατασταθεί διάταξη προστασίας έναντι υπερεντάσεων στον ουδέτερο, εφόσον αυτός προστατεύεται από βραχυκυκλώματα μέσω των αγωγών προστασίας των φάσεων και εφόσον το μέγιστο ρεύμα που αναμένεται να τον διαρρεύσει είναι μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα του αγωγού (ΕΛΟΤ HD384.473.3.2.1).

Στην περίπτωση που απαιτηθεί η διακοπή και του ουδέτερου αγωγού μέσω των διατάξεων προστασίας, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι αυτή θα γίνει με χρονική καθυστέρηση σε σχέση με τη διακοπή των αγωγών των φάσεων, ενώ κατά τη διαδικασία αποκατάστασης της τροφοδοσίας θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι θα προηγηθεί χρονικά η ζεύξη του ουδέτερου αγωγού (ΕΛΟΤ HD384.473.3.3).

Στον Πίνακα 1.30 συνοψίζονται οι περιπτώσεις όπου απαιτείται η εγκατάσταση διάταξης προστασίας έναντι υπερεντάσεων στους αγωγούς των φάσεων αλλά και τον ουδέτερο αγωγό, ανάλογα με το σύστημα γείωσης και το είδος του δικτύου τροφοδοσίας.

Πίνακας 1.30 Απαίτηση για διάταξη ανίχνευσης υπερέντασης (σύμφωνα με ΕΛΟΤ HD384.473.3.3)

		Γραμμή τροφοδοσίας												
		3 Φάσεις+N								3 Φάσεις			1Φάση+N	
		$S_N = S_{PH}$				$S_N < S_{PH}$								
		L1	L2	L3	N	L1	L2	L3	N	L1	L2	L3	L1	N
Σύστημα γείωσης	TN-C	ναι	ναι	Ναι	-	ναι	ναι	ναι	- ⁽¹⁾	ναι	ναι	ναι	ναι	-
	TN-S	ναι	ναι	Ναι	-	ναι	ναι	ναι	- ⁽¹⁾	ναι	ναι	ναι	ναι	-
	TT	ναι	ναι	Ναι	-	ναι	ναι	ναι	- ⁽¹⁾	ναι	ναι	ναι ⁽²⁾	ναι	-
	IT	ναι	ναι	Ναι	Ναι ⁽³⁾	ναι	ναι	ναι	ναι ⁽³⁾	ναι	ναι	ναι ⁽³⁾	ναι	ναι ⁽³⁾

Σημειώσεις:

- όπου S_N και S_{PH} οι διατομές του ουδέτερου και των αγωγών φάσης αντίστοιχα
1. εφόσον αυτός προστατεύεται από βραχυκυκλώματα μέσω των αγωγών προστασίας των φάσεων και εφόσον το μέγιστο ρεύμα που αναμένεται να τον διαρρεύσει είναι μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα του αγωγού (ΕΛΟΤ HD384.473.3.2.1 β)
 2. εκτός από την περίπτωση ύπαρξης διαφορικής προστασίας
 3. εκτός αν ο ουδέτερος προστατεύεται αποτελεσματικά έναντι βραχυκυκλωμάτων ή αν προς την πλευρά της τροφοδότησης υπάρχει εγκατεστημένη διαφορική προστασία

1.9 Αναγνώριση του ουδέτερου αγωγού και του αγωγού προστασίας

Σύμφωνα με την παράγραφο 514.3 του πρότυπου ΕΛΟΤ HD384, τόσο ο ουδέτερος αγωγός όσο και ο αγωγός προστασίας, θα πρέπει να είναι εύκολα αναγνωρίσιμοι από το χρωματισμό τους σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση. Τα χρώματα που προορίζονται αποκλειστικά για αυτούς τους αγωγούς είναι σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 699, διπλός χρωματισμός πράσινο με κίτρινο για τον αγωγό προστασίας και μονόχρωμο ανοιχτό μπλε για τον ουδέτερο αγωγό.

Στα κυκλώματα που δεν απαιτείται αγωγός προστασίας, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται πολυπολικό καλώδιο, του οποίου ένας από τους πόλους θα έχει διπλό χρωματισμό πράσινο/κίτρινο. Παρόλα αυτά στην περίπτωση που δεν υπάρχει άλλο διαθέσιμο κατάλληλο καλώδιο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτό που διαθέτει τον πόλο με το διπλό πράσινο/κίτρινο χρωματισμό, υπό την προϋπόθεση ότι αυτός θα μείνει αχρησιμοποίητος.

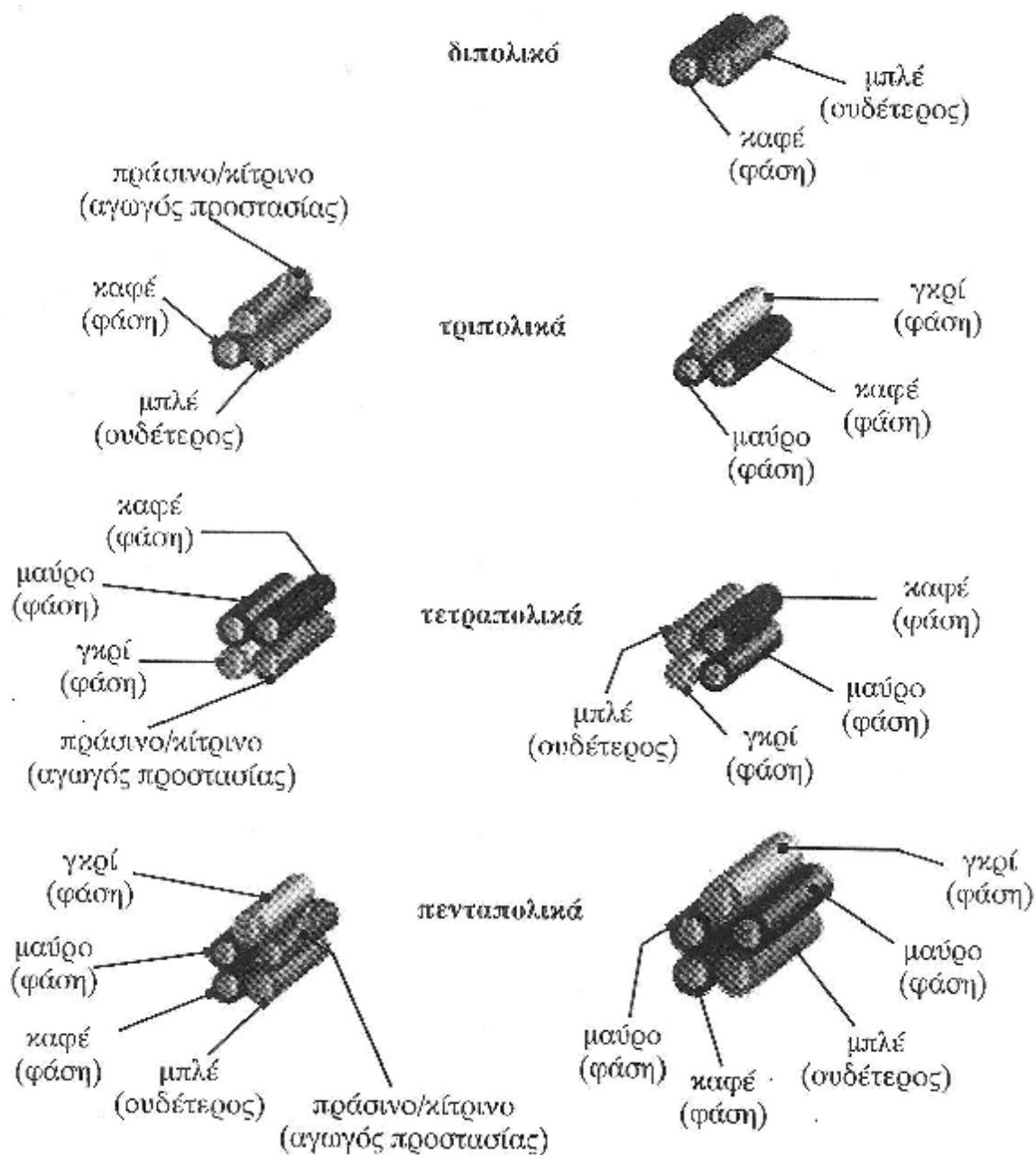
Στην περίπτωση χρησιμοποίησης πολυπολικού καλωδίου το οποίο διαθέτει πόλο με μπλε χρωματισμό, ενώ στο κύκλωμα στο οποίο πρόκειται το καλώδιο να εγκατασταθεί δεν απαιτείται ουδέτερος αγωγός, ο πόλος του μπλε χρωματισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε λειτουργία εκτός αυτής του αγωγού προστασίας.

1.10 Χρωματισμός αγωγών πολυπολικών καλωδίων

Με βάση την υπουργική απόφαση Φ.7.5/1816/88 (ΦΕΚ 470B/5-3-04), καθιερώνεται νέος χρωματισμός των ηλεκτρικών καλωδίων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 308 S2, προκειμένου αυτά να εναρμονισθούν με τα καλώδια που κυκλοφορούν στις άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το πρότυπο του ΕΛΟΤ εισάγει το γκριζο χρώμα ως αγωγό φάσης. Η αλλαγές που εισάγει, επηρεάζουν κατά κύριο λόγο τα τριπολικά, τετραπολικά και πενταπολικά καλώδια. Κατά το παρελθόν, ένα πενταπολικό καλώδιο για παράδειγμα, διέθετε δύο πόλους χρώματος μαύρου, ενώ με την νέα τυποποίηση ο ένας από τους αγωγούς θα είναι πλέον γκρι.

Επίσης, δεν υπάρχει πλέον διαφοροποίηση στο χρωματισμό των πόλων εύκαμπτων και μη εύκαμπτων καλωδίων.

Χρωματισμός των αγωγών πολυπολικών καλωδίων
ΕΛΟΤ HD 308 S2



Σχήμα 1.12 Χρωματισμός των πόλων ενός πολυπολικού καλωδίου.

1.11 Είδη αγωγών και καλωδίων

Οι αγωγοί και τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στις κτιριακές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση διάφορα χαρακτηριστικά, που μεταξύ άλλων αφορούν:

- Στο αγώγιμο υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του. Ως αγώγιμα υλικά χρησιμοποιούνται ο χαλκός και το αλουμίνιο. Ο χαλκός που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των αγωγών έχει καθαρότητα της τάξης του 99.9%, παρουσιάζει πολύ καλή αγωγιμότητα και είναι κατάλληλος για την κατασκευή χάλκινων συρμάτων και μπαρών με διατομές από 0,5 έως και 2000mm². Το αλουμίνιο, σε σχέση με το χαλκό παρουσιάζει μικρότερη αγωγιμότητα και χρησιμοποιείται κυρίως για διατομές μεγαλύτερες των 25mm².
- στον αριθμό των κλώνων οι οποίοι διαμορφώνουν την τελική διατομή του αγωγού (μονόκλωνοι ή πολύκλωνοι αγωγοί)
- στην ονομαστική τάση λειτουργίας. Η ταξινόμηση γίνεται με βάση τις ονομαστικές τάσεις U₀/U, όπου U₀ είναι η μέγιστη διαφορά δυναμικού που μπορεί να επιβληθεί μεταξύ του αγωγού και της γης ενώ U είναι η μέγιστη διαφορά δυναμικού που μπορεί να επιβληθεί μεταξύ δύο αγωγών.
- στο μονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται για το περίβλημα των αγωγών και το μανδύα των καλωδίων

1.11.1 Μονωτικά υλικά

Για την κατασκευή των μονωτικών περιβλημάτων, χρησιμοποιούνται διάφορα πολυμερή υλικά τα οποία μπορούν να χωριστούν σε δύο κυρίως κατηγορίες, τα θερμοπλαστικά και τα ελαστομερή. Τα θερμοπλαστικά υλικά, σε αντίθεση με τα ελαστομερή (ελαστικά), λειώνουν όταν θερμανθούν και μπορούν να επαναχυτευθούν.

Από τα πλαστικά, αυτά που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται, είναι ο πολυβινυλοχλωρίδιο PVC, το πολυαιθυλένιο PE και το πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού XLPE.

Το PVC είναι ένα θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες μέγιστης θερμοκρασίας του αγωγού έως και 70 °C. Στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ο υλικό σκληραίνει και για το λόγο αυτό, το PVC δεν είναι κατάλληλο για χρήση σε θερμοκρασίες μικρότερες των -10 °C. Από την άλλη μεριά, εξαιτίας της πτητικότητας των πλαστικοποιητών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του, το PVC χάνει την ευκαμψία του όταν εκτεθεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100°C. Το χλώριο που περιέχεται στη χημική του σύσταση, κάνει το PVC αυτοσβενούμενο, εμποδίζοντας έτσι τη μετάδοση της φωτιάς κατά μήκος μιας ηλεκτρικής γραμμής.

Το πολυαιθυλένιο PE έχει εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες αλλά και καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία όμως εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και για το λόγο αυτό συστήνεται η χρήση του για θερμοκρασίες μέχρι 70 °C. Βελτιωμένη έκδοση αποτελεί το πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού XLPE, το οποίο είναι κατάλληλο για θερμοκρασίες έως και από -40 °C έως και 90 °C.

Από τα ελαστομερή, το αιθυλενοπροπυλένιο EPR, είναι το ελαστικό το οποίο χρησιμοποιείται συχνότερα ως μονωτικό υλικό στην κατασκευή αγωγών και καλωδίων. Είναι κατάλληλο για χρήση σε θερμοκρασίες από -50° C έως 90 °C.

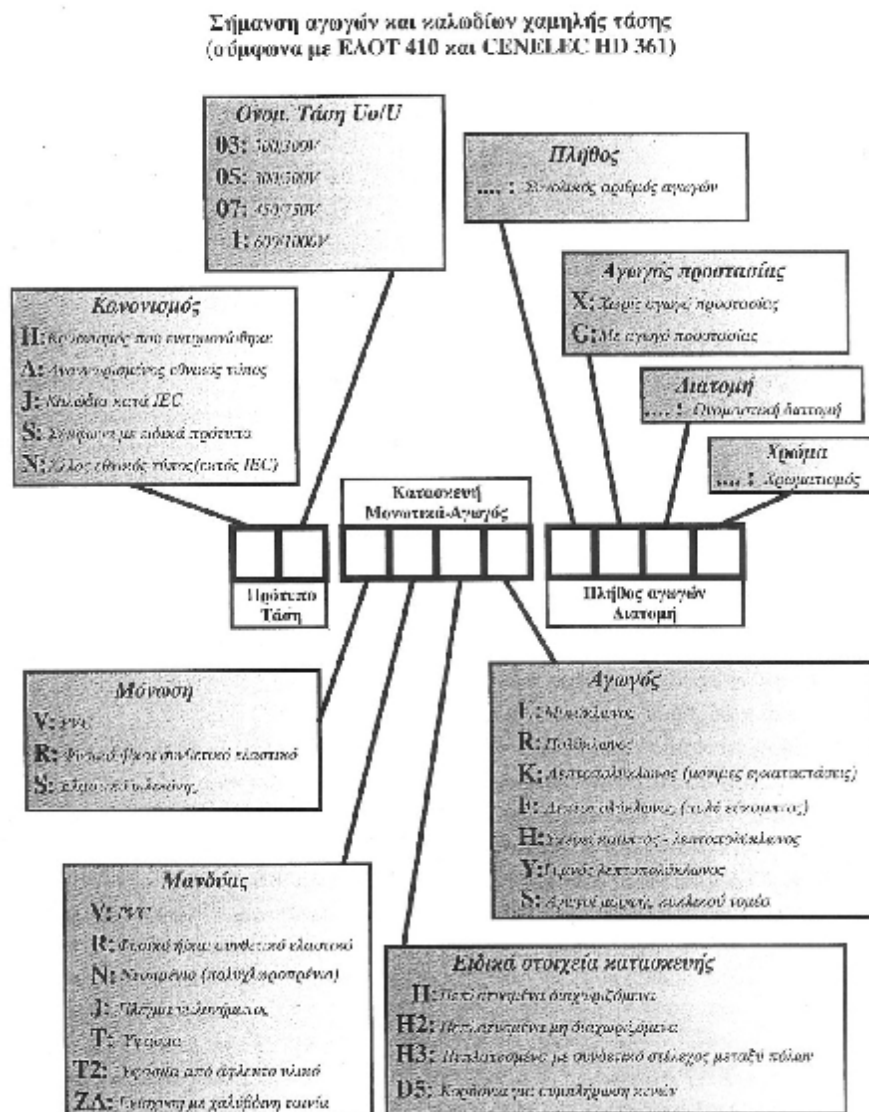
1.11.2 Χαρακτηρισμός των αγωγών και των καλωδίων

Η κατασκευή των αγωγών και των καλωδίων διέπεται από κανονισμούς και προδιαγραφές, κύριος φορέας έκδοσης των οποίων είναι η ηλεκτροτεχνική επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης CENELEC. Οι κανονισμοί αυτοί αναγνωρίζονται και υιοθετούνται από όλα τα μέλη της κοινότητας.

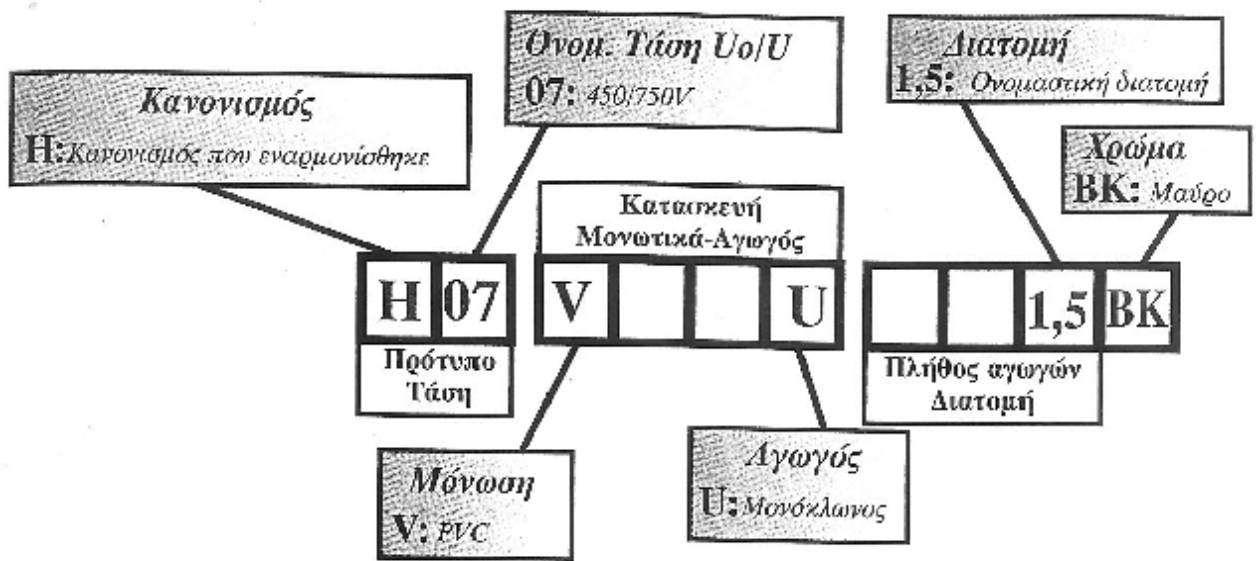
Οι αγωγοί και τα καλώδια που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά και ικανοποιούν αυτά τα πρότυπα, φέρουν τη σήμανση ΕΛΟΤ<HAR>. Η σήμανση ΕΛΟΤ<HAR> σημαίνει “εναρμονισμένος αγωγός ή καλώδιο κατά CENELEC”. Η ονομασία τους, θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τον κώδικα σήμανσης καλωδίων και αγωγών Χ.Τ. με βάση την CENELEC (HD 361 53 “Σύστημα για το χαρακτηρισμό καλωδίων”) και το πρότυπο ΕΛΟΤ 410.

Με βάση τα προαναφερθέντα πρότυπα, κάθε μονωμένος αγωγός ή καλώδιο έχει ως ονομασία ένα συνδυασμό γραμμάτων και αριθμών, που δηλώνουν τα χαρακτηριστικά του. Η ονομασία του καλωδίου, είναι τυπωμένη ανά διαστήματα πάνω στο μανδύα του μαζί με το χαρακτηρισμό ΕΛΟΤ<HAR> και ενδεχομένως και το όνομα του κατασκευαστή.

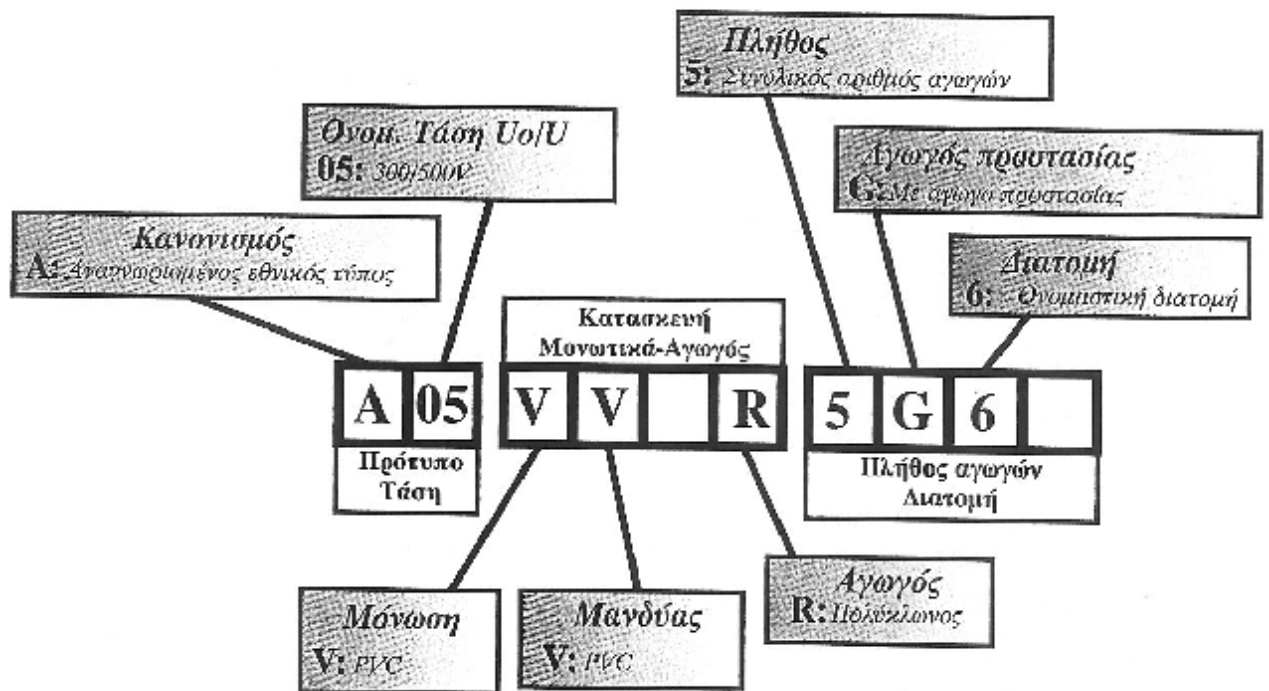
Στο σχήμα 1.13 φαίνεται η κωδικοποίηση σήμανσης των αγωγών και καλωδίων με βάση το CENELEC HD 361 και το ΕΛΟΤ 410.



Σχήμα 1.13 Σήμανση αγωγών και καλωδίων χαμηλής τάσης




Σχήμα 1.14 Παράδειγμα ονομασίας μονόκλωνου μονωμένου με PVC αγωγού, διατομής 1,5 mm² (παλαιά ονομασία NYA)



Σχήμα 1.15 Παράδειγμα ονομασίας πενταπολικού καλωδίου με αγωγό προστασίας και διατομή πολύκλωνων αγωγών 6 mm² με μόνωση αγωγών και μανδύα από PVC (παλαιά ονομασία NYM-J).

1.11.3 Συνήθεις τύποι αγωγών και καλωδίων Χ.Τ.

H07V, H05V (πρώην NYA κατά VDE 250)				
				
H05V-U (μονόκλωνος)	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗ	300/500V		
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:	Μονοπολικά μονόκλινα καλώδια με μόνωση PVC χωρίς μανδύα για εσωτερικές χρήσεις		
H07V-R (πολύκλωνος) H07V-U (μονόκλωνος)	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗ	450/750V		
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:	Μονοπολικά καλώδια με μόνωση PVC χωρίς μανδύα για γενικές χρήσεις		
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ: ΕΛΟΤ 5633, BS 6004, HD 21.3				
ΧΡΗΣΕΙΣ: Εγκατάσταση σε σωλήνες ορατούς ή εντοιχισμένους ή σε παρόμοια κλειστά συστήματα				
A/A	Περιγραφή	Βάρος [kg/km]	Διάμετρος [mm]	Ωμική αντίσταση (20°C) [Ω/km]
1	H05V-U 1x1	15	2,8	18,1
2	H07V-U 1x1,5	20	3,2	12,1
3	H07V-U 1x2,5	30	3,9	7,41
4	H07V-U 1x4	45	4,4	4,61
5	H07V-U 1x6	65	4,6	3,08
6	H07V-U 1x10	105	6,4	1,83
7	H07V-R 1x6	70	5,2	3,08
8	H07V-R 1x10	115	6,7	1,83
9	H07V-R 1x16	170	7,8	1,15
10	H07V-R 1x25	270	9,7	0,727
11	H07V-R 1x35	365	10,9	0,524
12	H07V-R 1x50	485	12,8	0,387
13	H07V-R 1x70	685	14,6	0,268
14	H07V-R 1x95	940	17	0,193

2.1 Γενικά

Με τον όρο ηλεκτρολογικό υλικό, εννοείται κάθε στοιχείο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή, το μετασχηματισμό, τη μεταφορά, τη διανομή ή τη χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Παραδείγματα τέτοιων στοιχείων αποτελούν οι μετασχηματιστές, τα όργανα προστασίας και ελέγχου, τα όργανα μέτρησης, τα υλικά των ηλεκτρικών γραμμών και οι ηλεκτρικές συσκευές (ΕΛΟΤ HD384 207.07.01).

Όλα τα ηλεκτρολογικά υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης, θα πρέπει να ικανοποιούν τις προδιαγραφές που ορίζονται από το αντίστοιχο πρότυπο του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (Ε.Λ.Ο.Τ.) ή από το αντίστοιχο Εναρμονισμένο Ευρωπαϊκό Πρότυπο (EN/HD).

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν Ελληνικά Πρότυπα τα οποία να προδιαγράφουν κάποιο ηλεκτρολογικό υλικό, θα πρέπει να ακολουθούνται τα αντίστοιχα διεθνή πρότυπα IEC και ISO που αναφέρονται στο υλικό αυτό (ΕΛΟΤ HD384 511.1).

Για την εκλογή του κατάλληλου υλικού, με βάση το άρθρο 512 του ΕΛΟΤ HD384, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες λειτουργίας (τάση, ρεύμα, συχνότητα, ισχύς, ρεύματα βραχυκυκλώματος, συμβατότητα υλικών) αλλά και οι εξωτερικές επιδράσεις.

Το ηλεκτρολογικό υλικό θα πρέπει:

- να είναι κατάλληλο για λειτουργία υπό τάση, ίση με την ενεργό - ενδεικνύμε- νη τιμή της τάσης που θα εφαρμοστεί στην ηλεκτρική εγκατάσταση, στην οποία πρόκειται να τοποθετηθεί.
- να μπορεί να αντέξει το μέγιστο ρεύμα κανονικής λειτουργίας του κυκλώματος της εγκατάστασης στο οποίο θα είναι συνδεδεσμένο.
- να μπορεί να αντέξει τα πιθανά ρεύματα υπερεντάσεων που μπορεί να εμφανιστούν, για χρονικό διάστημα ίσο με το προβλεπόμενο για την ενεργοποίηση των κατάλληλων διατάξεων προστασίας.
- η ονομαστική συχνότητα του υλικού να είναι σύμφωνη με αυτήν της τάσης που θα τροφοδοτήσει την εγκατάσταση στην οποία θα τοποθετηθεί.
- η ισχύς του υλικού λαμβάνοντας υπόψη και το συντελεστή ετεροχρονισμού, να είναι κατάλληλη για τις συνθήκες κανονικής λειτουργίας της εγκατάστασης.
- κατά την κανονική λειτουργία του, να μην προκαλεί κανενός είδους βλαπτικές επιδράσεις τόσο στα γειτονικά με αυτό εγκατεστημένα υλικά, όσο και στο σύνολο του συστήματος τροφοδοσίας του.

2.2 Πίνακες Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα από τα βασικά δομικά στοιχεία μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης, είναι ο πίνακας διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Θα μπορούσαμε συμβολικά να πούμε ότι αποτελεί το “στρατηγείο” της ηλεκτρικής εγκατάστασης, καθώς από τη δομή και τη σύνθεση του εξαρτώνται:

- ο έλεγχος όλων των κυκλωμάτων της εγκατάστασης
- η προστασία του χρήστη της εγκατάστασης

- η ασφάλεια των κυκλωμάτων
- η επιτήρηση ή και η υλοποίηση κυκλωμάτων αυτοματισμού

Αν προσπαθήσουμε να ταξινομήσουμε τους πίνακες σε κατηγορίες, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας πλήθος από παράγοντες όπως:

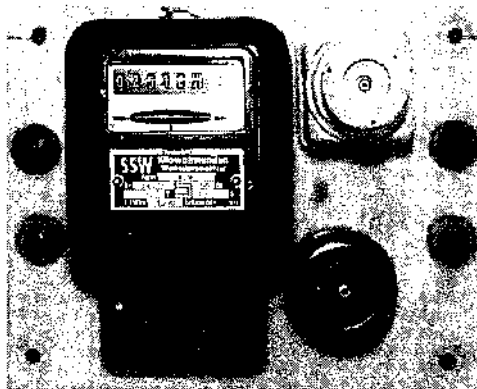
- τα χαρακτηριστικά της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας την οποία ο πίνακας θα διαχειρίζεται (ισχύς σε ΚνΑ, μονοφασική ή τριφασική παροχή, επίπεδα τιμών τάσης - ρεύματος κ.λπ.)
- το δίκτυο διανομής στο οποίο ο πίνακας θα τοποθετηθεί (δίκτυο Χ.Τ. ή Μ.Τ.)
- τη συγκεκριμένη λειτουργία που θα επιτελείται (διανομή, έλεγχος, επιτήρηση κ.λπ.)
- το χώρο εγκατάστασης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (βιομηχανία, οικία, επαγγελματικός χώρος, διαβρωτικό περιβάλλον, έντονη παρουσία υγρασίας ή σκόνης κ.λπ)

Από όλους τους προηγούμενους παράγοντες εξαρτάται η μορφή, το υλικό κατασκευής, η δομή και το μέγεθος ενός πίνακα διανομής.

2.2.1 Συνήθεις πίνακες διανομής

Οι πίνακες που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις κατοικιών, επαγγελματικών χώρων και γενικότερα σε κτιριακές εφαρμογές, είναι συνήθως εντοιχιζόμενοι. Σε πολλές όμως περιπτώσεις, όπου ο εντοιχισμός δεν είναι εφικτός ή πρόκειται για μετατροπή της αρχικής ηλεκτρικής εγκατάστασης, χρησιμοποιούνται οι εξωτερικοί επίτοιχοι πίνακες διανομής.

Οι πρόγονοι των πινάκων διανομής που χρησιμοποιούνται στις σημερινές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ήταν οι μαρμάρινοι πίνακες. Εκμεταλλευόμενος ο άνθρωπος τις μονωτικές ως



Σχήμα 2.1

Παλιός μαρμάρινος πίνακας διανομής, με μετρητή ενέργειας.

προς τον ηλεκτρισμό ιδιότητες του μάρμαρου, χρησιμοποίησε μια μαρμάρινη πλάκα πάνω στην οποία γινόταν η στήριξη του απαραίτητου ηλεκτρολογικού υλικού (διακόπτες, ασφάλειες, και σε πολλές περιπτώσεις μετρητές καθώς και διακόπτες φωτισμού).

Σήμερα τόσο οι εντοιχιζόμενοι όσο και οι εξωτερικοί πίνακες διανομής, είναι μεταλλικοί ή κατασκευασμένοι από αυτοσβενούμενο θερμοπλαστικό υλικό μεγάλης αντοχής.

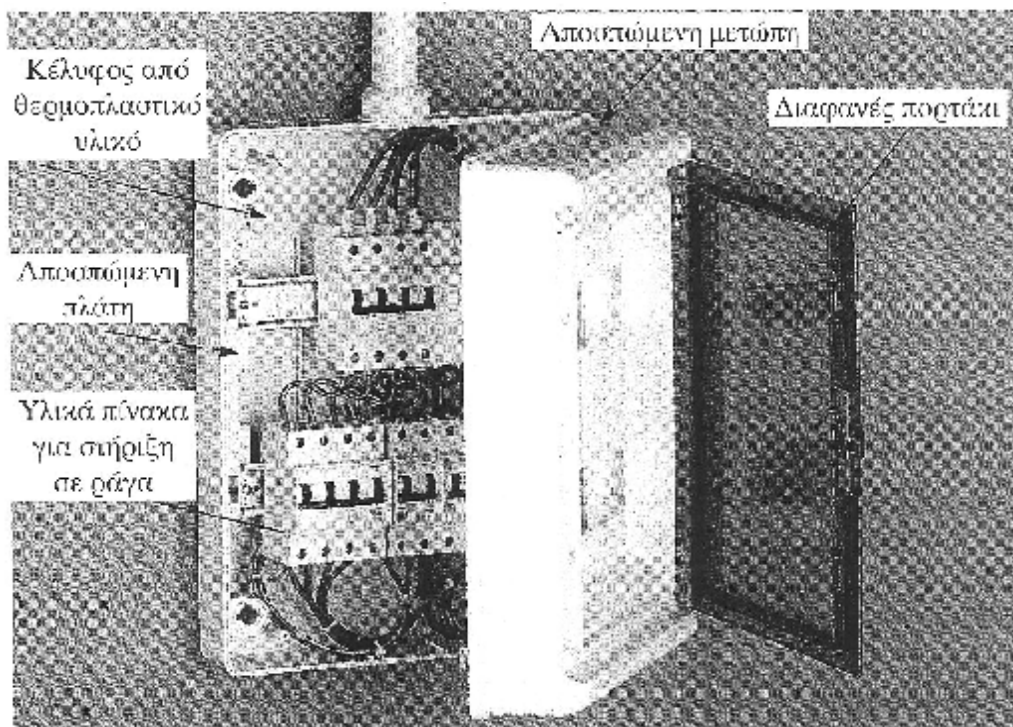
Τόσο οι μηχανικές όσο οι ηλεκτρικές ιδιότητες των πινάκων έχουν βελτιωθεί. Ειδικά οι πίνακες από αυτοσβενούμενο θερμοπλαστικό υλικό που κυκλοφορούν στο εμπόριο, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί στις υψηλές θερμοκρασίες (αντοχή σε φλόγα 960° C), και παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση από διάφορους, χημικούς παράγοντες όπως τα οξέα, το λάδι, το γράσο κ.λπ.

Ανάλογα με την εφαρμογή, προσδιορίζεται και ο απαιτούμενος βαθμός προστασίας IP του πίνακα. Οι συνήθεις πίνακες διανομής έχουν βαθμό προστασίας IP30, IP40, IP41 και IP65.

Ένας πίνακας διανομής, είτε αυτός είναι εντοιχιζόμενος είτε επίτοιχος, απο- τελείται από:

- το κιβώτιο του πίνακα με την πόρτα (εφόσον υπάρχει)
- την πλάτη του πίνακα όπου στερεώνονται τα απαιτούμενα
- τη μετώπη, η οποία καλύπτει τα υλικά που τοποθετήθηκαν στον πίνακα, αφήνοντας ελεύθερα μόνο τα σημεία χειρισμού τους

Στην πλάτη του πίνακα υπάρχουν στερεωμένες ράγες τυποποιημένης διατομής, πάνω στις οποίες γίνεται η τοποθέτηση (κούμπωμα) των υλικών. Το μήκος της ράγας είναι πολλαπλάσιο των 18 mm, που είναι το μέσο πλάτος ενός στοιχείου υλικών πίνακα για στήριξη σε ράγα που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Συνεπώς ένα από τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν το μέγεθος ενός πίνακα διανομής είναι οι σειρές τοποθέτησης των υλικών και το πλήθος υλικών που μπορούν να δεχτούν.



Σχήμα 2.2 Επίτοιχος πίνακας διανομής.

Στην περίπτωση που στον ίδιο πίνακα διανομής ή στο ίδιο ερμάριο ή κιβώτιο πρόκειται να εγκατασταθούν ηλεκτρολογικό υλικά τα οποία θα λειτουργούν υπο διαφορετικές συνθήκες κανονικής λειτουργίας (τροφοδοσία με διαφορετική τάση ή διαφορετικό τύπο ρεύματος), θα πρέπει να προβλέπεται διαχωρισμός (ξεχωριστά δαμερίσματα), μεταξύ των υλικών που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά κανονικής λειτουργίας (ΕΛΟΤ HD384 515.2).

Σε πολλές περιπτώσεις οι συνήθεις πίνακες διανομής Χ.Τ. που προορίζονται για τυποποιημένες εγκαταστάσεις, διατίθενται στο εμπόριο με τα απαραίτητα υλικά τοποθετημένα και καλωδιωμένα. Είναι αυτονόητο ότι για εγκαταστάσεις με μικρές έστω αποκλίσεις από τις τετριμμένες, ο πίνακας καλωδιώνεται κατόπιν παραγγελίας.

Κύρια πάντως επιδίωξη των εταιριών κατασκευής πινάκων διανομής, δεν είναι η διάθεση στο εμπόριο έτοιμων καλωδιωμένων πινάκων, αλλά η παραγωγή προϊόντων που να προσφέρουν:

- εργονομία και ευκολία κατά την εγκατάσταση και την καλωδίωση: (σημάδια για είσοδο-έξοδο καλωδίων, αφαιρούμενη πλάτη για εργασία στον πάγκο, τοποθέτηση μάρων ουδετέρου-γείωσης σε προσιτά σημεία, πόρτες που ανοίγουν είτε δεξιά είτε αριστερά κ.λπ.).
- κομψή σχεδίαση: με τις αυξανόμενες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, οι απαιτούμενες διαστάσεις του πίνακα μεγαλώνουν συνεχώς. Συνεπώς απαιτείται ποικιλία σχεδιασμών που να δίνουν τη δυνατότητα διακριτικής παρουσίας του σε κάθε χώρο.
- ανθεκτική κατασκευή: ιδιαίτερα για τους πίνακες που προορίζονται για βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή για εγκαταστάσεις σε περιβάλλοντα με ιδιαίτερες

απαιτήσεις.

2.2.2 Πίνακες τύπου «πεδίου»

Στις περιπτώσεις των βιομηχανικών και των μεγάλων κτιριακών εγκαταστάσεων όπου η απαιτούμενη ισχύς είναι μεγάλη, χρησιμοποιούνται οι πίνακες τύπου «πεδίου». Το όνομα τους οφείλεται στο ότι αποτελούνται από επιμέρους ξεχωριστές κυψέλες “τα πεδία”, σε καθένα από τα οποία επιτελούνται συγκεκριμένες λειτουργίες.

Από κατασκευαστικής απόψεως πρόκειται για μεταλλικές ντουλάπες, τοποθετημένες η μια δίπλα στην άλλη. Το σύνολο των πεδίων συνθέτει τον πίνακα. Όλα τα όργανα μέτρησης και επιτήρησης και τα σημεία χειρισμών, τοποθετούνται στην μπροστινή πλευρά του πίνακα.

Συνήθως η πίσω πλευρά είναι ανοικτή με σκοπό να είναι τα “πεδία” προσπελάσιμα και να διευκολύνονται οι εργασίες συντήρησης και επισκευής του πίνακα. *. Όταν αυτό δεν συμβαίνει, η μπροστινή πλευρά διαθέτει πόρτα για τον ίδιο σκοπό.

Οι πίνακες τύπου “πεδίου” προσφέρουν το πλεονέκτημα της εύκολης επέκτασης, καθώς αρκεί απλά να προσαρμοσθεί ένα ακόμα πεδίο με τον κατάλληλο εξοπλισμό στο πλάι του πίνακα. Για το λόγο αυτό τα πλαϊνά τμήματα των πεδίων πρέπει να είναι κατασκευασμένα από ανεξάρτητα φύλλα λαμαρίνας, τα οποία με ευκολία να μπορούν να αφαιρεθούν για να επιτευχθεί η επέκταση του πίνακα διανομής.

2.3 Ασφάλειες Τήξης

2.3.1 Δομή - Αρχή λειτουργίας

Μια συνηθισμένη ασφάλεια τήξης αποτελείται από ένα αγωγίμο στοιχείο, τοποθετημένο στο εσωτερικό ενός μονωτικού περιβλήματος (φυσίγγι), το οποίο είναι γεμισμένο με ειδικό άκαυστο υλικό σε μορφή σκόνης.

Ο σχεδιασμός του αγωγίμου στοιχείου, ο προσδιορισμός της μάζας του, αλλά και η επιλογή των υλικών κατασκευής, γίνονται με στόχο την επίτευξη των επιθυμητών ηλεκτρικών και θερμικών χαρακτηριστικών. Ουσιαστικά το αγωγίμο στοιχείο σε μια ασφάλεια τήξης αποτελεί την οδό διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η αναπτυσσόμενη θερμότητα πάνω στο αγωγίμο στοιχείο, εξαρτάται από την αντίσταση του αλλά και από το ρεύμα από το οποίο διαρρέετε. Η θερμότητα αυτή απορροφάται από το άκαυστο υλικό που περιβάλλει το αγωγίμο στοιχείο, μεταδίδεται στο μονωτικό περίβλημα (φυσίγγι) και τελικά διαχέεται προς το περιβάλλον.

Εκτός από την απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμότητας, το υλικό πλήρωσης του φυσίγγιου, χρησιμοποιείται και για τη σβέση του ηλεκτρικού τόξου που εμφανίζεται κατά το λιώσιμο του αγωγίμου στοιχείου της ασφάλειας τήξης.

Όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα από το οποίο διαρρέετε μια ασφάλεια τήξης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αναπτυσσόμενη πάνω στο αγωγίμο στοιχείο θερμότητα. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει αυτήν του σημείου τήξης του υλικού κατασκευής του αγωγίμου στοιχείου, τότε αυτό λιώνει και συνεπώς διακόπτεται η τροφοδοσία του κυκλώματος που ελέγχεται από τη συγκεκριμένη ασφάλεια.

Οι τηκτές ασφάλειες, αναγνωρίζονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384, ως μέσο προστασίας έναντι υπερεντάσεων (υπερφόρτισης και βραχυκυκλώματος) καθώς και ως μέσο απομόνωσης. Αντίθετα, δεν επιτρέπεται με βάση το πρότυπο, να χρησιμοποιούνται οι τηκτές ασφάλειες ως μέσο λειτουργικού χειρισμού μιας κατανάλωσης.

2.3.2 Χαρακτηριστικές λειτουργίες ασφαλειών τήξης

Το διάγραμμα χαρακτηριστικών λειτουργίας ρεύματος χρόνου, για κάποιο συγκεκριμένο τύπο ασφαλειών τήξης, αποτελείται από μια οικογένεια καμπύλων, οι οποίες παρουσιάζουν το χρόνο ενεργοποίησης της ασφάλειας τήξης, σαν συνάρτηση της τιμής της έντασης του ρεύματος από το οποίο αυτή διαρρέεται. Οι χαρακτηριστική λειτουργία μιας ασφάλειας τήξης είναι «αντιστρόφου χρόνου», που σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα υπερέντασης από το οποίο διαρρέεται, τόσο μικρότερος χρόνος απαιτείται για την ενεργοποίηση της (λιώσιμο του αγωγίμου στοιχείου).





Εξαιτίας των χαρακτηριστικών λειτουργία «αντιστρόφου χρόνου», οι ασφάλειες τήξης μπορούν να παρέχουν προστασία τόσο έναντι ρευμάτων υπερφόρτισης χαμηλής τιμής με αρκετή χρονική διάρκεια, όσο και έναντι ρευμάτων βραχυκύκλωσης υψηλής τιμής τα οποία τα διακόπτουν σχεδόν ακαριαία.

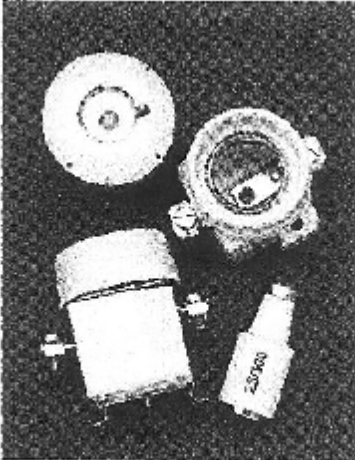
2.3.3 Ασφάλειες τύπου D (DIAZED)

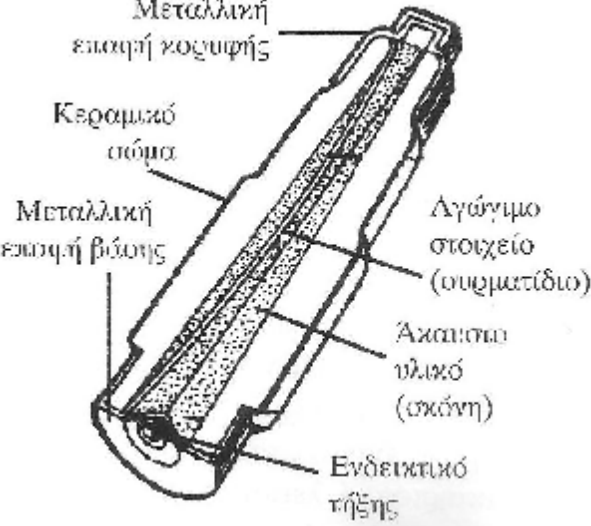
Οι ασφάλειες τύπου DIAZED είναι κατάλληλες για την προστασία κυκλωμάτων με ονομαστική τάση τροφοδοσίας έως και 500V, ενώ μπορεί να έχουν ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκύκλωσης έως και 7,5kA.

Διατίθενται με ονομαστικές εντάσεις από 2A έως 100A σε 4 διαφορετικά μεγέθη.

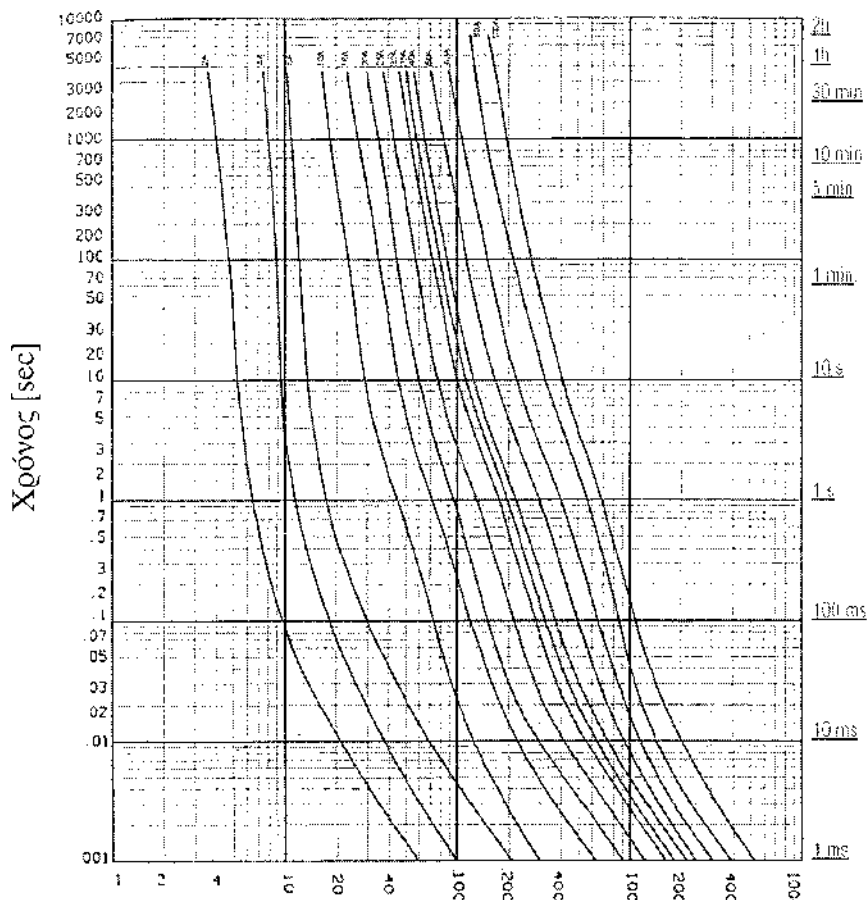
Πίνακας 2.1 Μεγέθη τηκτών ασφαλειών DIAZED

Μέγεθος		Ονομαστικό Ρεύμα [A]
D1		2
		4
		6
		10
		16
		20
DII		25
		2
		4
		6
		10
		16
DIII		20
		25
		35
		50
DIV		63
		80
		100





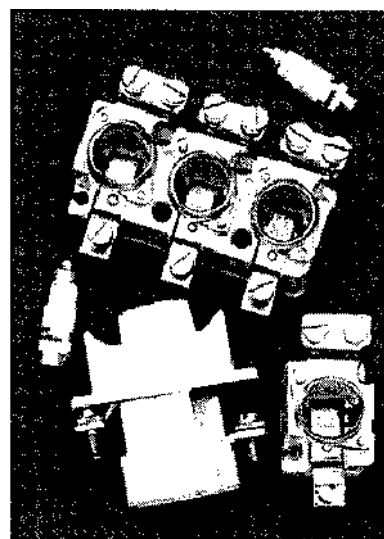
Οι χαρακτηριστικές λειτουργίες των ασφαλειών τύπου D(DIAZED) είναι gL και gG



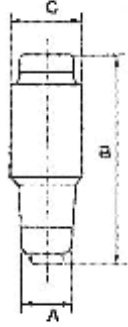
Σχήμα 2.4 Χαρακτηριστικές λειτουργίες ασφαλειών DIAZED 2 έως 100A.

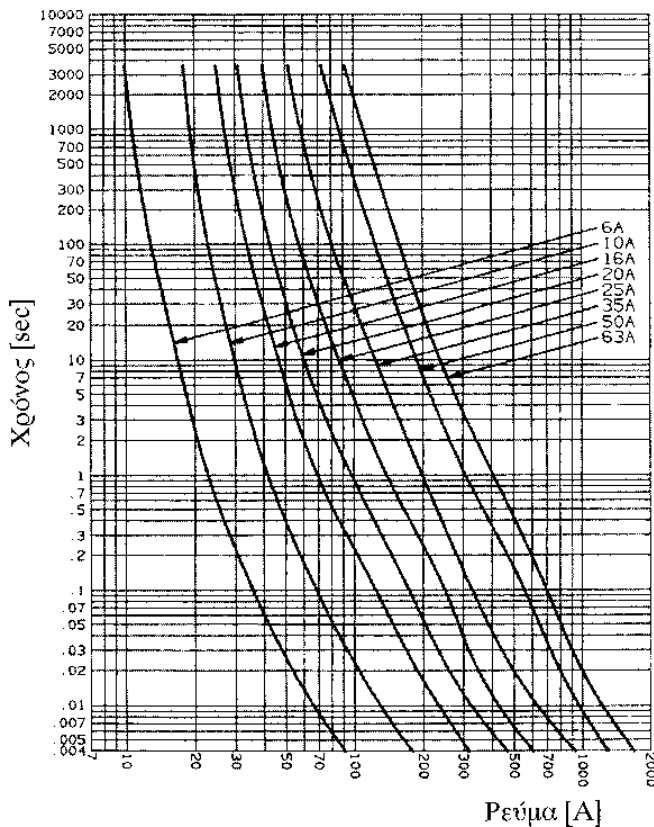
2.3.4 Τηκτές ασφάλειες τύπου DO (NEOZED)

Οι ασφάλειες τύπου DO (NEOZED) είναι κατάλληλες για χρήση σε κυκλώματα ονομαστικής τάσης τροφοδοσίας έως και 440V και έχουν ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκύκλωσης μέχρι και 100kA. Οι τηκτές ασφάλειες NEOZED διατίθενται για τιμές ονομαστικής έντασης από 2 έως 100A και σε τρία διαφορετικά μεγέθη σε συνάρτηση με την ονομαστική τους ένταση.



Πίνακας 2.2 Μεγέθη τηκτών ασφαλειών NEOZED

Διαστάσεις [mm]		Όνομαστική Ένταση [A]
	A=11 B=36 C=7	2
		4
		6
		10
		16
	A=11 B=36 C=7	20
		25
		35
		50
		63
	A=11 B=36 C=7	80
		100



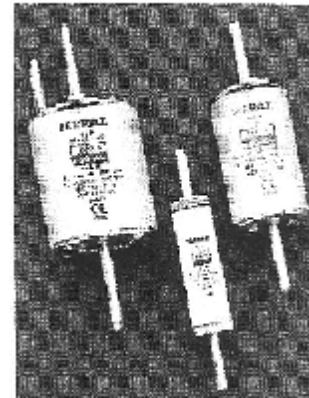
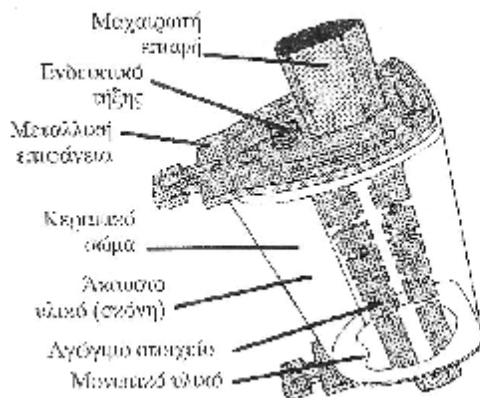
Σχήμα 2.5
Χαρακτηριστικές λειτουργίας
ασφαλειών NEOZED 6 έως 63A.

2.3.5 Μαχαιρωτές ασφάλειες NH

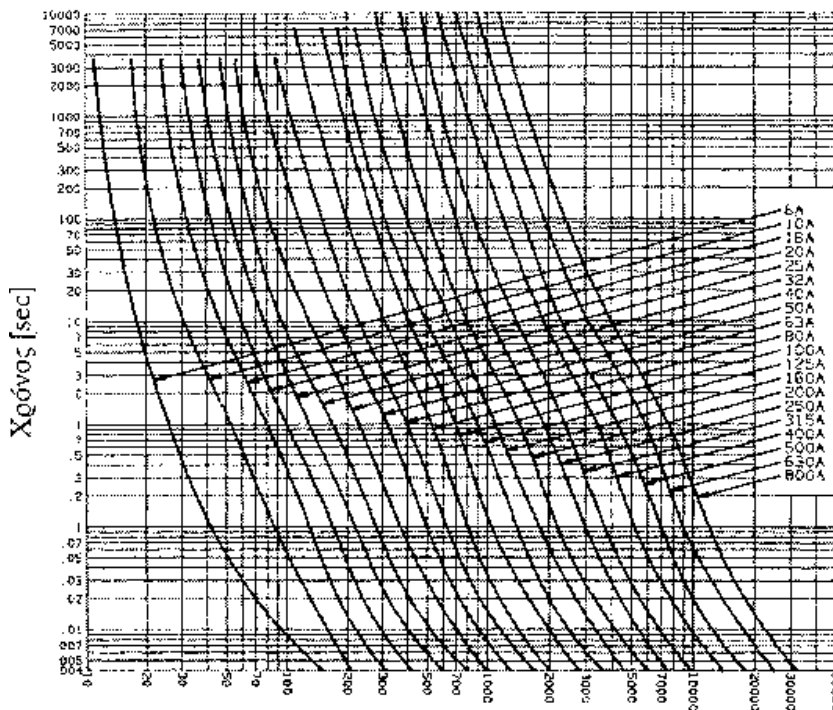
Οι μαχαιρωτές τηκτές ασφάλειες χαμηλής τάσης, διατίθενται συνήθως για ονομαστικές τάσεις λειτουργίας 500V και 690V και για ονομαστική ένταση από 40 έως και 1250A.

Οι ακροδέκτες των μαχαιρωτών τηκτών ασφαλειών έχουν τη μορφή λεπίδας και κουμπώνουν σε κατάλληλα διαμορφωμένες βάσεις. Η τοποθέτησή τους γίνεται με τη βοήθεια ειδικής για

αυτόν το σκοπό μονωτικής χειρολαβής. Οι χαρακτηριστικές λειτουργίας των μαχαιρωτών τηκτών ασφαλειών NH είναι κλάσης gL, gG,aM.



Σχήμα 2.6 Μαχαιρωτές Ασφάλειες



Σχήμα 2.7 Χαρακτηριστικές λειτουργίας μαχαιρωτών ασφαλειών NH ονομαστικής έντασης 6 έως 800A, κλάσης gL, gG.

2.4 Μικροαυτόματοι διακόπτες ισχύος

Οι συνηθέστερες ανεπιθύμητες καταστάσεις που επιβαρύνουν τα κυκλώματα μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης είναι η υπερφόρτιση και το βραχυκύκλωμα.

Στην περίπτωση υπερφόρτισης ενός κυκλώματος, το ρεύμα που διέρχεται από αυτό, έχει τιμή μεγαλύτερη από αυτήν για την οποία το κύκλωμα έχει σχεδιαστεί. Υπερφόρτιση μπορεί να προκληθεί από την κακή κατάσταση μιας συσκευής, ή από τη χρήση μιας συσκευής με ισχύ μεγαλύτερη από αυτήν που το κύκλωμα μπορεί να προσφέρει.

Βραχυκύκλωμα έχουμε στην περίπτωση της άμεσης επαφής δύο σημείων ενός κυκλώματος, που έχουν μεταξύ τους διαφορετικό δυναμικό (π.χ. επαφή της φάσεως με τον ουδέτερο στην περίπτωση μιας γραμμής τροφοδοσίας εναλλασσόμενου ρεύματος). Στο βραχυκύκλωμα το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα, φτάνει σε εξαιρετικά μεγάλες

τιμές.

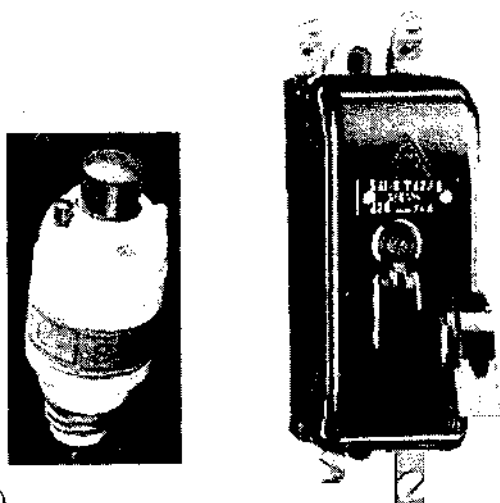
Τόσο το βραχυκύκλωμα όσο και η υπερφόρτιση είναι καταστάσεις που καταπονούν τα ηλεκτρικά κυκλώματα. Στην καλύτερη περίπτωση η συνέπεια αυτών των ανεπιθύμητων καταστάσεων, είναι η μείωση του χρόνου ζωής της εγκατάστασης. Επίσης είναι πιθανή η καταστροφή συσκευών ή μηχανημάτων, ενώ μπορεί να προκληθεί μέχρι και ολική καταστροφή της εγκατάστασης από πυρκαγιά λόγω υπερθέρμανσης.

Για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων και την προστασία των ηλεκτρικών γραμμών, το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384 «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις» επιβάλλει την τοποθέτηση σε κάθε κύκλωμα ενός ασφαλιστικού μέσου, το οποίο θα διακόψει την τροφοδοσία, στην περίπτωση που το ρεύμα ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο ανώτατο όριο.

Η προστασία των αγωγών από υπερεντάσεις μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διατάξεων που προστατεύουν από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα συγχρόνως, όπως για παράδειγμα από διακόπτες ισχύος (circuit breakers), που διαθέτουν και διάταξη προστασίας έναντι υπερφόρτισης (ΕΛΟΤ HD 384.432.1).

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι μικροαυτόματοι διακόπτες (MCB-Mini Circuit Breakers), οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι τόσο με θερμικό στοιχείο για την προστασία από υπερφορτίσεις όσο και με μαγνητικό στοιχείο για την προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων.

Η τηκτική ασφάλεια, αποτέλεσε για πολλά χρόνια το αποκλειστικό μέσο ασφάλισης κάθε ηλεκτρολογικού κυκλώματος.



Σχήμα 2.8

- α. Βιδωτή αυτόματη ασφάλεια με θερμικό και μαγνητικό στοιχείο για απευθείας τοποθέτηση στη θέση της τηκτικής ασφάλειας (1923).
- β. Μικροαυτόματος διακόπτης του 1928, με χαρακτηριστική λειτουργίας K, για προστασία κινητήρων.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας στον τομέα της κατασκευής ηλεκτρολογικού υλικού, έκαναν την εμφάνιση τους και οι μικροαυτόματοι διακόπτες. Η πρώτη βιδωτή αυτόματη ασφάλεια (πωματοαυτόματος) με θερμικό και μαγνητικό στοιχείο, κατασκευάστηκε το 1923 από τον Hugo Stotz, της BBC Stotz. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε από τον ίδιο το 1928 η πρώτη αυτόματη ασφάλεια προστασίας κινητήρων, χαρακτηριστικής K.

Σκοπός του μικροαυτόματου διακόπτη είναι η προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, καλωδίων και συσκευών, από υπερθέρμανση ή ακόμα και καταστροφή, στην περίπτωση υπερέντασης που οφείλεται σε υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα.

Αρχικά οι εφαρμογές τους περιορίζονταν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροκινητήρων. Με τη βελτίωση όμως των τεχνικών χαρακτηριστικών τους όπως και των διαστάσεων τους, χρησιμοποιούνται σήμερα σε μεγάλη κλίμακα, τόσο στις οικιακές όσο και στις βιομηχανικές-επαγγελματικές εγκαταστάσεις.

2.4.1 Δομή μικροαυτόματων διακοπών ισχύος

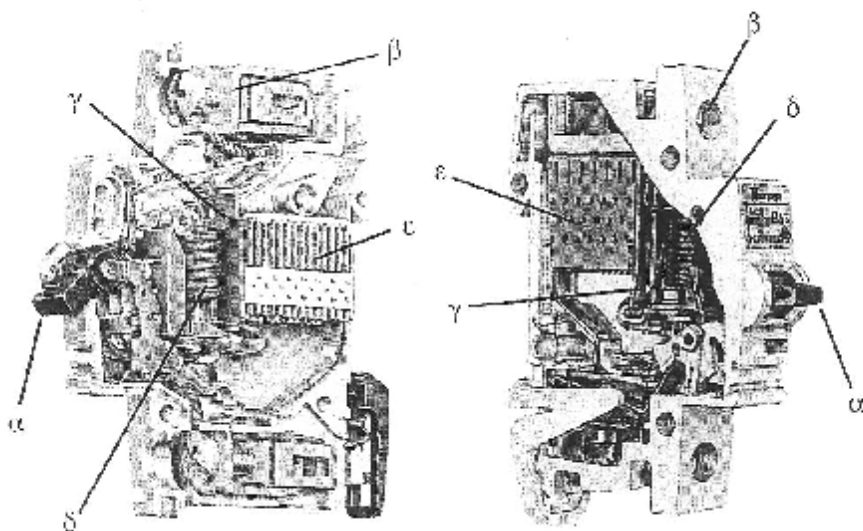
Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε μικροαυτόματου είναι η ονομαστική τιμή έντασης του ρεύματος και η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος -χρόνου που χαρακτηρίζει τη λειτουργία του.

Η ονομαστική τιμή έντασης του ρεύματος, καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή του ρεύματος μέχρι την οποία ο μικροαυτόματος δεν ενεργοποιείται.

Οι τυποποιημένες τιμές της ονομαστικής έντασης των μικροαυτόματων είναι: 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50 και 63A. Επίσης υπάρχουν μικροαυτόματοι με χαμηλότερη τιμή ονομαστικής έντασης, όπως: 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 1, 1.6, 2,3, 4, 6 και 8A οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές.

Κάθε μικροαυτόματος περιέχει ένα θερμικό και ένα μαγνητικό στοιχείο. Όταν το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι για κάποιο χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από την ονομαστική ένταση του μικροαυτόματου (υπερφόρτιση), ενεργοποιείται το θερμικό στοιχείο και προκαλεί την απόζευξη του μικροαυτόματου.

Στην περίπτωση βραχυκυκλώματος ενεργοποιείται το μαγνητικό στοιχείο και έχουμε ακαριαία απόζευξη του μικροαυτόματου. Οι μικροαυτόματοι είναι κατασκευασμένοι ώστε να μπορούν να διακόψουν πολύ μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης μέχρι και της τάξης των 25 kA.



Σχήμα 2.9

Δομή μικροαυτόματου διακόπτη ισχύος.

α. Μοχλός χειρισμού

β. Ακροδέκτες σύνδεσης

γ. Θερμικό στοιχείο

δ. Μαγνητικό στοιχείο

ε. Φλογοκρόπτη

2.4.2 Χαρακτηριστικές λειτουργίας μικροαυτόματων διακοπών ισχύος

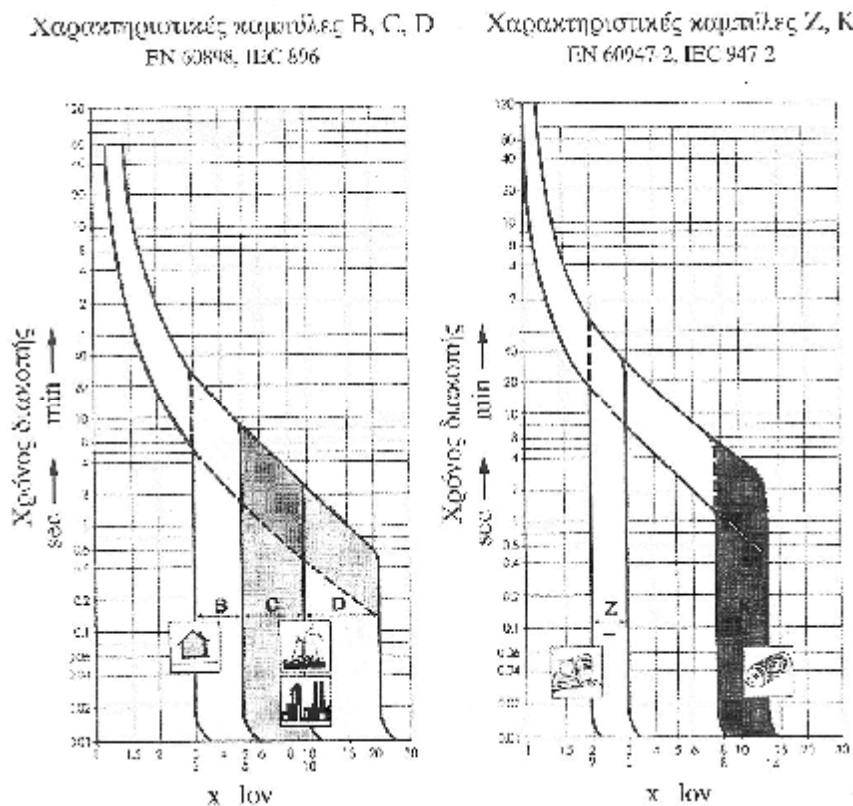
Η συμπεριφορά ενός μικροαυτόματου διακόπτη ισχύος, τόσο στην περίπτωση της υπερφόρτισης όσο και σε αυτήν του βραχυκυκλώματος, περιγράφεται από τις χαρακτηριστικές λειτουργίας ρεύματος χρόνου. Με βάση τα ισχύοντα πρότυπα, οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ρεύματος χρόνου των μικροαυτόματων διακοπών ισχύος είναι:

- Χαρακτηριστική Β (σύμφωνα με EN60898, IEC898 και VDE 0641 μέρος 11)

Πρόκειται για μικροαυτόματους που καλύπτουν ανάγκες προστασίας γραμμών διανομής κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ειδικότερα ωμικών φορτίων και γραμμών φωτισμού.

- Χαρακτηριστική C (σύμφωνα με EN60898, IEC898 και VDE 0641 μέρος 11)
Πρόκειται για μικροαυτόματους που καλύπτουν ανάγκες προστασίας γραμμών διανομής κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ειδικότερα κυκλώματα με ωμικά και ελαφρώς επαγωγικά φορτία.
- Χαρακτηριστική D (σύμφωνα με EN60898, IEC898 και VDE 0641 μέρος 11)
Πρόκειται για μικροαυτόματους που καλύπτουν ανάγκες προστασίας γραμμών διανομής κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ειδικότερα φορτία ισχυρά επαγωγικά και φορτία με υψηλά ρεύματα εκκίνησης.
- Χαρακτηριστική K (σύμφωνα με EN60947-2, IEC 947-2 και VDE 0660)
Οι μικροαυτόματοι με χαρακτηριστική λειτουργίας K είναι κατάλληλοι για την προστασία καλωδίων και εξοπλισμού. Εξαιτίας της αργής αντίδρασης του μαγνητικού στοιχείου, επιτυγχάνεται προστασία κυκλωμάτων τροφοδοσίας κινητήρων, λαμπτήρων χαμηλής τάσης, ηλεκτρονικών μπάλαστ, κλιματιστικών, μετασχηματιστών κ.λπ.
- Χαρακτηριστική Z (σύμφωνα με EN60947-2, IEC 947-2 και VDE 0660)

Οι μικροαυτόματοι με χαρακτηριστική λειτουργίας Z είναι κατάλληλοι για την προστασία διατάξεων ημιαγωγών και κυκλωμάτων μετασχηματισμού τάσης.



Σχήμα 2.10 Χαρακτηριστικές λειτουργίας μικροαυτόματων διακοπών ισχύος.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των μικροαυτόματων διακοπών ανάλογα με τη χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος χρόνου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3 Χαρακτηριστικά λειτουργίας μικροαυτόματων διακοπών (MCBs)

Χαρακτηριστικές λειτουργίας		Θερμικό στοιχείο			Ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο		
		Ρεύματα Ρεύμα μη ενεργοποίησης	δοκιμών Ρεύμα ενεργοποίησης	Χρόνος απόζευξης	Ρεύματα αντοχή μαγνητικού στοιχείου σε υπερένταση	δοκιμών Ελάχιστο σημείο Απόζευξης	Χρόνος απόζευξης
σύμφωνα με: EN60898 IEC898 C DIN VDE 0641 D μέρος 11	B	1.13 In	1.45 In	> 1h < 1 h	3 · In	5 · In	> 0.1s < 0.1 s
	C	1.13 In	1.45 In	> 1h < 1h	5-In	10 · In	> 0.1 s < 0.1 s
	D	1.13 In	1.45 In	> 1h < 1 h	10 · In	14 · In	> 0.1s < 0.1 s
σύμφωνα με: DIN VDE 0660 μέρος 101 EN 60 947 IEC 947-2	K	1.05 · In	1.2 · In	> 2h < 2 h	8 In	12 · In	> 0.2 s < 0.2 s
	Z	1.05 · In	1.2 · In	> 1h < 1 h			
		1.05 · In	1.2 · In	> 2h < 2 h	2-In	3 · In	> 0.2 s < 0.2 s

Πρέπει να αναφέρουμε ότι εκτός των κατηγοριών μικροαυτομάτων που αναφέρθηκαν, υπάρχουν και μικροαυτόματοι οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με μόνιμο μαγνήτη, ο οποίος σκοπό έχει την ταχύτερη σβέση του τόξου που αναπτύσσεται κατά τη ζεύξη ή την απόζευξη ενός φορτίου. Είναι συνεπώς σημαντικό, σε αυτού του τύπου τους μικροαυτόματους διακόπτες ισχύος, να γίνεται σωστή σύνδεση όσον αφορά στην πολικότητα και τη φορά ροής του ρεύματος. Η λειτουργία αυτών των μικροαυτομάτων χαρακτηρίζεται από τις χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος χρόνου B,C,K,Z.

Ο οριζόντιος άξονας σε μια χαρακτηριστική λειτουργίας ρεύματος χρόνου, είναι βαθμονομημένος σε πολλαπλάσια του ονομαστικού ρεύματος του μικροαυτο- ματου διακόπτη. Ο κατακόρυφος άξονας είναι βαθμονομημένος σε μονάδες χρόνου (δευτερόλεπτα-λεπτά).

Εξετάζοντας τη χαρακτηριστική B των μικροαυτόματων διακοπών (σχήμα 2.10), παρατηρούμε ότι για τιμή ρεύματος διπλάσια του ονομαστικού (υπερφόρτιση), ο

μικροαυτόματος θα αποζεύξει σε χρόνο περίπου 18 δευτερολέπτων.

Για ρεύμα μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του ονομαστικού (βραχυκύκλωμα), ο μικροαυτόματος θα αποζεύξει σε χρόνο μικρότερο από 0,018 δευτερόλεπτα. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ένα μικροαυτόματο με ονομαστική τιμή ρεύματος 10A, τότε αν το ρεύμα που τον διαρρέει είναι 20A, αυτός θα αποζεύξει σχεδόν σε 20 δευτερόλεπτα, ενώ αν το ρεύμα γίνει μεγαλύτερο από 30A, θα αποζεύξει σε χρόνο μικρότερο των 0,018 δευτερολέπτων.

Είναι προφανές ότι το σχεδόν κατακόρυφο τμήμα της χαρακτηριστικής λειτουργίας αντιστοιχεί σε διέγερση του μαγνητικού στοιχείου του μικροαυτόματου διακόπτη, ενώ το καμπυλόγραμμο τμήμα που δηλώνει μια πιο αργή μεταβολή, αντιστοιχεί σε διέγερση του θερμικού στοιχείου του μικροαυτόματου διακόπτη.

2.4.3 Επίδραση της συχνότητας στην ηλεκτρομαγνητική χαρακτηριστική

Οι τιμές απόζευξης της ηλεκτρομαγνητικής χαρακτηριστικής λειτουργίας ρεύματος χρόνου, ισχύουν για εναλλασσόμενα ρεύματα με συχνότητα 50..60Hz. Στην περίπτωση που οι τιμές της συχνότητας του ρεύματος δεν βρίσκονται μεταξύ των 50 έως 60 Hz, όπως επίσης και στην περίπτωση του συνεχούς ρεύματος, οι τιμές απόζευξης των χαρακτηριστικών λειτουργίας μεταβάλλονται με βάση τους συντελεστές μετατροπής που αναφέρονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4 Συντελεστές μετατροπής για συχνότητες διαφορετικές των 50 έως 60 Hz.

Συχνότητα	AC			DC
	100 Hz	200 Hz	400 Hz	
Συντελεστής μετατροπής	1.1	1.2	1.5	1.5

Οι τιμές των θερμικών χαρακτηριστικών λειτουργίας είναι ανεξάρτητες της συχνότητας.

2.4.4 Επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Οι θερμικές χαρακτηριστικές είναι βαθμονομημένες έχοντας ως αναφορά για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τους:

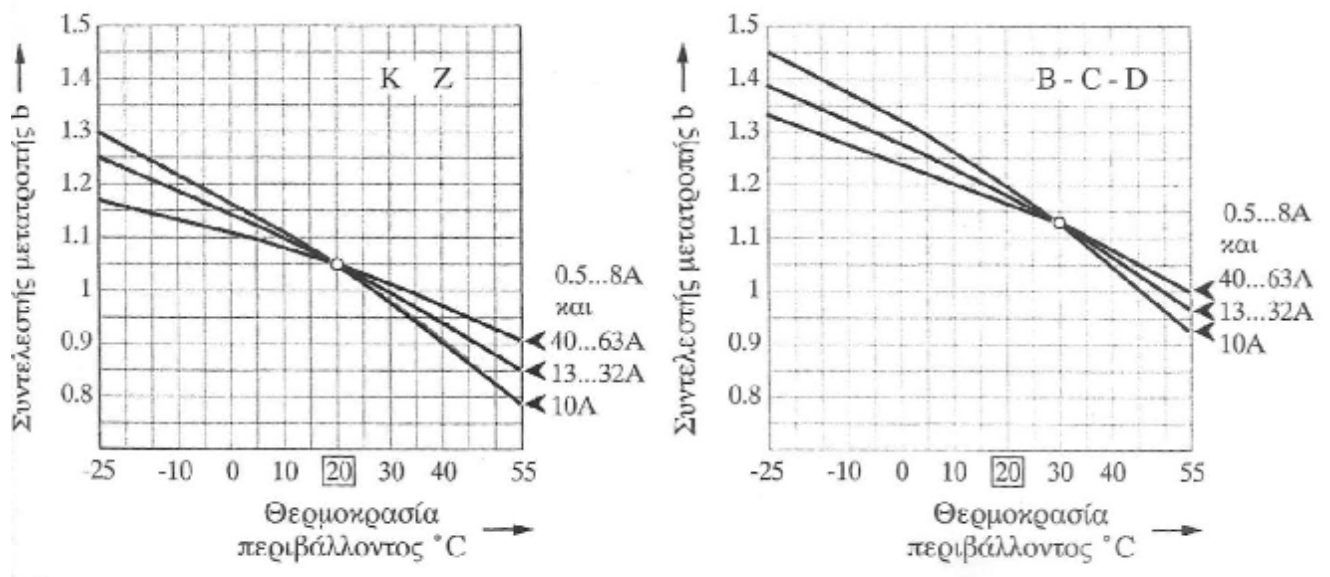
- 20 °C για χαρακτηριστικές λειτουργίας K και Z
- 30 ° C για χαρακτηριστικές λειτουργίας B, C και D.

Στην περίπτωση διαφορετικών θερμοκρασιών, οι τιμές απόζευξης των χαρακτηριστικών λειτουργίας:

- μειώνονται στην περίπτωση υψηλότερων θερμοκρασιών
- αυξάνονται στην περίπτωση χαμηλότερων θερμοκρασιών

Στο σχήμα 2.11 φαίνονται οι καμπύλες μεταβολής ενός συντελεστή b, ο οποίος εκφράζει

την επίδραση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος εγκατάστασης, στα ονομαστικά χαρακτηριστικά ενός μικροαυτόματου διακόπτη ισχύος. Ειδικότερα, πολλαπλασιάζοντας την ονομαστική τιμή της έντασης του μικροαυτόματου με τον κατάλληλο συντελεστή b όπως αυτός προκύπτει από τα διαγράμματα του σχήματος 2.11 και διαιρώντας με 1,13 για χαρακτηριστικές λειτουργίες B,C,D ή με 1,05 για χαρακτηριστικές K,Z, προκύπτει το νέο «ισοδύναμο» για την παρούσα θερμοκρασία ονομαστικό ρεύμα του μικροαυτόματου διακόπτη. Πρέπει να σημειωθεί ότι το νέο αυτό «ισοδύναμο» ρεύμα, χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά του μικροαυτόματου στην περίπτωση τροφοδότησης φορτίων για χρονικό διάστημα μικρότερο της μιας ώρας. Στην περίπτωση που ένα φορτίο τροφοδοτείται για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας ώρας, με συνθήκες θερμοκρασίας διαφορετικές από τις τιμές αναφοράς που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να ληφθεί επιπλέον υπόψη, συντελεστής μείωσης 0,9. Τόσο τα διαγράμματα επίδρασης της θερμοκρασίας, όσο και η διαδικασία υπολογισμού του «ισοδυνάμου» ονομαστικού ρεύματος, παρέχονται από τους κατασκευαστές των μικροαυτόματων διακοπών ισχύος.



Σχήμα 2.11 Διαγράμματα υπολογισμού του συντελεστή μετατροπής, για διάφορες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος χώρου εγκατάστασης ενός μικροαυτόματου διακόπτη ισχύος.

Οι τιμές των ηλεκτρομαγνητικών χαρακτηριστικών είναι ανεξάρτητες της θερμοκρασίας. Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα, ένα μικροαυτόματο διακόπτη με ονομαστική τιμή έντασης ρεύματος 16A με χαρακτηριστική λειτουργία ρεύματος χρόνου τύπου C, ο οποίος πρόκειται να εγκατασταθεί σε περιβάλλον με μέση θερμοκρασία 35 ° C. Από το σχετικό διάγραμμα του σχήματος 2.11, προκύπτει συντελεστής $b=1,1$. Άρα υπό τις παρούσες συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και για τροφοδότηση ενός φορτίου για χρονικό διάστημα μικρότερο της μιας ώρας, ως ονομαστικό ρεύμα του μικροαυτόματου διακόπτη θα πρέπει να θεωρηθούν τα $16 \times 1,1/1,13=15,58A$. Αν το φορτίο τροφοδοτηθεί για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας ώρας, ως ονομαστικό φορτίο του μικροαυτόματου θεωρούνται τα $15,58 \times 0,9=14A$.

2.4.5 Εγκατάσταση μικροαυτόματων διακοπών

Οι μικροαυτόματοι διακόπτες τοποθετούνται στον πίνακα διανομής της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Είναι σχεδιασμένοι για στήριξη σε ράγα τυποποιημένης διατομής EN 50 022 35 x 7.5 mm και έχουν συνήθως βαθμό προστασία για τυπικές εφαρμογές IP40.

Οι μικροαυτόματοι διακόπτες ισχύος για στήριξη σε ράγα, διακρίνονται σε μονοπολικούς ή τριπολικούς, ανάλογα με το αν προορίζονται για την προστασία μονοφασικού ή τριφασικού κυκλώματος τροφοδοσίας και οι διαστάσεις τους είναι τυποποιημένες, με πλάτος από 17,5 έως 18mm ανά στοιχείο ανάλογα με την κατασκευάστρια εταιρία.

Οι ακροδέκτες σύνδεσης των μικροαυτόματων, μπορούν να δεχθούν μονόκλινο αγωγό διατομής μέχρι και 25 mm². Επίσης στους ακροδέκτες σύνδεσης μπορούν να συνδεθούν περισσότεροι του ενός και διαφορετικών διατομών αγωγοί, καθώς και μπάρα σύνδεσης.

2.4.6 Παρελκόμενες διατάξεις

Οι σύγχρονοι μικροαυτόματοι παρέχουν τη δυνατότητα της συνδυασμένης λειτουργίας με άλλες διατάξεις που μανδαλώνονται στο πλάι τους, όπως:

- διάταξη βοηθητικής επαφής, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διακοπή του ουδετέρου ή σαν μια ανοικτή επαφή για τη σήμανση της θέσεως του μικροαυτόματου.
- διάταξη επαφής σήμανσης, στην οποία εμφανίζεται ένδειξη στην περίπτωση που έχουμε απόζευξη λόγω υπερφόρτισης, διαρροής προς τη γη ή βραχυκυκλώματος, όχι όμως και στην περίπτωση χειροκίνητης απόζευξης του διακόπτη.
- διάταξη πηνίου έλλειψης τάσης, η οποία προκαλεί απόζευξη σε περίπτωση έλλειψης τάσης και επιτρέπει τη ζεύξη του μικροαυτόματου μόνο μετά την αποκατάσταση της τροφοδοσίας.
- διάταξη πηνίου εργασίας, για την εξ αποστάσεως απόζευξη του μικροαυτόματου με τη χρήση βοηθητικής τάσης.

2.5 Διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος - Διακόπτες Διαρροής Έντασης (Δ.Α.Ε)

2.5.1 Γενικά

Σκοπός των διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος, είναι η προστασία ανθρώπων και ζώων από ηλεκτροπληξία.

«Ως διάταξη προστασίας διαφορικού ρεύματος ορίζεται μια μηχανική συσκευή διακοπής (ή ο συνδυασμός συσκευών), που έχει σαν προορισμό το άνοιγμα των επαφών, όταν το διαφορικό ρεύμα φτάσει ή υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή υπό προδιαγεγραμμένες συνθήκες» (ΕΛΟΤ HD384 531.2).

«Διαφορικό ρεύμα είναι το αλγεβρικό άθροισμα των στιγμιαίων τιμών των ρευμάτων που διαρρέουν όλους τους ενεργούς αγωγούς ενός κυκλώματος σε ένα σημείο της ηλεκτρικής εγκατάστασης» (ΕΛΟΤ HD384 202.03.09).

Ο διακόπτης διαρροής έντασης (Δ.Δ.Ε.) ή ρελέ διαρροής όπως συνηθίζουν να τον αποκαλούν οι τεχνικοί, αποτελεί και αυτός μια διάταξη προστασίας διαφορικού

ρεύματος όπου όλες οι απαραίτητες λειτουργίες είναι ενσωματωμένες και επιτελούνται σε μια συσκευή, η οποία είναι κατάλληλη για στήριξη σε ράγα τυποποιημένης διατομής ή στην πλάτη του πίνακα διανομής της εγκατάστασης.

Σύμφωνα με την παράγραφο 412.5.1. του ΕΛΟΤ HD384, μια διάταξη προστασίας διαφορικού ρεύματος με ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας $I_{\Delta N}$ μικρότερο έως ίσο με 30mA, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διάταξη προστασίας έναντι της άμεσης επαφής, της περίπτωσης δηλαδή που υπάρξει απευθείας επαφή με ένα ενεργό μέρος (π.χ. αγωγός φάσης) μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος (διακοπών Δ.Δ.Ε.), δεν αποτελεί από μόνη της μέτρο πλήρους προστασίας έναντι της άμεσης επαφής, ούτε και μπορεί να υποκαταστήσει την εγκατάσταση των υπόλοιπων προβλεπόμενων μέτρων για προστασία έναντι άμεσης επαφής (ΕΛΟΤ HD384.412.5.2).

Οι διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος αναγνωρίζονται από το ΕΛΟΤ HD384 ως διατάξεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή του μέτρου της «αυτόματης διακοπής της τροφοδότησης» για προστασία έναντι έμμεσης επαφής (παράγραφοι 413.1.3.3. για το σύστημα TN, 413.1.4.2. για το σύστημα TT και 413.1.5.2. για το IT), με τους περιορισμούς βέβαια και τις προϋποθέσεις που θέτει σε κάθε περίπτωση το εφαρμοζόμενο σύστημα σύνδεσης των γειώσεων.

Τόσο στην περίπτωση της «ουδετέρωσης» (σύστημα TN-S με γειωμένο ουδέτερο), όσο και στην περίπτωση της άμεσης γείωσης (σύστημα TT), είναι δυνατή η εγκατάσταση διακόπτη διαρροής έντασης.

Όμως στα τμήματα μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης TN-C όπου χρησιμοποιείται αγωγός PEN (δεν έχει γίνει δηλαδή διαχωρισμός των λειτουργιών του ουδέτερου αγωγού N και του αγωγού προστασίας PE), δεν επιτρέπεται η εγκατάσταση στην αναχώρηση των γραμμών τροφοδοσίας διατάξεων διαφορικού ρεύματος (διακοπών διαρροής έντασης Δ.Δ.Ε.), ως πρόσθετο μέτρο προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας από άμεση επαφή (ΕΛΟΤ HD384.413.1.3.2). Γενικά το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TN-C δεν εφαρμόζεται (στην Ελλάδα τουλάχιστον) στις περιπτώσεις εγκαταστάσεων που τροφοδοτούνται από το δημόσιο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό βέβαια δεν αποκλείει την περίπτωση, κατ' εξαίρεση σε ειδικές εκτεταμένες κτιριακές εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος και με την άδεια του διανομέα ηλεκτρικής ενέργειας, της υλοποίησης συστήματος TN-C σε ένα τμήμα στην αρχή μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης. Με βάση αυτό το γεγονός, δεν θα πρέπει να γίνεται άκριτα και σε κάθε περίπτωση, εγκατάσταση διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος, εάν πρώτα δεν εξασφαλισθούν οι προϋποθέσεις που το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων επιβάλλει.

Παρατήρηση: Η εγκατάσταση διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος είναι υποχρεωτική σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384, για τα κυκλώματα που εκτείνονται στο εξωτερικό ενός κτιρίου, για τις γραμμές τροφοδοσίας ρευματοδοτών σε χώρους λουτρών και πισινών, για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε κατασκηνώσεις (κάμπινγκ), μαρίνες, εργοτάξια, πρόχειρες εγκαταστάσεις εκθέσεων και εκδηλώσεων και για τις αγροτικές εγκαταστάσεις.

Γενικότερη απαίτηση από τις διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος, είναι να μην προκαλούν άστοχες αποξεύξεις και να μην επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Οι δυο αυτές απαιτήσεις θεωρείται ότι ικανοποιούνται από τις διατάξεις που είναι σύμφωνες με τα γενικά πρότυπα IEC61008 (residual current circuit breakers) και IEC61009 (residual current devices) και με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 60947-2 για τους τύπους χωρίς χρονική καθυστέρηση (ΕΛΟΤ HD384 531.2.1.3.).

Η πρώτη διάταξη για προστασία από ηλεκτροπληξία, η αρχή λειτουργίας της οποίας βασίστηκε στη διαρροή ρεύματος προς τη γη, κατασκευάστηκε το 1928. Η εγκατάσταση της όμως δημιούργησε άλλα, δυσεπίλυτα για εκείνη την εποχή προβλήματα, με

αποτέλεσμα η χρήση της να είναι περιορισμένη. Το 1958 οι διακόπτες διαρροής έντασης συμπεριλήφθηκαν στους κανονισμούς VDE 0100 για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, σαν μέτρο προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας. Τη δεκαετία του '60 άρχισε η μαζική παραγωγή διακοπών διαρροής, που ανίχνευαν ρεύμα διαρροής προς τη γη, της τάξεως των 30mA.

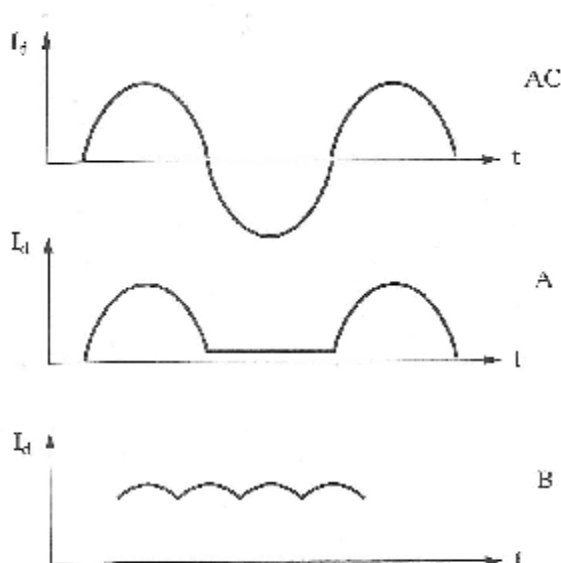
Οι διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος, βρίσκουν εφαρμογή τόσο σε οικιακές όσο και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

2.5.2 Τύποι διατάξεων διαφορικού ρεύματος

Αρχικά οι εφαρμογές των διατάξεων διαφορικού ρεύματος, περιορίζονταν στα ημιτονικά εναλλασσόμενα ρεύματα (π.χ. το δίκτυο τροφοδοσίας της Δ.Ε.Η.). Με τη χρήση όμως συσκευών που περιέχουν ημιαγωγούς (π.χ. ηλεκτρονικοί ρυθμιστές της έντασης φωτισμού, διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος κ.λπ.), δημιουργούνται πολλές φορές ανεπιθύμητα ρεύματα σε ένα κύκλωμα, που μπορεί να προκαλέσουν τη χωρίς λόγο απόζευξη του διακόπτη διαρροής. Για το λόγο αυτό, με βάση τα πρότυπα IEC61008 (residual current circuit breakers) και IEC61009 (residual current devices), IEC60947-2 και IEC 60755, έχουν οριστεί τρεις τύποι διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος:

- ο τύπος AC, για ημιτονικά εναλλασσόμενα ρεύματα
- ο τύπος A, για ημιτονικά ρεύματα ή παλμικά συνεχή ρεύματα και παλμικά συνεχή ρεύματα με συνεχή συνιστώσα μέχρι 0,006 A
- ο τύπος B, για ρεύματα ίδια με τον τύπο A και επιπλέον για ανορθωμένα ρεύματα που προκύπτουν είτε από κύκλωμα ημιανόρθωσης με χωρητικό φίλτρο εξομάλυνσης το οποίο δημιουργεί μια συνεχή συνιστώσα, ή από κυκλώματα πλήρους ανόρθωσης.

Οι διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος θα πρέπει στην περίπτωση εμφάνισης σφάλματος, να διακόπτουν όλους του ενεργούς αγωγούς του κυκλώματος (ΕΛΟΤ HD384 531.2.1.1.).



Σχήμα 2.12

Μορφή ρευμάτων για τους τύπους AC, A και B των διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος

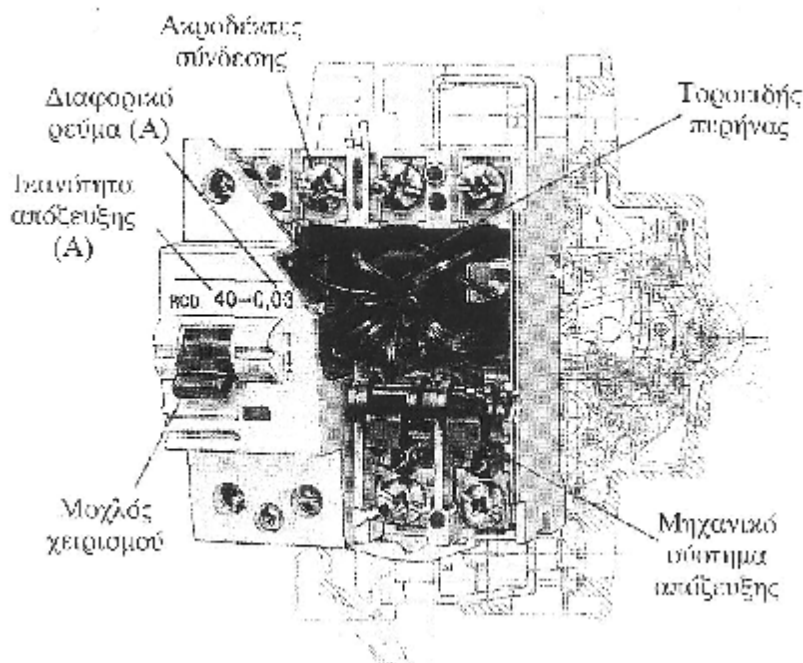
2.5.3 Δομή και αρχή λειτουργίας

Κάθε διάταξη διαφορικού ρεύματος αποτελείται από δύο βασικά δομικά στοιχεία:

- Τον αισθητήρα, ο οποίος παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα στην περίπτωση όπου το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων που διαρρέουν τους ενεργούς αγωγούς είναι διάφορο του μηδενός. Συνήθως σαν αισθητήρας χρησιμοποιείται ο τορροειδής μετασχηματιστής και σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις (κυρίως στη μέση και υψηλή και πολύ σπάνια στη χαμηλή τάση), χρησιμοποιείται μετασχηματιστής ρεύματος.
- Τον ηλεκτρονόμο μέτρησης, ο οποίος συγκρίνει το σήμα που στέλνεται από τον αισθητήρα, με μια προκαθορισμένη τιμή για το διαφορικό ρεύμα και στέλνει την εντολή στο σύστημα απόζευξης (διακόπτη, διακόπτη ισχύος κ.λπ.)

Η αρχή λειτουργίας των διατάξεων διαφορικού ρεύματος, βασίζεται στη συνεχή σύγκριση του συνολικού ρεύματος εισόδου με αυτό της εξόδου ενός κυκλώματος, στην αρχή του οποίου έχει εγκατασταθεί η διάταξη. Με άλλα λόγια, η διάταξη διαφορικού ρεύματος ελέγχει συνεχώς τη διαφορά μεταξύ των δύο αυτών ρευμάτων.

Χαρακτηριστική περίπτωση διάταξης διαφορικού ρεύματος που χρησιμοποιεί τορροειδή μετασχηματιστή και που στο ίδιο περίβλημα περιλαμβάνεται και το μέσο απόζευξης, είναι ο διακόπτης διαρροής έντασης (Δ.Δ.Ε.), για οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές.



Σχήμα 2.13 Τετραπολικός διακόπτης διαρροής έντασης για στήριξη σε ράγα.

Οι διακόπτες διαρροής έντασης είναι διπολικοί ($L_p N$) για εγκατάσταση σε μονοφασικό δίκτυο και τετραπολικοί ($L_p L_2, L_3, N$) για εγκατάσταση σε τριφασικό δίκτυο.

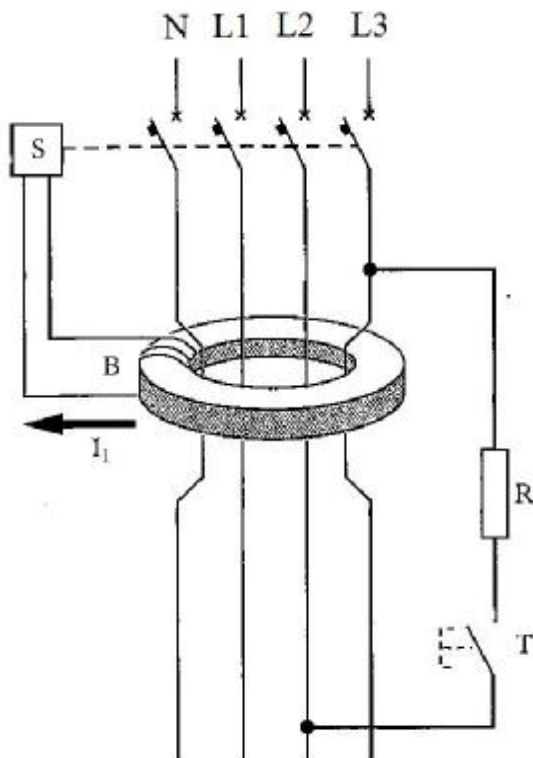
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση του μονοφασικού δικτύου, ο διακόπτης αντιλαμβάνεται σαν ρεύμα εισόδου στο κύκλωμα το ρεύμα της φάσης και σαν ρεύμα εξόδου, το ρεύμα του ουδετέρου. Στην περίπτωση του τριφασικού δικτύου, ο διακόπτης αντιλαμβάνεται σαν ρεύμα εισόδου στο κύκλωμα, το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων και σαν ρεύμα εξόδου, το ρεύμα του ουδετέρου.

Ο διακόπτης διαρροής έντασης περιέχει ένα δακτυλιοειδή πυρήνα (τορροειδής πυρήνας),

πάνω στον οποίο τυλίγονται οι αγωγοί των φάσεων και ο αγωγός του ουδετέρου (σχήμα 2.14). Στον πυρήνα είναι επίσης περιελιγμένος και ένας αγωγός (B), στα άκρα του οποίου είναι συνδεδεμένο το πηνίο (S) ενός ηλεκτρονόμου (ρελέ).

Όταν τα δύο ρεύματα (φάσεων και ουδετέρου) είναι ίσα μεταξύ τους, οι μαγνητικές ροές που δημιουργούνται από αυτά μέσα στον πυρήνα είναι ίσες, αντίθετες και αλληλοεξουδετερώνονται. Στη περίπτωση όμως που έχουμε διαρροή ρεύματος προς τη γη (π.χ. μέσω του ανθρώπινου σώματος), το ρεύμα του ουδετέρου είναι μικρότερο από το ρεύμα της φάσης. Τότε, η διαφορά των μαγνητικών ροών στο εσωτερικό του πυρήνα δεν είναι μηδέν, με αποτέλεσμα να επάγεται τάση στα άκρα του τυλίγματος (B). Όταν μια προκαθορισμένη τιμή του ρεύματος διαρροής ξεπεραστεί, η επαγόμενη αυτή τάση σπλίζει το πηνίο (S) του ηλεκτρονόμου, οι επαφές του οποίου διακόπτουν την τροφοδοσία του κυκλώματος.

Κάθε διακόπτης διαρροής είναι εφοδιασμένος με ένα μπουτόν ελέγχου (T), για να ελέγχεται περιοδικά η ικανότητα του διακόπτη να σταματά την τροφοδοσία του κυκλώματος, στην περίπτωση διαρροής ρεύματος προς τη γη.



Σχήμα 2.14

Εσωτερική δομή του διακόπτη διαρροής έντασης.

N: Ουδέτερος αγωγός

L1, L2, L3: Αγωγοί φάσεων

B: Περιελιγμένος αγωγός στον πυρήνα

T: Μπουτόν ελέγχου

R: Ωμική αντίσταση

S: Πηνίο ηλεκτρονόμου

Ø Παρατήρηση: Εάν ο κατασκευαστής δεν ορίζει χρονικά διαστήματα κατά τα οποία θα πρέπει να γίνεται έλεγχος της λειτουργίας της διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος, τότε ο έλεγχος θα πρέπει να εκτελείται ανά εξάμηνο (ΕΛΟΤ HD384 531.2.1.5.).

Ο έλεγχος γίνεται πιέζοντας το μπουτόν test και εφόσον ο διακόπτης βρίσκεται υπό τάση. Ουσιαστικά πιέζοντας το μπουτόν ελέγχου, παίρνουμε μια μικρή ποσότητα ρεύματος μέσω μια ωμικής αντίστασης (R) χωρίς να της επιτρέπουμε να περάσει μέσω του ουδετέρου από τον τορροειδή πυρήνα. Δημιουργούμε δηλαδή μια κατάσταση τεχνητής διαρροής. Σε κάθε τέτοια περίπτωση δοκιμής, πρέπει να έχουμε απόζευξη του διακόπτη. Εάν αυτό δεν συμβεί, σημαίνει ότι ο διακόπτης δεν λειτουργεί σωστά και συνεπώς δεν μας προστατεύει από τον κίνδυνο της ηλεκτροπληξίας

Για την περίπτωση όπου τη διάταξη προστασίας διαφορικού ρεύματος τη συνθέτουν επιμέρους συσκευές, μέσα από τον τοροειδή πυρήνα ή το μαγνητικό δακτύλιο γενικότερα, δε θα πρέπει να περνά ο αγωγός προστασίας. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις όμως που δεν γίνεται διαφορετικά, όπως για παράδειγμα όταν οι ενεργοί αγωγοί και ο αγωγός προστασίας ανήκουν στο ίδιο πολυπολικό καλώδιο, τότε ο αγωγός προστασίας θα πρέπει να περάσει από τον πυρήνα άλλη μια φορά με αντίθετη κατεύθυνση (ΕΛΟΤ HD384 531.2.1.6.).

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των διατάξεων διαρροής έντασης, είναι το όριο του διαφορικού ρεύματος $I_{\Delta N}$, το οποίο καθορίζει και την ευαισθησία της διάταξης. Οι τυποποιημένες τιμές του ρεύματος $I_{\Delta N}$ στους διακόπτες διαρροής έντασης με βάση τα πρότυπα IEC είναι: 6, 10, 30mA (υψηλής ευαισθησίας), 100, 300 και 500 mA (μέσης ευαισθησίας) και 1, 3, 5, 10A (χαμηλής ευαισθησίας).

Καθοριστικό τεχνικό χαρακτηριστικό ενός διακόπτη διαρροής έντασης (Δ.Δ.Ε.), είναι και το ονομαστικό ρεύμα των επαφών του. Οι τυποποιημένες τιμές αυτών των ρευμάτων είναι: 16, 25, 40, 63, 80, 100, 125, 160, και 224 A.

Η σωστή λειτουργία των διατάξεων διαρροής έντασης εξαρτάται άμεσα από την καλή κατάσταση της γείωσης της εγκατάστασης. Για ένα διακόπτη με όριο ευαισθησίας στο ρεύμα διαρροής $I_{\Delta N}=30 \text{ mA}$, η αντίσταση γείωσης θα πρέπει να έχει μια μέγιστη τιμή $R_Y=50\text{V}/30\text{mA}= 1.666 \Omega$. Αντίστοιχα αν η ευαισθησία είναι 100mA, η μέγιστη αντίσταση γείωσης πρέπει να είναι 500Ω. Σε αντίθετη περίπτωση η συμπεριφορά του διακόπτη είναι επισφαλής.

Με βάση το πρότυπο IEC60479, η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος που εμφανίζεται για έκθεση σε δυναμικό 230V, είναι 1000Ω για το 95% του ανθρώπινου πληθυσμού. Συνεπώς μέσα από το ανθρώπινο σώμα θα υπάρξει ροή ρεύματος 0,23A. Άρα μια διάταξη διαρροής ρεύματος με ευαισθησία 30mA παρέχει ικανοποιητική ασφάλεια. Η χρήση Δ.Δ.Ε. με ευαισθησία 5 και 10mA δεν σημαίνει αύξηση της παρεχόμενης ασφάλειας, αλλά μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να προκαλεί άσκοπη απόξευξη.

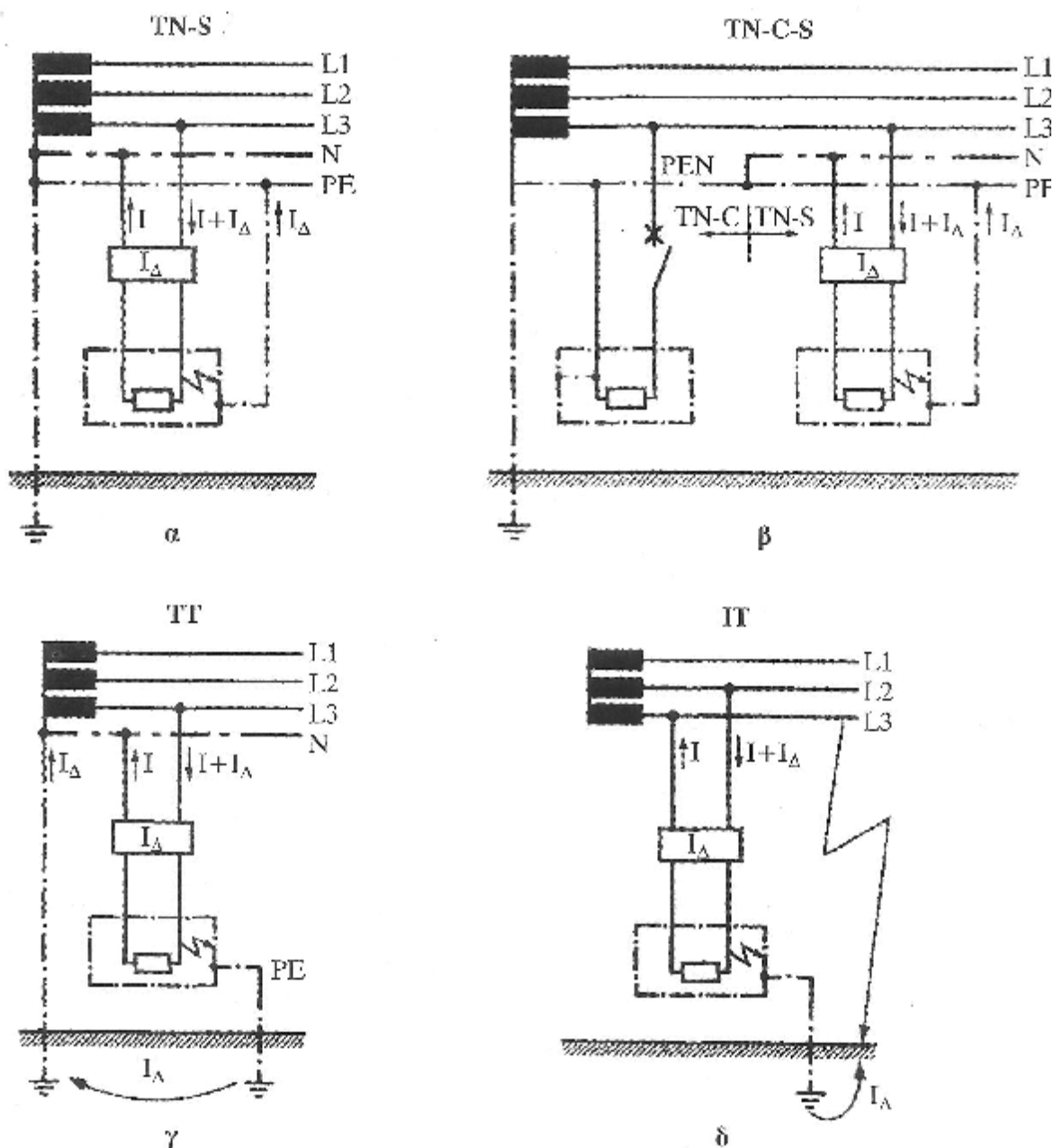
Πίνακας 2.5 Μέγιστη επιτρεπτή αντίσταση γείωσης για αποτελεσματική λειτουργία των διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος

Τάση επαφής	Ονομαστικό διαφορικό ρεύμα $I_{\Delta N}$ διάταξης προστασίας				
	10mA	30mA	100mA	300mA	500mA
25V	2500 Ω	833 Ω	250 Ω	83 Ω	50 Ω
50V	5000 Ω	1666 Ω	500 Ω	166 Ω	100 Ω

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι διακόπτες διαρροής δεν παρέχουν προστασία στην περίπτωση υπερφόρτισης ή βραχυκυκλώματος. Συνεπώς, είναι φανερό ότι η εγκατάσταση του διακόπτη διαρροής έντασης, προϋποθέτει την ύπαρξη προστασίας έναντι υπερεντάσεων στο κύκλωμα, με τηκτές ασφάλειες ή μικροαυτόματους διακόπτες, η ονομαστική τιμή ρεύματος των οποίων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη ονομαστική τιμή που ορίζεται από τον κατασκευαστή της διάταξης διαφορικού ρεύματος, λαμβάνοντας υπόψη εφόσον είναι επιθυμητό και το συντελεστή ετεροχρονισμού (ΕΛΟΤ HD384 531.2.1.4.).

Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί και διακόπτες διαρροής έντασης με προστασία έναντι υπερφορτίσεων και βραχυκυκλωμάτων. Πρόκειται για διακόπτες διαρροής με ενσωματωμένο

μικροαυτόματο διακόπτη, που χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να έχουμε συνδυασμένη προστασία και από υπερφορτίσεις- βραχυκυκλώματα αλλά και από διαρροή προς τη γη. Οι διακόπτες αυτοί είναι επίσης διπολικοί ή τετραπολικοί, με ονομαστικό διαφορικό ρεύμα συνήθως τα 30mA. Ο ενσωματωμένος στους διακόπτες αυτούς μικροαυτόματος έχει χαρακτηριστική λειτουργίας B,C ή K.



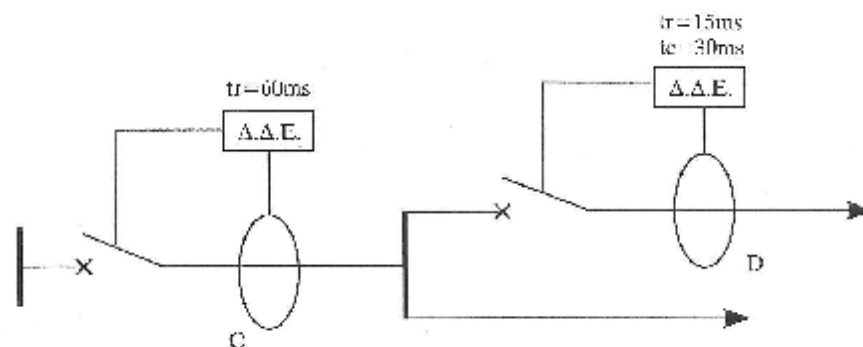
Σχήμα 2.15 Εγκατάσταση διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος.
 α. Στο σύστημα TN-S, ο ουδέτερος αγωγός και ο αγωγός προστασίας είναι ξεχωριστοί σε όλη τη γραμμή τροφοδοσίας,
 β. Στο σύστημα TN-C-S, ο ουδέτερος αγωγός και ο αγωγός είναι κοινοί για ένα μόνο τμήμα της γραμμής τροφοδοσίας
 γ. Στο σύστημα TT το ρεύμα διαρροής κυκλοφορεί μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης
 δ. Στο σύστημα IT, η διάταξη προστασίας διαφορικού ρεύματος ενεργοποιείται όταν εμφανιστεί και δεύτερο σφάλμα στη γραμμή τροφοδοσίας

2.5.4 Επιλεκτική συνεργασία

Στην περίπτωση που στην αρχή μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης είναι εγκατεστημένη μια μόνο διάταξη προστασίας διαφορικού ρεύματος με ονομαστικό ρεύμα $I_{\delta N} = 30\text{mA}$, η οποία ελέγχει το σύνολο της εγκατάστασης, τότε έχουμε αποτελεσματική προστασία της εγκατάστασης μεν, αλλά επηρεάζεται η διαθεσιμότητα της. Σε μια μεγάλη βιομηχανική εγκατάσταση για παράδειγμα, με την εμφάνιση μιας διαρροής θα είχαμε διακοπή της τροφοδοσίας σε όλα τα κυκλώματα, ανεξάρτητα με το αν αυτά επηρεάζονταν ή όχι από την ύπαρξή της, με αποτέλεσμα την άσκοπη παρεμπόδιση της παραγωγικής διαδικασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούμε μια κεντρική διάταξη διαφορικού ρεύματος με μικρή χρονική καθυστέρηση στην απόζευξη του διακόπτη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται επιλογική συνεργασία μεταξύ των διαφόρων σε σειρά συνδεδεμένων διατάξεων, έτσι ώστε, εφόσον χρειαστεί, η κεντρική διάταξη να αποζεύξει τελευταία. Η μέγιστη χρονική καθυστέρηση που επιτρέπεται σύμφωνα με την παράγραφο.413.1.3.7 του ΕΛΟΤ HD384, είναι 1 sec.

Όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 531.2.1.2. του ίδιου πρότυπου, οι διατάξεις διαφορικού ρεύματος θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να μπορούν να διακόψουν την τροφοδοσία, όταν το ρεύμα διαρροής ξεπεράσει το μισό του ονομαστικού διαφορικού ρεύματος $I_{\Delta N}$ της διάταξης.

Με άλλα λόγια, θα πρέπει να έχουμε απόζευξη, για τιμές ρεύματος διαρροής από $I_{\Delta N}/2$ έως $I_{\Delta N}$.



Σχήμα 2.16 Σε σειρά συνδεδεμένες διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος.

Στο σχήμα 2.16, για να μην έχουμε απόζευξη του διακόπτη C πριν από τον D, θα πρέπει να ισχύει $I_{\Delta N}(C) > 2I_{\Delta N}(D)$. Επίσης για τους χρόνους αντίδρασης των δύο Δ.Δ.Ε θα πρέπει να ισχύει: $t_r(C) > t_r(D) + t_c(D)$.

οπου:

t_r χρόνος καθυστέρησης στην ανίχνευση του σφάλματος ή αλλιώς χρόνος μη ενεργοποίησης.

t_c χρόνος αντίδρασης του μηχανικού μέρους του διακόπτη, από τη στιγμή λήψης της εντολής από τη διάταξη μέχρι την ολοκλήρωση της απόζευξης

2.6 Βαθμοί προστασίας IP των περιβλημάτων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και διατάξεων

Η προστασία των ανθρώπων έναντι της άμεσης επαφής με επικίνδυνα μέρη συσκευών και εγκαταστάσεων, απαιτείται και καθορίζεται από συγκεκριμένους κανονισμούς των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων όπως είναι ο IEC 364 και το Πρότυπο ΕΛ.Ο.Τ HD384. Επίσης η επίδραση των εξωτερικών καταπονήσεων στη συμπεριφορά μηχανημάτων, συσκευών και εξαρτημάτων, περιγράφεται στο IEC 721-2.

Το γεγονός ότι ένα εξάρτημα μιας συσκευής ή μια διάταξη η οποία αποτελεί συστατικό μέρος μιας εγκατάστασης πληρούν τις λειτουργικές απαιτήσεις για τις οποίες έχουν σχεδιαστεί, δεν είναι αρκετό. Θα πρέπει επίσης να εξασφαλίζεται ότι η ασφαλής λειτουργία τους δεν μπορεί να επηρεαστεί από αστάθμητους εξωτερικούς παράγοντες και συνεπώς δεν τίθεται θέμα επιζήμιων επιπτώσεων τόσο για το χειριστή όσο και για το περιβάλλον.

Η τελευταία απαίτηση ικανοποιείται τοποθετώντας τη διάταξη ή το συγκεκριμένο εξάρτημα εντός ενός προστατευτικού περιβλήματος. Το προστατευτικό αυτό περίβλημα θα μπορούσε ανάλογα με την κατασκευή του να προσφέρει προστασία από:

- Την είσοδο ξένων σωμάτων που θα μπορούσαν να διαταράξουν τη σωστή ηλεκτρομηχανική λειτουργία. Στην έννοια ξένα σώματα μπορούν επίσης να περιληφθούν εκτός της σκόνης και της άμμου και μικρά ζώα όπως επίσης και ιπτάμενα έντομα ή ερπετά.
- Την είσοδο νερού ή άλλων υγρών τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απαιτούμενη μόνωση
- Την είσοδο εργαλείων που θα μπορούσαν να καταστρέψουν εύθραυστα εξαρτήματα
- Την είσοδο διαβρωτικών αερίων που ενδεχομένως υπάρχουν στον περιβάλλοντα χώρο
- Την επίδραση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων
- Την επίδραση ακτινοβολιών, μεταξύ των οποίων και το φως.

Το προστατευτικό κάλυμμα-περίβλημα αποτελεί τη συνηθέστερη μέθοδο προστασίας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και διατάξεων. Η προστασία που πρέπει να παρέχουν τα περιβλήματα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και διατάξεων περιγράφεται στην έκδοση 529 του IEC, στο prEN 50102 της CENELEC, καθώς και στο ΕΛΟΤ 369.

Ο κώδικας IP περιγράφεται στην έκδοση 529 της International Electrotechnical Commission και το όνομα του προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων “International Protection”

3.1 Επιβάρυνση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων από τις αναπτυσσόμενες αρμονικές συνιστώσες ρεύματος

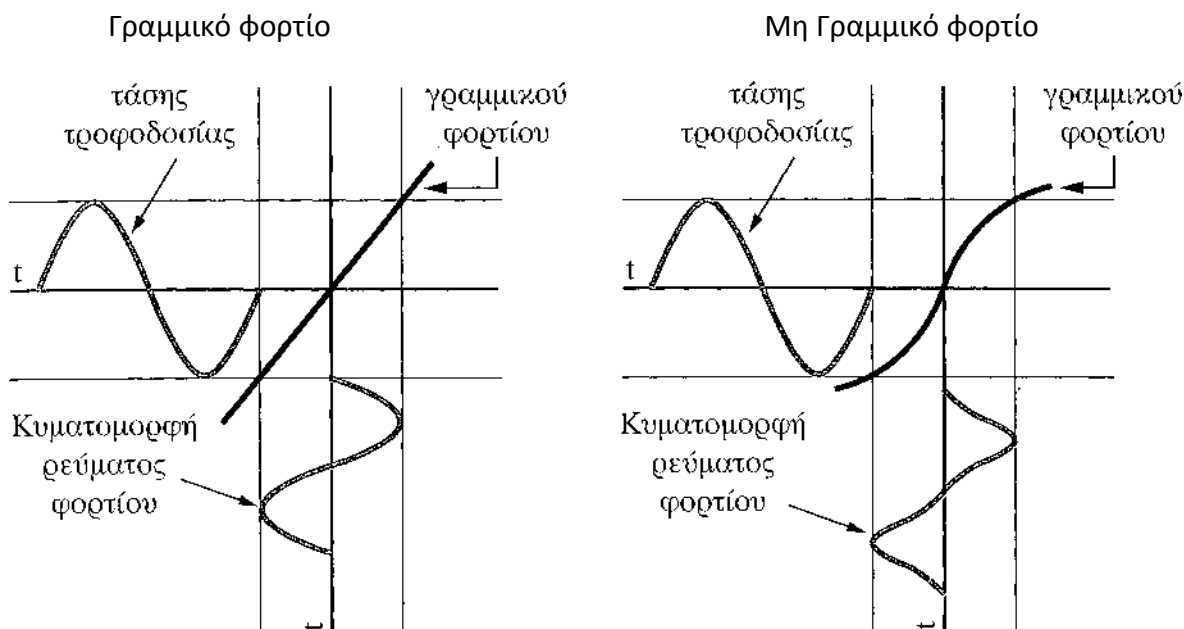
Η ανάπτυξη ρευμάτων αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος φορτίου, συνεπάγεται την υπερφόρτιση των καλωδιώσεων ενός κτιρίου, την αύξηση των απωλειών, τη μείωση της ικανότητας μεταφοράς ισχύος από τα κυκλώματα και την καταπόνηση των πυκνωτών που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση του συνφ.

Το ρεύμα που θα απορροφηθεί από ένα δίκτυο τροφοδοσίας, εξαρτάται ουσιαστικά από το ηλεκτρικό φορτίο το οποίο τροφοδοτείται, θεωρώντας την τάση τροφοδοσίας σχεδόν σταθερή.

Ένα γραμμικό φορτίο, όπως για παράδειγμα μια καθαρά ωμική αντίσταση, εμφανίζει σταθερή εμπέδηση και για το λόγο αυτό το ρεύμα από το οποίο διαρρέεται έχει την ίδια κυματομορφή με την τάση της πηγής τροφοδοσίας, περίπου ημιτονοειδή δηλαδή, εφόσον και η τάση τροφοδοσίας είναι ημιτονοειδής.

Η εμπέδηση (σύνθετη αντίσταση) ενός μη γραμμικού φορτίου από την άλλη μεριά, αλλάζει όταν η τιμή της τάσης τροφοδοσίας μεταβληθεί και εξαιτίας αυτού, εμφανίζεται ένα μη ημιτονοειδές πλέον ρεύμα.

Τα αρμονικά ρεύματα παράγονται από τα μη γραμμικά φορτία, τα φορτία δηλαδή τα οποία απορροφούν ρεύμα με κυματομορφή διαφορετική από την ημιτονοειδή, της τάσης τροφοδοσίας.

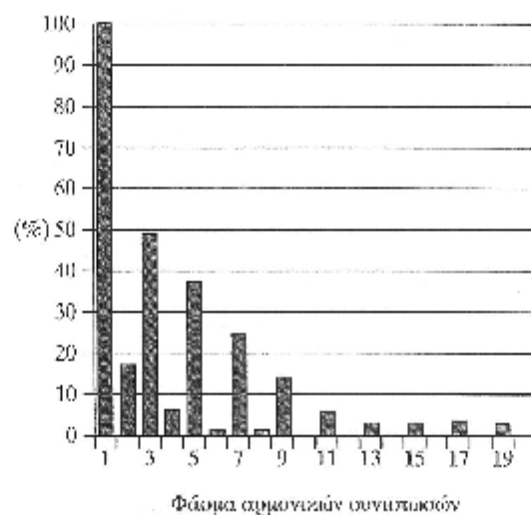
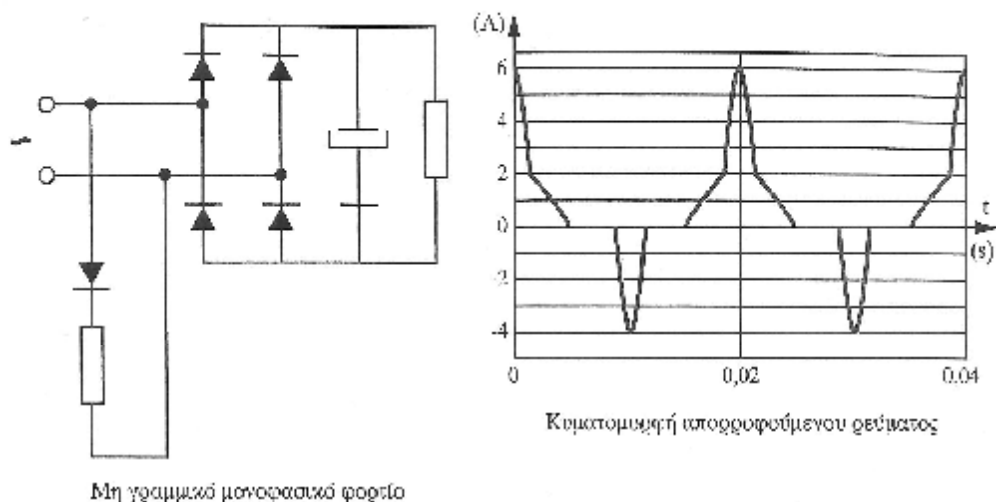


Σχήμα 3.1 Επίδραση ενός γραμμικού και ενός μη γραμμικού φορτίου στην κυματομορφή του απορροφούμενου ρεύματος, όταν η τάση τροφοδοσίας είναι ημιτονοειδής.

Τι ακριβώς όμως είναι οι αρμονικές συνιστώσες και πως αυτές εμφανίζονται; Πρόκειται για κυματομορφές με συχνότητα πολλαπλάσια, της βασικής ημιτονικής συχνότητας της κυματομορφής με την οποία τροφοδοτείται το φορτίο.

Για παράδειγμα σε ένα δίκτυο όπου η βασική συχνότητα είναι 50 Hz, θα εμφανιστούν και αρμονικές συνιστώσες 2^{ης}, 3^{ης}, 4^{ης}, 5^{ης} κ.λπ. τάξης, με συχνότητες 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, αντίστοιχα.

Ένα τυπικό μη γραμμικό φορτίο καθώς και το ρεύμα που απορροφά αλλά και το φάσμα των αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος φαίνονται στο σχήμα 3.2. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η κυματομορφή του απορροφούμενου ρεύματος έχει διαφορετική μορφή για τις δύο ημιπεριόδους. Από το φάσμα των αρμονικών συνιστωσών, φαίνεται ότι το απορροφούμενο από το συγκεκριμένο φορτίο ρεύμα, περιέχει τόσο άρτιας όσο και περιττής τάξης αρμονικές συνιστώσες.



Σχήμα 3.2 Απορροφούμενο ρεύμα και φάσμα αρμονικών συνιστωσών, για ένα μη συμμετρικό και μη γραμμικό μονοφασικό φορτίο.

3.1.1 Συμμετρικά μη γραμμικά φορτία

Η πλειοψηφία των φορτίων που τροφοδοτούνται από ένα δίκτυο, εμφανίζει συμμετρική κυματομορφή ρεύματος για τις δύο ημιπεριόδους. Αυτό μαθηματικά εκφράζεται ως εξής:

$$f(\omega t + p) = -f(\omega t) \quad (3.1)$$

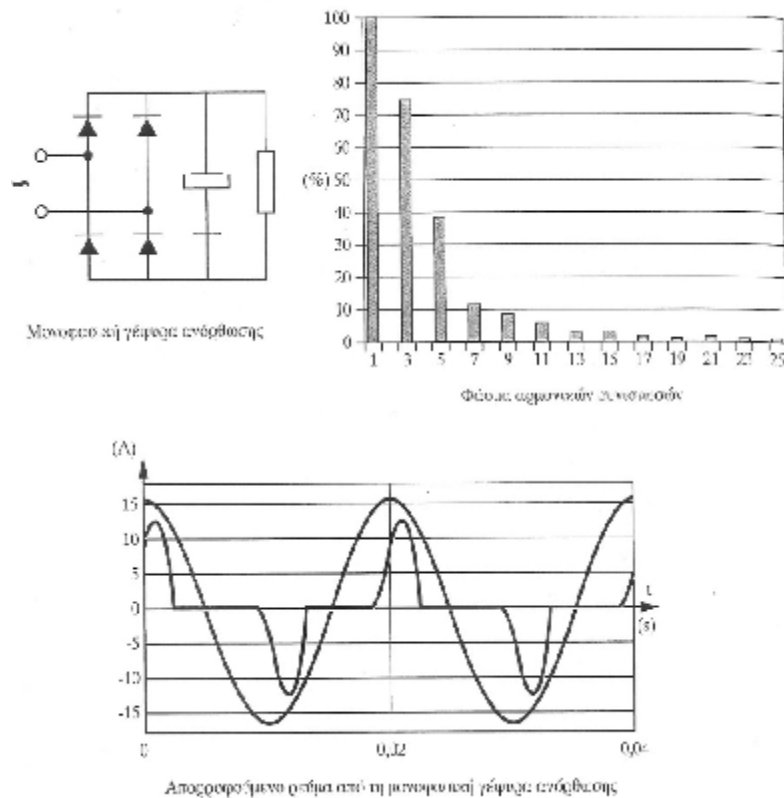
Εάν υποθέσουμε ότι ένα τέτοιο συμμετρικό μη γραμμικό φορτίο αναπτύσσει δεύτερης τάξης αρμονική συνιστώσα, τότε θα ισχύει:

$$I(\omega t) = I_1 \sin \omega t + I_2 \sin 2\omega t$$

$$I(\omega t + p) = I_1 \sin(\omega t + p) + I_2 \sin 2(\omega t + p)$$

$$I(\omega t + p) = -I_1 \sin \omega t + I_2 \sin 2\omega t \quad (3.2)$$

Εφόσον το φορτίο είναι συμμετρικό, θα πρέπει να είναι $I(\omega t + \pi) = -I(\omega t)$ και αυτό ισχύει μόνο όταν το I_2 δηλαδή το πλάτος της 2^{ης} αρμονικής είναι μηδέν. Η απόδειξη αυτή μπορεί να επεκταθεί για όλες τις άρτιες τάξης αρμονικές συνιστώσες.



Σχήμα 3.3 Απορροφούμενο ρεύμα και φάσμα αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος για ένα συμμετρικό μη γραμμικό μονοφασικό φορτίο.

Άρα λοιπόν τα συμμετρικά μη γραμμικά φορτία δεν παράγουν άρτιας τάξης αρμονικές συνιστώσες.

Συνεπώς μας απασχολούν ιδιαίτερα οι περιττής τάξης αρμονικές συνιστώσες, δηλαδή η 3^η, 5^η, 7^η κ.λπ. τάξης συνιστώσες με συχνότητες 150Hz, 250Hz, 350Hz κ.λπ., εφόσον βέβαια η θεμελιώδης συνιστώσα έχει συχνότητα 50Hz

3.1.2 Μονοφασικά φορτία

Η κυρίαρχη αρμονική συνιστώσα για ένα μονοφασικό συμμετρικό μη γραμμικό φορτίο είναι η 3^η αρμονική, καθώς όπως αναφέρθηκε προηγουμένως δεν παράγονται άρτιας τάξης αρμονικές συνιστώσες.

Για τα συνηθέστερα συμμετρικά μονοφασικά φορτία όπως για παράδειγμα μια μονοφασική γέφυρα ανόρθωσης με διόδους και πυκνωτή εξομάλυνσης (σχήμα 3.3), το πλάτος της 3^{ης} αρμονικής μπορεί να φτάσει μέχρι και το 80% της θεμελιώδους συνιστώσας.

3.1.3 Μονοφασικά φορτία σε τριφασικό δίκτυο με ουδέτερο

Στην περίπτωση ενός τριφασικού συστήματος τροφοδοσίας με 4 αγωγούς που τροφοδοτεί μονοφασικά φορτία ομοιόμορφα κατανομημένα στις 3 φάσεις, ο ουδέτερος αγωγός θα πρέπει να διαρρέετε από ένα ελάχιστο το πολύ ρεύμα, που θα οφείλεται στην ενδεχόμενη αστοχία επίτευξης απόλυτης ισοκατανομής των φορτίων στις 3 φάσεις.

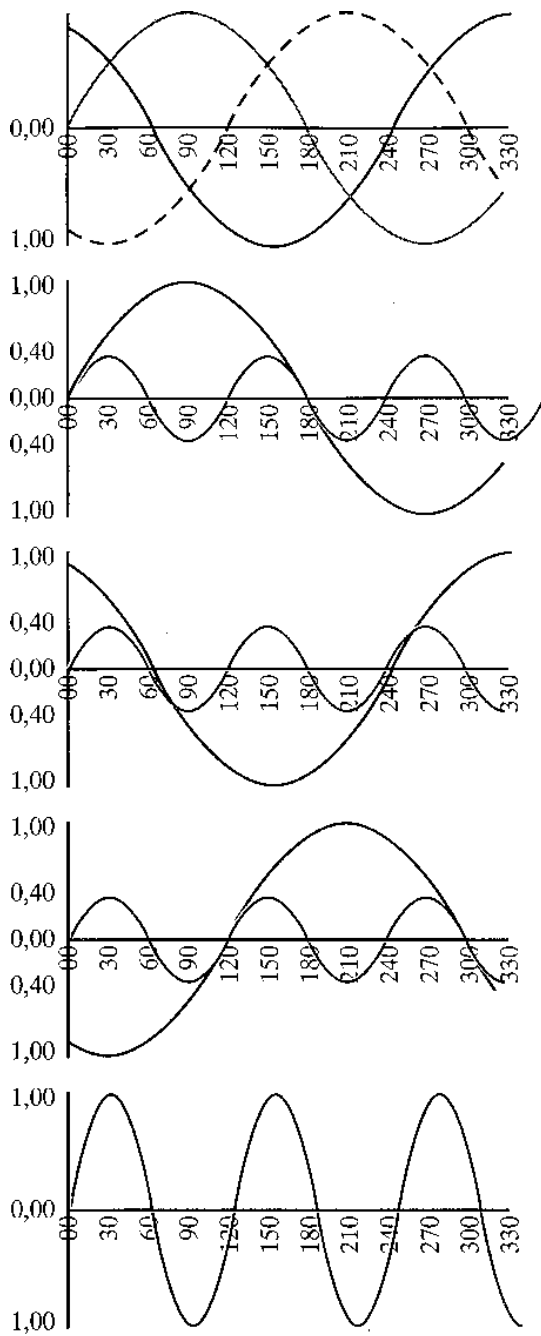
Εφόσον όμως τα φορτία που τροφοδοτούνται είναι μη γραμμικά, το ρεύμα που θα περάσει από τον ουδέτερο αγωγό θα είναι αρκετά μεγάλο εξαιτίας των αναπτυσσόμενων 3^{ης} τάξης αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος. Ειδικά για τις αρμονικές 3^{ης} τάξης των ρευμάτων των 3 φάσεων, οι τιμές τους προστίθενται αλγεβρικά, καθώς είναι συμφασικές μεταξύ τους (σχήμα 3.4).

Αξιοσημείωτο είναι ότι σε ορισμένες περιπτώσεις το ρεύμα του ουδέτερου αγωγού, ξεπερνά πολλές φορές και αυτό των φάσεων, εξαιτίας των ρευμάτων 3ης αρμονικής συνιστώσας.

Ας θεωρήσουμε ένα απλοποιημένο σύστημα, το οποίο αποτελείται από μια τριφασική πηγή, η οποία τροφοδοτεί τρία όμοια μονοφασικά μη γραμμικά φορτία, τα οποία συνδέονται μεταξύ μιας φάσης και του ουδέτερου αγωγού (σχήμα 3.5).

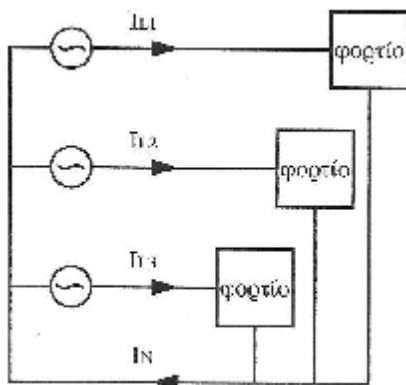
Στην περίπτωση που τα φορτία ήταν γραμμικά, το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων θα ήταν ίσο με το μηδέν και στον ουδέτερο αγωγό δεν θα κυκλοφορούσε ρεύμα.

Όταν όμως τα τροφοδοτούμενα φορτία δεν είναι γραμμικά, τα ρεύματα που διαρρέουν τις τρεις φάσεις δεν είναι πλέον ημιτονοειδούς μορφής και περιέχουν αρμονικές συνιστώσες, με κυρίαρχες αυτές της 3ης τάξης (150Hz).



Σχήμα 3.4

Γραφικές παραστάσεις των κυματομορφών της τάσης και του ρεύματος τριφασικού δικτύου τροφοδοσίας, καθώς των αναπτυσσόμενων αρμονικών 3^{ης} τάξης ανά φάση και του συνολικού ρεύματος εξαιτίας αρμονικών συνιστωσών 3^{ης} τάξης που διαρρέει τον ουδέτερο αγωγό της εγκατάστασης.



Σχήμα 3.5

Μonoφασικά φορτία τροφοδοτούμενα από ισορροπημένο τριφασικό δίκτυο.

Καθώς τα τρία φορτία που τροφοδοτούνται από το ισορροπημένο τριφασικό σύστημα είναι ίδια μεταξύ τους, θα είναι ίσα κατά μέτρο τόσο τα ρεύματα φορτίου (της θεμελιώδους συχνότητας των 50Hz), όσο και τα ρεύματα 3ης αρμονικής συνιστώσας (150 Hz) που διαρρέουν τις τρεις φάσεις και θα ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} \quad \text{και} \quad I_{I1} = I_{I2} = I_{I3}$$

$$I_{3L1} = I_{I1} \sin 3\omega t$$

$$I_{3L2} = I_{I2} \sin 3(\omega t - 2p/3) = I_{I1} \sin(3\omega t - 2p) = I_{3L1}$$

$$I_{3L3} = I_{I3} \sin 3(\omega t - 4p/3) = I_{I1} \sin(3\omega t - 4p) = I_{3L1}$$

$$I_{3L1} = I_{3L2} = I_{3L3} \quad (3.3)$$

Όπου

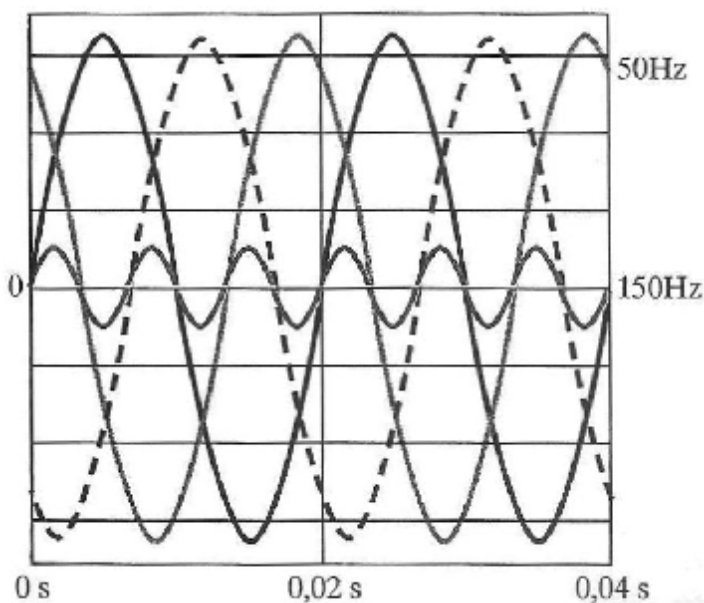
I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} το πλάτος των ρευμάτων φορτίου (50Hz) για τις τρεις φάσεις L1, L2, L3

$I_{3L1}, I_{3L2}, I_{3L3}$ οι στιγμιαίες τιμές των ρευμάτων 3^{ης} αρμονικής συνιστώσας των τριών φάσεων

I_{I1}, I_{I2}, I_{I3} το πλάτος της 3^{ης} αρμονικής κάθε φάσης

Το ρεύμα που θα διαρρέει τον ουδέτερο αγωγό θα είναι ίσο με το συνολικό ρεύμα που διαρρέει τις τρεις φάσεις. Με δεδομένο ότι $I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 0$, το ρεύμα στον ουδέτερο αγωγό θα είναι:

$$I_N = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 3I_{3L1} \quad (3.4)$$



Σχήμα 3.6

Απορροφούμενα
ρεύματα θεμελιώδους
συχνότητας (50 Hz) και
3^{ης} αρμονικής
συνιστώσας (150 Hz)

3.1.3.1 Υπολογισμός του ρεύματος του ουδέτερου αγωγού εξαιτίας αρμονικών συνιστωσών

Στο σχήμα 3.7.α. φαίνονται τα ρεύματα που διαρρέουν τις φάσεις αλλά και τον ουδέτερο αγωγό μιας τριφασικής γραμμής τροφοδοσίας 4 αγωγών (3 φάσεις + ουδέτερος), η οποία τροφοδοτεί τρία συγκεκριμένα όμοια μονοφασικά μη γραμμικά φορτία, καθένα από τα οποία συνδέεται μεταξύ μιας φάσης και του ουδέτερου αγωγού.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα και για διευκόλυνση στους μετέπειτα υπολογισμούς, τα μη γραμμικά φορτία έχουν επιλεγεί έτσι ώστε οι φάσεις της γραμμής τροφοδοσίας να μη διαρρέονται ταυτόχρονα από ρεύμα. Δηλαδή όταν το ρεύμα σε μια από τις τρεις φάσεις έχει τιμή διάφορη του μηδενός, τότε το ρεύμα στις δύο άλλες φάσεις είναι ίσο με το μηδέν. Επίσης, τα φορτία απορροφούν ρεύμα με συμμετρική κυματομορφή για τις δύο ημιπεριόδους. Στο σχήμα 3.7.β. παρατηρούμε ότι το ρεύμα κάθε φάσης της γραμμής τροφοδοσίας το συνθέτουν αρμονικές συνιστώσες περιττής τάξης (βλ. παράγραφο 3.1.1.), ενώ ως επικρατέστερη αρμονική συνιστώσα εμφανίζεται αυτή της 3ης τάξης.

Στο σχήμα 3.7.γ. φαίνεται ότι ο ουδέτερος αγωγός διαρρέεται μόνο από ρεύματα αρμονικών συνιστωσών καθώς η θεμελιώδης συνιστώσα των 50Hz (1ης τάξης) είναι μηδέν. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι εμφανιζόμενες αρμονικές συνιστώσες έχουν τάξη πολλαπλάσια του 3.

Η ενεργός τιμή του ρεύματος για κάθε μια από τις φάσεις της γραμμής τροφοδοσίας δίνεται από τη σχέση:

$$I_N = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{Lk}^2(t) dt} \quad (3.5.a)$$

όπου:

$i_{Lk}(t)$ [A] η στιγμιαία τιμή της έντασης του ρεύματος μιας φάσης με $k=1$ ή 2 ή 3
 T [s] η περίοδος της θεμελιώδους συχνότητας των 50Hz της κυματομορφής
θα είναι δηλαδή $I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_L$ (3.5.β)

Όπως προκύπτει από το σχήμα 3.7.α., η περίοδος του ρεύματος του ουδέτερου αγωγού θα είναι $T/3$, καθώς το ρεύμα αυτό οφείλεται μόνο στην 3η αρμονική συνιστώσα (150Hz) του ρεύματος των 50Hz που διαρρέει κάθε φάση. Επίσης, παρατηρούμε ότι τόσο η θετική όσο και η αρνητική ημιπερίοδος της κυματομορφής του ρεύματος του ουδέτερου αγωγού, έχει την ίδια μορφή με τα αντίστοιχα τμήματα μη μηδενικών θετικών ή αρνητικών τιμών των ρευμάτων φορτίου που διαρρέουν τους αγωγούς φάσης.

Η ενεργός τιμή του ρεύματος του ουδέτερου αγωγού θα είναι

$$I_N = \sqrt{\frac{1}{T/3} \int_0^{T/3} i_N^2(t) dt} \Leftrightarrow I_N = \sqrt{3} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/3} (i_{L1}(t) + i_{L2}(t) + i_{L3}(t))^2 dt} \Leftrightarrow$$

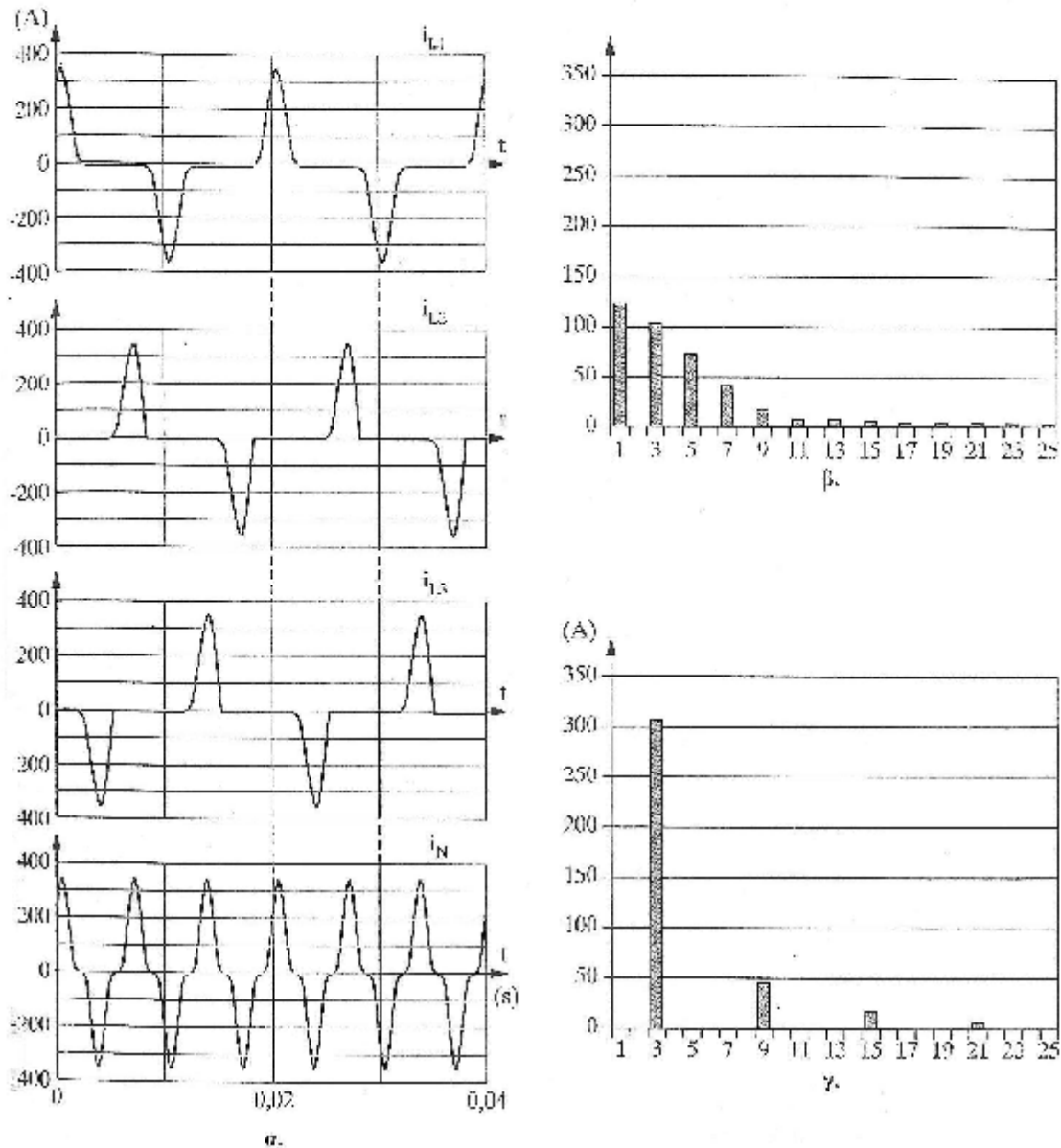
$$I_N = \sqrt{3} I_L \quad (3.6)$$

Προκύπτει δηλαδή ότι το ρεύμα στον ουδέτερο αγωγό έχει ενεργό τιμή 73 φορές μεγαλύτερη από την ενεργό τιμή του ρεύματος φορτίου μιας φάσης.

Αυτή είναι και η μέγιστη ενεργός τιμή ρεύματος, σε σχέση με το αντίστοιχο ρεύμα φορτίου, που μπορεί να εμφανιστεί εξαιτίας αρμονικών στον ουδέτερο αγωγό, καθώς σε κάθε άλλη περίπτωση όπου το ρεύμα φορτίου έχει μη μηδενική τιμή σε περισσότερες της μιας φάσης για την ίδια χρονική στιγμή, η ενεργός τιμή του ρεύματος στον ουδέτερο θα είναι μικρότερη από

73 φορές την ενεργό τιμή του ρεύματος φορτίου μιας φάσης.

Με ανάλογο τρόπο, στην περίπτωση τροφοδότησης δύο ίδιων συμμετρικών μονοφασικών μη γραμμικών φορτίων, από μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας (3 φάσεις + ουδέτερος), όπου δηλαδή η μια φάση θα είναι αφόρτιστη, μπορεί να αποδειχθεί ότι η ενεργός τιμή του ρεύματος στον ουδέτερο αγωγό θα είναι μικρότερη έως το πολύ ίση με 72 φορές την ενεργό τιμή του ρεύματος μιας φάσης.



Σχήμα 3.7

- α. Κυματομορφές των ρευμάτων που διαρρέουν τους αγωγούς των φάσεων αλλά και τον ουδέτερο αγωγό της γραμμής τροφοδοσίας
- β. Φάσμα αρμονικών συνιστωσών που συνθέτουν το ρεύμα κάθε φάσης
- γ. Φάσμα αρμονικών συνιστωσών του ρεύματος που διαρρέει τον ουδέτερο αγωγό.

3.1.4 Τριφασικά συμμετρικά και ισορροπημένα φορτία

Θεωρούμε ένα συμμετρικό τριφασικό και ισορροπημένο μη γραμμικό φορτίο, το οποίο τροφοδοτείται από μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας **χωρίς ουδέτερο**.

Υποθέτουμε ότι τα απορροφούμενα ρεύματα από το φορτίο, περιέχουν $3^{n^{\text{ς}}}$ τάξης αρμονική συνιστώσα ρεύματος.

Για κάθε φάση τα αρμονικά ρεύματα $3^{n^{\text{ς}}}$ τάξης θα είναι:

$$\begin{aligned} I_{3L1} &= I_3 \sin 3\omega t \\ I_{3L2} &= I_3 \sin 3(\omega t - 2p/3) = I_3 \sin(3\omega t - 2p) = I_{3L1} \\ I_{3L3} &= I_3 \sin 3(\omega t - 4p/3) = I_3 \sin(3\omega t - 4p) = I_{3L1} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Προκύπτει δηλαδή ότι οι $3^{n^{\text{ς}}}$ τάξης αρμονικές συνιστώσες ρεύματος ίσες μεταξύ τους

$$\boxed{I_{3L1} = I_{3L2} = I_{3L3}} \quad (3.8)$$

Επιπλέον επειδή δεν υπάρχει ουδέτερος, το άθροισμα των επιμέρους αρμονικών συνιστωσών $3^{n^{\text{ς}}}$ τάξης θα πρέπει να είναι ίσο με το μηδέν, δηλαδή:

$$\boxed{I_{3L1} + I_{3L2} + I_{3L3} = 0} \quad (3.9)$$

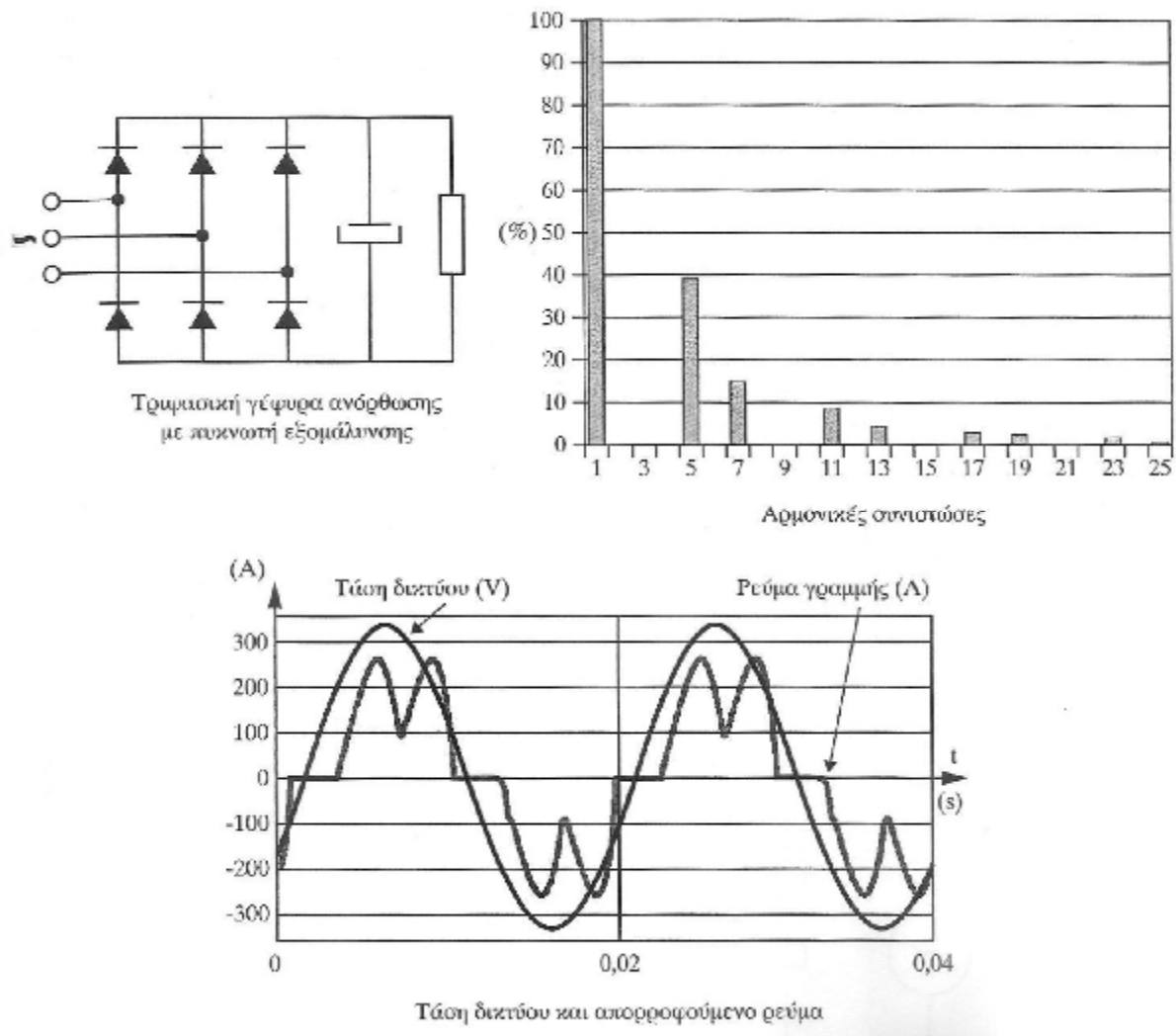
Οι σχέσεις (3.8) και (3.9) μπορούν να ισχύουν ταυτόχρονα μόνο στην περίπτωση που όλοι οι όροι είναι ίσοι με το μηδέν.

Άρα, τα συμμετρικά, ισορροπημένα τριφασικά φορτία δεν παράγουν αρμονικές συνιστώσες $3^{h^{\text{z}}}$ τάξης. Το συμπέρασμα αυτό επεκτείνεται για όλες τις αρμονικές συνιστώσες τάξης πολλαπλάσιας του 3.

Τα αρμονικά ρεύματα που παράγονται είναι τάξης $5^{n^{\text{ς}}}$, $7^{n^{\text{ς}}}$, $11^{n^{\text{ς}}}$, $13^{n^{\text{ς}}}$ κ.λπ., ικανοποιούν δηλαδή τη σχέση $6k+1$.

Για την περίπτωση των ανορθωτικών διατάξεων, μπορούμε να πούμε ότι η τάξη h των αρμονικών συνιστωσών υπακούει στη σχέση $h=(\eta \times p)+/-1$, όπου $\eta=1,2,3,4,\dots$ και p το πλήθος των ανορθωτικών στοιχείων που περιλαμβάνει η διάταξη.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση του κυκλώματος ημιανόρθωσης όπου περιλαμβάνεται μόνο ένα ανορθωτικό στοιχείο είναι $h=n+/-1$ και άρα εμφανίζονται όλες οι τάξεις αρμονικών συνιστωσών καθώς και η συνεχής συνιστώσα η οποία αντιστοιχεί στην τιμή $h=0$.

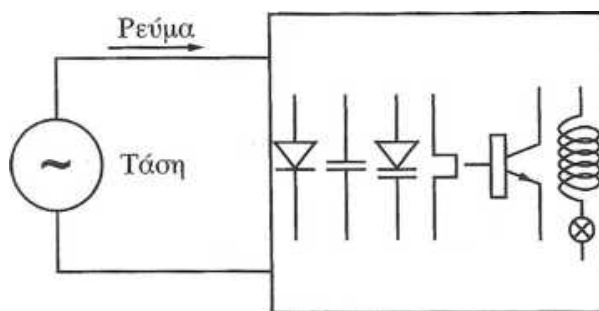


Σχήμα 3.8 Τα συμμετρικά, ισορροπημένα τριφασικά φορτία δεν παράγουν αρμονικές συνιστώσες 3^{ης} τάξης

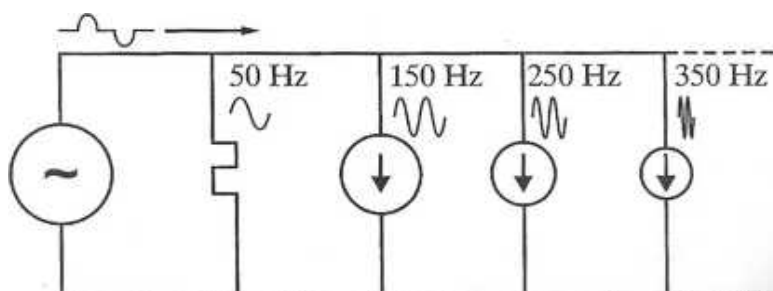
3.1.5 Φίλτρα περιορισμού της 3^{ης} αρμονικής συνιστώσας ρεύματος

Οι μονοφασικές ηλεκτρονικές συσκευές όπως είναι οι Η/Υ, οι εκτυπωτές, οι τηλεοράσεις, τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, τα μηχανήματα τηλεμοιοτυπίας και οι διατάξεις αδιάλειπτου παροχής ισχύος, είναι μερικές από τις πηγές παραγωγής αρμονικών ρευμάτων που αναπτύσσονται στον ουδέτερο αγωγό του δικτύου.

Οι συνηθέστερες αρμονικές συνιστώσες οι οποίες καταπονούν τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, είναι η 3η αρμονική με συχνότητα 150Hz, η 5η αρμονική με συχνότητα 250 Hz, και η 7η αρμονική με συχνότητα 350 Hz



Σχήμα 3.9 Τα μη γραμμικά ηλεκτρικά φορτία ευνοούν την ανάπτυξη αρμονικών συνιστωσών.



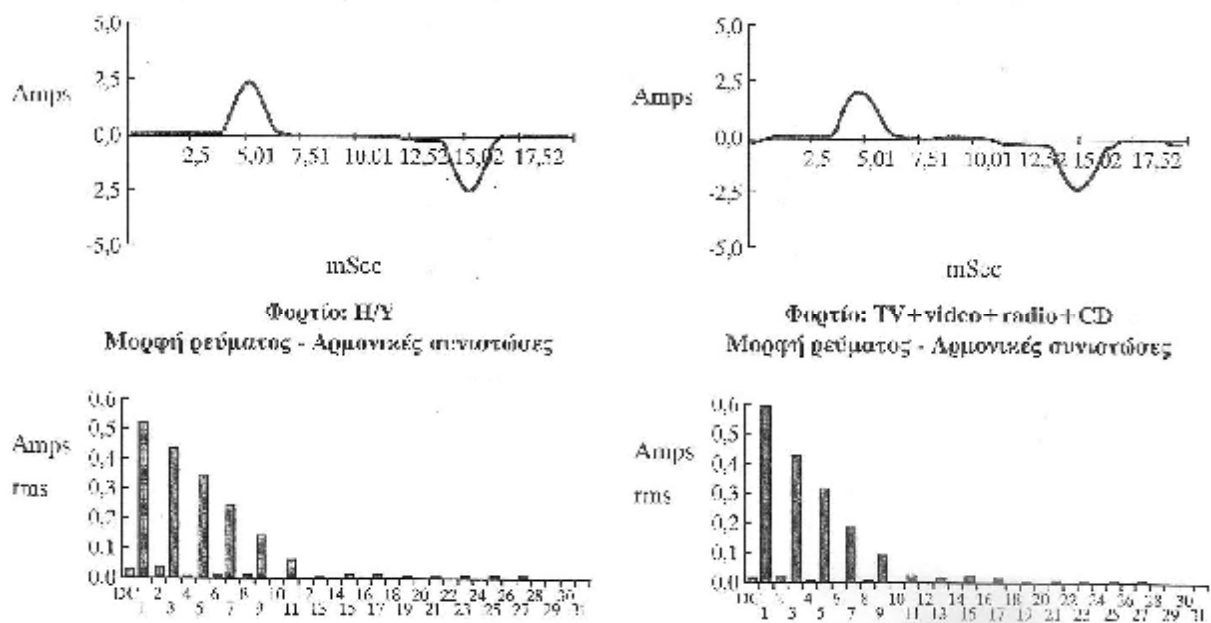
Σχήμα 3.10 Οι αρμονικές συνιστώσες ρεύματος 3^{ης}, 5^{ης} και 7^{ης} κ.λπ. τάξης αναπτύσσονται στα δίκτυα τροφοδοσίας συμμετρικών μη γραμμικών φορτίων.

Σε ένα ισορροπημένο τριφασικό δίκτυο με συμμετρικά, μη γραμμικά, μονοφασικά φορτία, οι αρμονικές συνιστώσες 5ης, 7ης κ.λπ. τάξης αλληλοεξουδετερώνονται, ενώ οι 3ης τάξης αρμονικές συνιστώσες είναι συμφασικές μεταξύ τους και προστίθενται αλγεβρικά στον ουδέτερο αγωγό.

Οι συσκευές εξαιτίας των οποίων αναπτύσσονται αρμονικές συνιστώσες 3^{ης} τάξης είναι:

- Ηλεκτρονικοί υπολογιστές
- Μηχανές γραφείου
- Λαμπτήρες εκκένωσης
- Μηχανές συγκόλλησης
- Γεννήτριες
- Ανορθωτές
- UPS
- Επαγωγικοί φούρνοι
- Ηλεκτρονικές οικιακές συσκευές (IV, ραδιόφωνα, φούρνοι μικροκυμάτων κ.λπ.).

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τα ρεύματα των αρμονικών συνιστωσών εξαιτίας των μονοφασικών ηλεκτρονικών συσκευών, εμφανίζονται κυρίως σε εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπου η χρήση τέτοιου είδους συσκευών είναι εκτεταμένη.

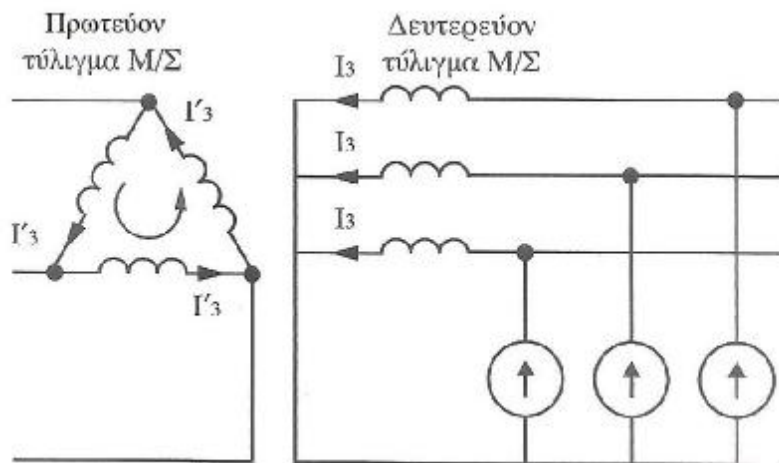


Σχήμα 3.11 Ρεύμα φορτίου και φάσμα αρμονικών συνιστωσών, μονοφασικών μη γραμμικών φορτίων

Εξαιτίας των αρμονικών συνιστωσών 3^{ης} τάξης δημιουργούνται προβλήματα όπως:

- Η υπερθέρμανση του ουδέτερου αγωγού της εγκατάστασης, πράγμα που σημαίνει αύξηση του κινδύνου ανάπτυξης πυρκαγιάς.
- Αύξηση των απωλειών στο δίκτυο.
- Ανάπτυξη ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.
- Υπερφόρτωση των τυλιγμάτων των μετασχηματιστών και αύξηση των απωλειών τους.
- Μείωση του χρόνου ζωής των μετασχηματιστών.
- Μείωση του χρόνου ζωής των πυκνωτών που χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση του συνφ.
- Ανωμαλίες στη λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών όπως Η/Υ, ηλεκτρονικά ρε-λέ, διατάξεις αυτόματου ελέγχου κ.λπ.

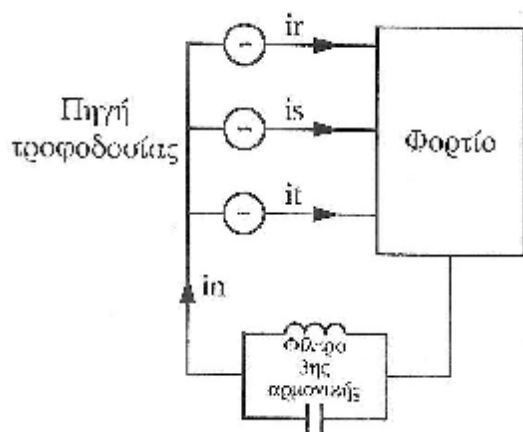
Έχει υπολογιστεί ότι η 3η αρμονική συνιστώσα μπορεί να προσθέσει έως και 1A/kW για εφαρμογές φωτισμού και 4A/Kw για φορτία Η/Υ ανάλογα βέβαια με το δίκτυο τροφοδοσίας. Το ρεύμα 3ης αρμονικής, δημιουργεί στην περίπτωση των δικτύων χαμηλής τάσης ένα βρόγχο ο οποίος εκτείνεται από το μονοφασικό φορτίο μέσω των αγωγών της γραμμής τροφοδοσίας και των πινάκων διανομής, μέχρι τον κόμβο της συνδεσμολογίας αστέρα του Μ/Σ και τον ουδέτερο αγωγό του δικτύου. Στον Μ/Σ, το ρεύμα 3ης αρμονικής, από το δευτερεύον επάγεται στα κατά τρίγωνο συνδεσμο λογημένα τυλίγματα του πρωτεύοντος. Στην περίπτωση των ισορροπημένων φορτίων, η 3η αρμονική συνιστώσα δεν μεταδίδεται στο δίκτυο Μ.Τ., αλλά κυκλοφορεί εντός της συνδεσμολογίας τριγώνου, αυξάνοντας τις ωμικές απώλειες και τη θερμοκρασία λειτουργίας, ενώ συγχρόνως μειώνεται η δυνατότητα παροχής ωφέλιμης ισχύος.



Σχήμα 3.12 Στην περίπτωση των ισορροπημένων φορτίων, το ρεύμα της 3^{ης} αρμονικής I_3 δεν μεταδίδεται στο δίκτυο Μ.Τ., αλλά κυκλοφορεί εντός της συνδεσμολογίας τριγώνου

Ο περιορισμός των αρμονικών συνιστωσών 3^{ης} τάξης επιτυγχάνεται με τη χρήση των κατάλληλων φίλτρων, τα οποία εγκαθίστανται στην είσοδο του δικτύου τροφοδοσίας και με τα οποία μπορεί να επιτευχθεί περιορισμός έως και 95% του ρεύματος των 150 HZ που διαρρέει τον ουδέτερο αγωγό.

Το φίλτρο THP (Third Harmonic Filter) εγκαθίσταται στον ουδέτερο αγωγό ή στον κόμβο της συνδεσμολογίας αστέρα του Μ/Σ εφόσον πρόκειται για σύστημα TN-5. Ο ουδέτερος αγωγός είναι το καταλληλότερο σημείο για την τοποθέτηση του THP, καθώς σε αυτόν γίνεται η αριθμητική άθροιση των ρευμάτων που προέρχονται από τις αρμονικές συνιστώσες 3ης τάξης.



Σχήμα 3.13

Φίλτρο 3^{ης} αρμονικής συνιστώσας ρεύματος, εγκατεστημένο στον ουδέτερο αγωγό της εγκατάστασης.

Το φίλτρο τρίτης αρμονικής, είναι ένα παράλληλο συντονισμένο φίλτρο, το οποίο παρουσιάζει υψηλή εμπέδηση για την τρίτη αρμονική (150Hz) και πολύ χαμηλή εμπέδηση για τη θεμελιώδη συχνότητα (50Hz). Καθώς το THP είναι καθαρά παθητικό στοιχείο, το επίπεδο θορύβου είναι πολύ χαμηλό. Στο φίλτρο THP υπάρχει ενσωματωμένο ένα πηνίο απόσβεσης, για να εξασφαλίζεται το γεγονός ότι το φίλτρο θα μπορεί να αντέξει σε ενδεχόμενες υπερτάσεις.

Άλλοι τρόποι περιορισμού της 3ης αρμονικής συνιστώσας είναι η τοποθέτηση παθητικών φίλτρων κοντά σε κάθε μη γραμμικό φορτίο. Στην περίπτωση αυτή τα φίλτρα είναι συντονισμένα στην τρίτη αρμονική (150Hz).

Επίσης, μπορεί να περιοριστεί η αναπτυσσόμενη 3η αρμονική συνιστώσα, χρησιμοποιώντας διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος (ενεργά φίλτρα).

3.2 Ορισμός συντελεστή ισχύος

Η γωνία μεταξύ φαινόμενης και ενεργού ισχύος συμβολίζεται με το γράμμα φ . Το συνημίτονο της γωνίας φ (συνφ ή $\cos\varphi$), ονομάζεται συντελεστής ισχύος της ηλεκτρικής μηχανής ή του ηλεκτρικού κυκλώματος, στο οποίο αναφερόμαστε. Να σημειώσουμε ότι το συνφ αυξάνεται μέχρι μιας μέγιστης τιμής ίσης με τη μονάδα, όσο η γωνία φ μειώνεται. Είναι δηλαδή $\text{συν}\varphi=1$ όταν $\varphi=0$.

Με δεδομένο ότι η τάση τροφοδοσίας U είναι συγκεκριμένη, μπορούμε από το τρίγωνο ισχύων γραφικά να υπολογίσουμε το ρεύμα που αντιστοιχεί σε κάθε περίπτωση.

Με βάση το τρίγωνο ισχύος παρατηρούμε τα εξής:

- η ενεργός ισχύς μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα με το συντελεστή ισχύος (συνφ). Οι θετικές τιμές του συνφ είναι μεταξύ 0 και 1, οπότε όσο η τιμή του συνφ πλησιάζει το 1 (μικραίνει η γωνία φ), τόσο η τιμή της ενεργού ισχύος μεγαλώνει.
- όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία φ , τόσο μεγαλύτερη είναι και η άεργος ισχύς που απορροφάται και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό απορροφούμενο ρεύμα.
- για μία συγκεκριμένη απαίτηση σε ενεργό ισχύ, όσο χαμηλότερη τιμή έχει ο συντελεστής ισχύος (μεγάλη γωνία φ), τόσο μεγαλύτερη είναι η απορροφούμενη φαινόμενη ισχύς και έτσι τόσο μεγαλύτερο το απορροφούμενο από την εγκατάσταση ρεύμα, καθώς η τάση τροφοδοσίας θεωρείται σταθερή.

Ο συντελεστής ισχύος (συνφ), εξαρτάται άμεσα από το είδος των καταναλώσεων (συσκευές, μηχανήματα) που περιλαμβάνει μια ηλεκτρική εγκατάσταση. Όταν η κατανάλωση είναι καθαρά ωμική αντίσταση, η τιμή του συντελεστή ισχύος είναι $\text{συν}\varphi=1$ και αποτελεί την ιδανική περίπτωση συμπεριφοράς μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης όταν αυτή τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι περισσότερες καταναλώσεις που χρησιμοποιούνται σε μια βιομηχανία, έχουν επαγωγική συμπεριφορά, με αποτέλεσμα η συνολική ηλεκτρική εγκατάσταση να αποκτά και αυτή επαγωγικό χαρακτήρα.

Συσκευές και μηχανήματα όπως οι μετασχηματιστές, οι ασύγχρονοι κινητήρες, τα μηχανήματα ηλεκτροσυγκόλλησης, οι επαγωγικοί φούρνοι κ.λπ. που συνήθως χρησιμοποιούνται σε μια βιομηχανική εγκατάσταση, απαιτούν για τη λειτουργία τους την ύπαρξη μαγνητικού πεδίου. Για τη δημιουργία αυτού του πεδίου απαιτείται ποσότητα ρεύματος η οποία είναι υπεύθυνη: για τη διαμόρφωση του επαγωγικού χαρακτήρα της εγκατάστασης, τη μείωση της τιμής του συντελεστή ισχύος και την αύξηση της συνολικής τιμής της έντασης του απορροφούμενου από το δίκτυο ρεύματος χωρίς όμως να προσφέρει ενεργά στο τελικό παραγόμενο έργο.

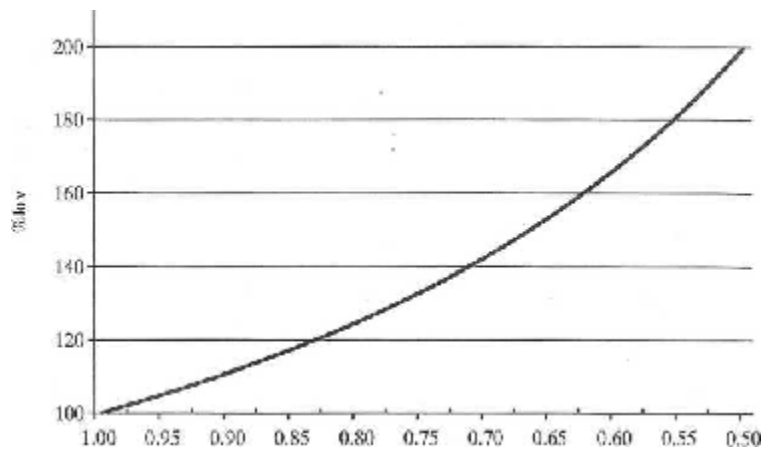
Ιδανική θα ήταν η περίπτωση που υπήρχε ισοκατανομή μεταξύ των χρησιμοποιούμενων επαγωγικών και χωρητικών καταναλώσεων που χρησιμοποιούνται σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση, οπότε θα είχαμε αυτόματη αντιστάθμιση μεταξύ τους και η τιμή του συντελεστή ισχύος θα πλησίαζε τη μονάδα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή του απορροφούμενου ρεύματος σε σχέση με την τιμή του συντελεστή ισχύος, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.14. Μελετώντας τη γραφική παράσταση του σχήματος 3.14, παρατηρούμε ότι:

- το απορροφούμενο ρεύμα αυξάνεται, όσο ο συντελεστής ισχύος (συνφ) μειώνεται
- με συντελεστή ισχύος $\text{συν}\varphi=0,5$, το απορροφούμενο ρεύμα είναι 100% μεγαλύτερο του απαιτούμενου ενεργού ρεύματος
- με συντελεστή ισχύος $\text{συν}\varphi=0,9$, το απορροφούμενο ρεύμα είναι 10% μεγαλύτερο από

το απαιτούμενο ενεργό ρεύμα

- όταν η τιμή του συντελεστή ισχύος τείνει στη μονάδα, η τιμή του απορροφούμενου από την εγκατάσταση ρεύματος, αντιστοιχεί στο ενεργό (ωφέλιμο) ρεύμα.



Σχήμα 3.14 Γραφική παράσταση του απορροφούμενου ρεύματος από μια ηλεκτρική εγκατάσταση, σαν συνάρτηση του συντελεστή ισχύος που αυτή παρουσιάζει.

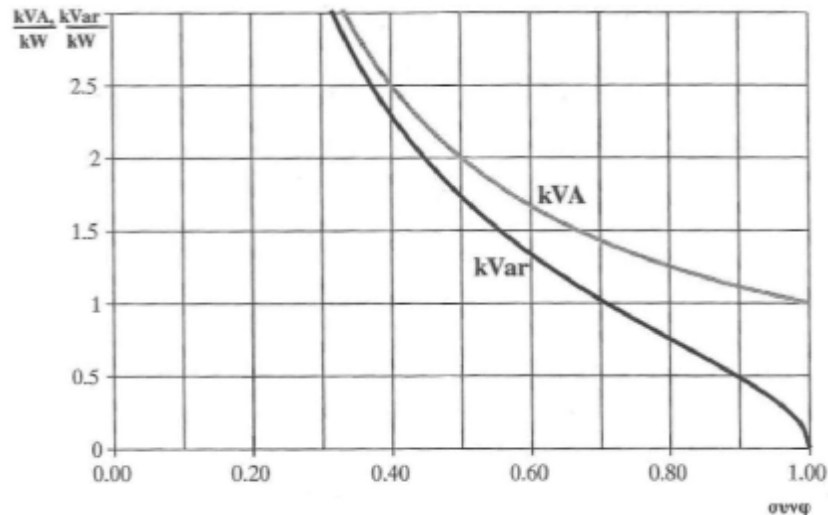
Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση, κύρια επιδίωξη μας είναι να κρατάμε τη τιμή του συντελεστή ισχύος όσο το δυνατόν κοντά στη μονάδα.

Καθώς η συμπεριφορά των καταναλώσεων είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία επαγωγική, για την αντιστάθμιση χρησιμοποιούμε καταναλώσεις με χωρητική συμπεριφορά (πυκνωτές), μεγιστοποιώντας με αυτό τον τρόπο την τιμή του συντελεστή ισχύος (συνφ) που η εγκατάσταση παρουσιάζει. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή σαν **διόρθωση ή βελτίωση του συντελεστή ισχύος** ή αλλιώς σαν αντιστάθμιση της άεργης ισχύος που μια ηλεκτρική εγκατάσταση απορροφά.

Όταν λοιπόν λέμε ότι θέλουμε να διορθώσουμε το συντελεστή ισχύος ή αλλιώς να κάνουμε αντιστάθμιση της άεργου ισχύος, εννοούμε ότι επιδιώκουμε να μικρύνουμε όσο γίνεται περισσότερο την άεργο ισχύ και να μπορούμε συνεπώς να εκμεταλλευθούμε όλη την ισχύ που μπορεί η πηγή να μας προσφέρει.

Επιτυγχάνοντας τιμή του συντελεστή ισχύος πλησίον της μονάδας, περιορίζουμε το άεργο απορροφούμενο από την εγκατάσταση ρεύμα στο λιγότερο δυνατό και συνεπώς αποφεύγουμε την άσκοπη καταπόνηση της εγκατάστασης με ρεύμα το οποίο δεν παράγει ωφέλιμο έργο.

Με βάση το σχήμα 3.15, για την τροφοδότηση ενός φορτίου 200kW με συντελεστή ισχύος $\cos \phi = 0,7$, απαιτείται φαινόμενη ισχύς της πηγής τροφοδοσίας ίση με $1,43 \times 200 = 286$ kVA ενώ συγχρόνως η άεργη ισχύς θα είναι $1,02 \times 200 = 204$ kVAr.



Σχήμα 3.15 Μεταβολή της ανηγμένης ανά kW φαινόμενης και άεργου ισχύος, σαν συνάρτηση του συνφ.

3.3 Αρνητικές συνέπειες της χαμηλής τιμής του συντελεστή ισχύος

Επιδίωξη μας σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση είναι να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της προσφερόμενης ισχύος από την πηγή τροφοδοσίας. Αυτό ισοδυναμεί με μηδενισμό του διανύσματος της άεργης ισχύος O (μηδενισμό του άεργου ρεύματος δηλαδή), γεγονός που ισχύει μόνο για την περίπτωση που έχουμε καθαρά ωμικό φορτίο ως κατανάλωση. Στην πράξη, αυτό δεν μπορεί εύκολα να συμβεί, καθώς οι συνηθισμένες και ευρύτατα χρησιμοποιούμενες καταναλώσεις όπως είναι οι ασύγχρονοι κινητήρες, διαθέτουν πηνία και συνεπώς εμφανίζουν επαγωγική συμπεριφορά.

Η αύξηση του ρεύματος που απορροφάται από ένα δίκτυο τροφοδοσίας εξαιτίας του χαμηλού συντελεστή ισχύος, έχει αρνητικό τελικά αντίκτυπο σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση καθώς

- επηρεάζεται ο χρόνος ζωής της, διότι, καταπονείται χωρίς λόγο από ρεύματα μεγάλης εντάσεως.
- μειώνεται η απόδοσή της, διότι ένα σημαντικό μέρος του ρεύματος δεν παράγει έργο.

Προβλήματα που δημιουργούνται από την άσκοπη απορρόφηση ρεύματος με τιμή μεγαλύτερη της απαιτούμενης είναι:

1. Η αύξηση των θερμικών απωλειών στα καλώδια μεταξύ μετρητή και πίνακα διανομής, στους αγωγούς της εγκατάστασης, στα τυλίγματα των μετασχηματιστών διανομής, στις διατάξεις προστασίας και στα μέσα απόζευξης.
2. Η αύξηση της πτώσης τάσης στα τυλίγματα των μετασχηματιστών διανομής και στα καλώδια τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα τη μη ικανοποιητική τροφοδοσία των καταναλώσεων και άρα τη μειωμένη απόδοσή τους.
3. Η περιορισμένη εκμετάλλευση των εγκαταστάσεων, καθώς αυτές δεν μπορούν να αξιοποιηθούν πλήρως, με αποτέλεσμα τη χαμηλή απόσβεση κόστους

3.3.1 Απώλειες καλωδίων

Οι θερμικές απώλειες ενός καλωδίου με συγκεκριμένη διατομή, είναι ανάλογες του τετραγώνου της έντασης του ρεύματος που το διαρρέει:

$$P_{\text{qerm}} = I^2 \times R \quad [\text{Watts}] \quad (3.10)$$

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος από μία αρχική τιμή $\cos\phi_1$ σε μια τελική τιμή $\cos\phi_2$:

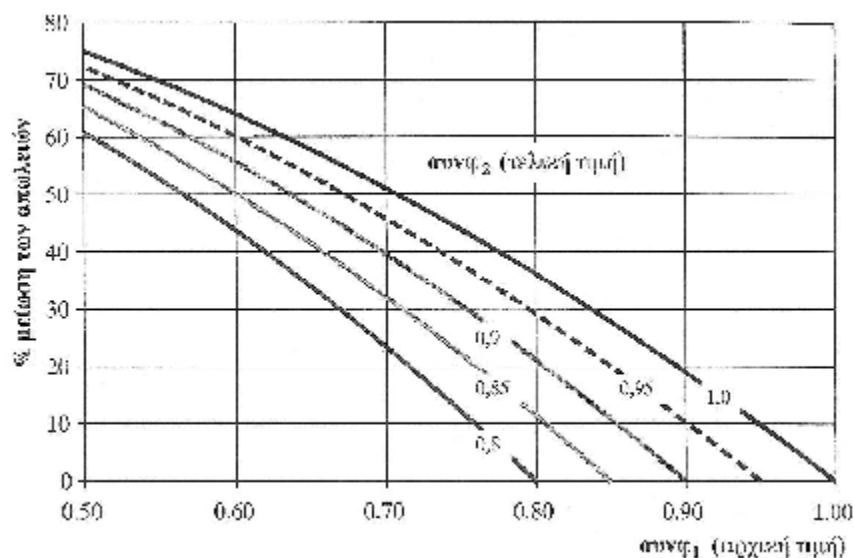
- επιτυγχάνει μείωση του ρεύματος της εγκατάστασης, για μια ορισμένη απαίτηση σε ενεργό ισχύ.
- μειώνει τις θερμικές απώλειες του καλωδίου με βάση το συντελεστή:

$$\left[1 - \left(\frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right)^2 \right] \times 100\% \quad (3.11)$$

όπου $\cos\phi_1$ είναι η αρχική και $\cos\phi_2$ είναι η τελική τιμή του συντελεστή ισχύος.

Στο σχήμα 3.16 φαίνεται η επίδραση που έχει η βελτίωση του συντελεστή ισχύος στη μείωση των θερμικών απωλειών στους αγωγούς. Ειδικότερα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι:

- βελτίωση του $\cos\phi$ από 0,6 σε 0,8 προκαλεί μείωση των θερμικών απωλειών στους αγωγούς κατά 44%
- βελτίωση του $\cos\phi$ από 0,6 σε 1,00 προκαλεί μείωση των θερμικών απωλειών στους αγωγούς κατά 64%



Σχήμα 3.16 Ποσοστιαία μεταβολή των θερμικών απωλειών στους αγωγούς, σαν συνάρτηση της τιμής του συντελεστή ισχύος.

Παράδειγμα

Υποθέτουμε ότι έχουμε μία εγκατάσταση ενός αντλιοστασίου, με τριφασικό κινητήρα 37kW/380V και συνφ 0,72. Το καλώδιο τροφοδοσίας είναι εναέριο 35mm² και έχει μήκος 180m. Η εγκατάσταση λειτουργεί 480 ώρες το μήνα. Θα υπολογίσουμε την ετήσια οικονομία ενέργειας, όταν ο συντελεστής ισχύος βελτιωθεί σε 0,95.

Υπολογίζουμε το ρεύμα κάθε φάσης της γραμμής τροφοδοσίας με τη σχέση:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{synf}} \quad (3.12)$$

για συνφ = 0,72 το ρεύμα είναι $I_1 = 78A$

για συνφ = 0,95 το ρεύμα είναι $I_2 = 59A$

Θεωρώντας ότι η ωμική αντίσταση του καλωδίου είναι 0,0005Ω/m, για τα 180m θα έχουμε συνολική ωμική αντίσταση 0,09Ω.

Οι θερμικές απώλειες στο καλώδιο για τις δυο τιμές του συνφ είναι:

$$\text{για συνφ} = 0,72 \quad p = 3 \times R I_1^2 = 1.643 \text{ W}$$

$$\text{για συνφ} = 0,95 \quad p = 3 \times R I_2^2 = 940 \text{ W}$$

Με τη βελτίωση δηλαδή του συνφ επιτυγχάνουμε μείωση των θερμικών απωλειών κατά 703W και η ετήσια διαφορά σε κατανάλωση ενέργειας είναι 703[W] × 480[ώρες] × 12[μήνες] = 4.050[kWh].

3.3.2 Απώλειες στους μετασχηματιστές

Στους μετασχηματιστές έχουμε δύο ειδών απώλειες:

- τις απώλειες σιδήρου που ανταποκρίνονται κατά προσέγγιση στην ισχύ, που καταναλώνεται στο μετασχηματιστή κατά τη λειτουργία του χωρίς φορτίο
- τις απώλειες χαλκού που μεταβάλλονται με το τετράγωνο του ρεύματος (I^2R σε Watts) και έτσι συνδέονται άμεσα με το συντελεστή ισχύος

Στο σχήμα 3.16 φαίνονται οι απώλειες ενός μετασχηματιστή σαν συνάρτηση της ισχύος του. Για τις απώλειες χαλκού υπό συνθήκες ονομαστικής φόρτισης του μετασχηματιστή ισχύει η σχέση

$$P_{on, \text{cal} \text{κού}} = I_{on}^2 \times R_{tul} = \left(\frac{S_{ov}}{V_{ov}} \right) \times R_{tul} \quad [Watt] \quad (3.13\alpha)$$

Σε συνθήκες μερικής φόρτισης, οι απώλειες χαλκού θα είναι ένα κλάσμα των απωλειών πλήρους φόρτισης, ανάλογα με το φορτίο που τροφοδοτεί ο μετασχηματιστής :

$$P_{f, \text{cal} \text{κού}} = I_f^2 \times R_{tul} = \left(\frac{S_f}{V_{ov}} \right) \times R_{tul} \quad [Watt] \quad (3.13\beta)$$

Όπου

$P_{on, χαλκού}$: οι απώλειες χαλκού για ονομαστική τιμή ρεύματος του μετασχηματιστή

I_{on}, V_{on}, S_{on} : τα ονομαστικά μεγέθη του μετασχηματιστή

$R_{τυλ}$: η ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή, εξαιτίας της οποίας εμφανίζονται οι απώλειες χαλκού

$P_{φ, χαλκού}$: οι απώλειες χαλκού σε συνθήκες μερικής φόρτισης του μετασχηματιστή

$I_φ$: το απορροφούμενο ρεύμα για συγκεκριμένο φορτίο

$S_φ$: η ισχύς του φορτίου ($P_φ/συνφ$) σε kVA.

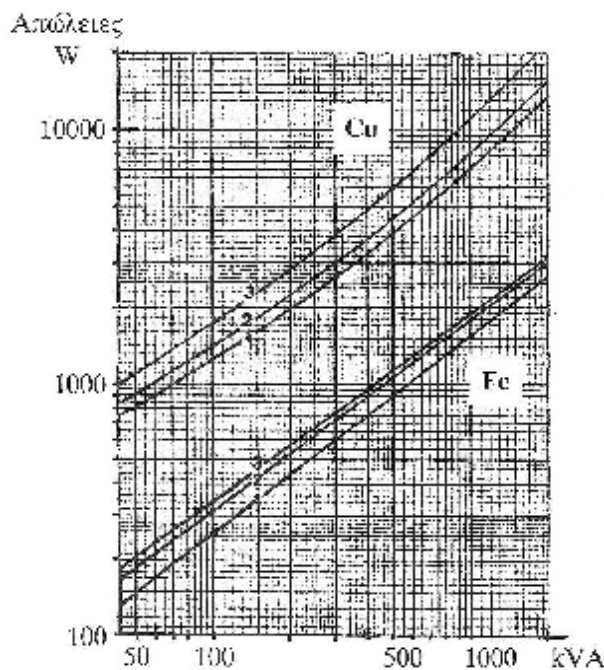
Διαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις (3.13α) και (3.13β), προκύπτει ότι:

$$P_{f, χαλκού} = P_{on, χαλκού} \times \left(\frac{S_f}{S_{on}} \right)^2 = P_{on, χαλκού} \times \left(\frac{P_f}{συνφ \times S_{on}} \right)^2 \quad [Watt] \quad (3.14)$$

Από το προσεγγιστικό διάγραμμα του σχήματος 3.16 μπορούμε να εκτιμήσουμε τις απώλειες $P_{on, χαλκού}$ και άρα να υπολογίσουμε τις απώλειες για συγκεκριμένο φορτίο του μετασχηματιστή.

Οι συνολικές απώλειες του μετασχηματιστή είναι ίσες με τις απώλειες σιδήρου συν τις απώλειες χαλκού.

$$P_{ολικό} = P_{σιδήρου} + P_{χαλκού} \quad [Watt] \quad (3.13β)$$



Σχήμα 3.17 Προσεγγιστικό διάγραμμα ονομαστικών απωλειών χαλκού και σιδήρου ενός μετασχηματιστή

3.3.2.1 Παράδειγμα

Υποθέτουμε ότι έχουμε ένα μετασχηματιστή 500 KVA, ο οποίος τροφοδοτεί ένα φορτίο 300kW με συντελεστή ισχύος $\cos\phi=0,7$. Η εγκατάσταση λειτουργεί 480 ώρες το μήνα. Θα υπολογίσουμε την ετήσια οικονομία ενέργειας, όταν ο συντελεστής ισχύος βελτιωθεί σε 0,95.

Απώλειες σιδήρου, απώλειες χαλκού

Από το προσεγγιστικό διάγραμμα απωλειών του σχήματος 3.17, έχουμε για την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή:

- απώλειες σιδήρου: περίπου 1150[W]
- απώλειες χαλκού: περίπου 6000[W]

Συνολικές απώλειες

- για $\cos\phi=0,7$ οι συνολικές απώλειες είναι: $1150+6000 \times (300/(0,7 \times 500))^2 = 5558$ [W]
- για $\cos\phi=0,95$ οι συνολικές απώλειες είναι: $1150+6000 \times (300/(0,95 \times 500))^2 = 3543$ [W]

Με τη βελτίωση δηλαδή του $\cos\phi$ επιτυγχάνουμε μείωση των συνολικών απωλειών κατά 2015[W].

Οικονομία ενέργειας

- Η ετήσια διαφορά σε κατανάλωση ενέργειας είναι: 2015 [W] $\times 480$ [ώρες] $\times 12$ [μήνες] = 11607 [kWh/year]
- Οικονομία ενέργειας: 11.607 [kWh/έτος].

Εάν ο συντελεστής ισχύος είχε τιμή 1, οι συνολικές απώλειες μειώνονται στα 3300[W], οπότε προκύπτει ένα κέρδος 2,25[kW]. Για χρόνο λειτουργίας του μετασχηματιστή 480 ώρες το μήνα, η ετήσια οικονομία ενέργειας θα είναι: $2,4$ [kW] $\times 480$ [ώρες] $\times 12$ [μήνες] = 12.960 [kWh/έτος].

3.3.3 Πτώση τάσης στα καλώδια

Μία γραμμή τροφοδοσίας, προσεγγιστικά είναι ηλεκτρικά ισοδύναμη με μία αντίσταση R και μία επαγωγή L (της τάξης των 0,4 έως 0,9 μ H/m), συνδεδεμένων σε σειρά. Η πτώση τάσης σε μία γραμμή που τροφοδοτεί ένα φορτίο με κάποιο συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ είναι

$$\Delta V = I_g \times (R \sin\phi + \omega L \cos\phi) \quad (3.16)$$

Για ένα ισορροπημένο τριφασικό δίκτυο, όπου η μέγιστη επιτρεπόμενη ανά φάση πτώση τάσης είναι $\eta\%$, ισχύουν επίσης οι σχέσεις:

$$P_{en} = \sqrt{3} V_{\pi} I_g \sin\phi \quad [\text{W}] \quad (3.17)$$

$$\Delta V = \frac{\eta\% V_p}{\sqrt{3}} \quad [\text{W}] \quad (3.18)$$

Η μέγιστη ενεργός ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί από τη γραμμή μεταφοράς, προκύπτει με συνδυασμό των προηγούμενων σχέσεων και είναι:

$$P_{en} = \frac{n\% V_p^2}{R + \omega L_{eff}} \quad [W] \quad (3.19)$$

όπου:

$P_{εν}$ Η ενεργός ισχύς που μεταφέρεται από τη γραμμή μεταφοράς προς το τριφασικό φορτίο

V_{π} η πολική τάση του τριφασικού δικτύου σε νοίί

I_{γ} το ρεύμα της γραμμής του τριφασικού δικτύου τροφοδοσίας

R η ωμική αντίσταση του αγωγού ανά μέτρο μήκους

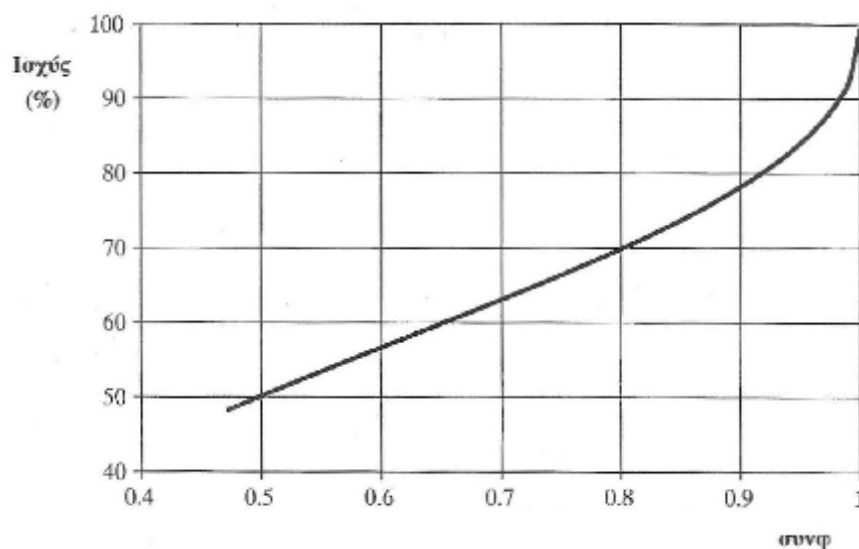
L η αυτεπαγωγή της γραμμής τροφοδοσίας ανά μέτρο μήκους

ω η κυκλική συχνότητα $2\pi f$ του δικτύου τροφοδοσίας.

Στο προσεγγιστικό διάγραμμα του σχήματος 3.17, φαίνεται η επίδραση που έχει η τιμή του συνφ στην ικανότητα μεταφοράς ισχύος από μια τριφασική γραμμή τροφοδοσίας.

Από το σχήμα 3.17 παρατηρούμε:

- για τιμές του συνφ έως 0,8 έχουμε σχεδόν γραμμική μεταβολή στην αύξηση της μεταφερόμενης ισχύος
- για τιμές του συνφ μεγαλύτερες του 0,8 έχουμε απότομη αύξηση της μεταφερόμενης ισχύος
- για βελτίωση του συνφ από 0,65 σε 1,00 έχουμε αύξηση κατά 40% της μεταφερόμενης ισχύος



Σχήμα 3.18 Μεταβολή της ικανότητας μεταφοράς ισχύος από τριφασική γραμμή τροφοδοσίας, σαν συνάρτηση της τιμής του συντελεστή ισχύος.

3.3.4 Φαινόμενη Ισχύς στο μετασχηματιστή

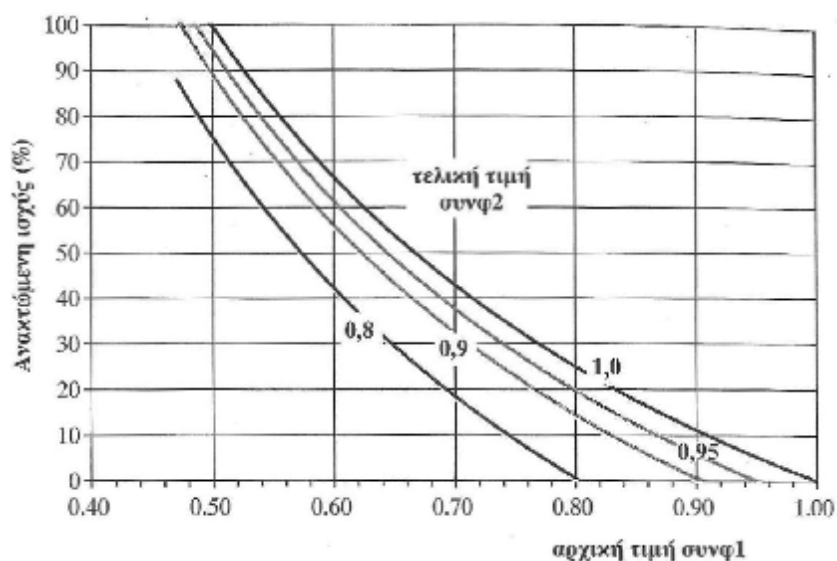
Η ισχύς που προσφέρει ένας μετασχηματιστής μετράται σε kVA ($V \times I$) και καλείται φαινόμενη ισχύς του μετασχηματιστή.

Αν και η απαίτηση είναι πάντα για ενεργό ισχύ, ένας μετασχηματιστής χαρακτηρίζεται από τη φαινόμενη ισχύ που μπορεί να προσφέρει, καθώς δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων τι φορτίο και υπό ποιο συντελεστή ισχύος θα τροφοδοτήσει.

Για μια συγκεκριμένη τάση, η μέγιστη φαινόμενη ισχύς που μπορεί να προσφερθεί από το μετασχηματιστή, αντιστοιχεί στο ονομαστικό του ρεύμα.

Προφανώς όσο πλησιέστερα στη μονάδα είναι η τιμή του $\cos\phi$, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό της προσφερόμενης φαινόμενης ισχύος από το μετασχηματιστή, μετατρέπεται σε ωφέλιμη για τον καταναλωτή ισχύ.

Έτσι λοιπόν βελτιώνοντας το συντελεστή ισχύος από μια αρχική τιμή $\cos\phi_1$ σε μια τελική τιμή $\cos\phi_2$, ο μετασχηματιστής προσφέρει μεγαλύτερη ενεργό ισχύ και τελικά επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευσή του, όταν ο συντελεστής ισχύος πλησιάζει τη μονάδα.



Σχήμα 3.19 Ανάκτηση ισχύος σε ένα μετασχηματιστή σαν συνάρτηση της αρχικής και της τελικής τιμής του $\cos\phi$.

Η επιπλέον διαθέσιμη φαινόμενη ισχύς, που προκύπτει όταν παραμένει ίδια η απαίτηση σε ενεργό ισχύ αλλά βελτιώνεται ο συντελεστής ισχύος, μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση:

$$kVA = kW \left(\frac{1}{\cos\phi_1} - \frac{1}{\cos\phi_2} \right) \quad (3.20)$$

Στο σχήμα 3.19 δίνεται προσεγγιστικά με τη βοήθεια γραφικής παράστασης η ανάκτηση ισχύος ως ποσοστό του τροφοδοτούμενου φορτίου από το μετασχηματιστή, σαν συνάρτηση της αρχικής και της τελικής τιμής του $\cos\phi$

3.3.4.1 Παράδειγμα

Ένας μετασχηματιστής ονομαστικής ισχύος 400 kVA, ο οποίος τροφοδοτεί ένα φορτίο 200kW με συντελεστή ισχύος $\cos\phi=0,5$, δουλεύει σε συνθήκες πλήρους φόρτισης. Εάν ο συντελεστής ισχύος βελτιωθεί σε 0,8 έχουμε ανάκτηση ισχύος ίση με το 75% του τροφοδοτούμενου φορτίου, δηλαδή 150kVA στο μετασχηματιστή. Επιπλέον βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε 1 αποδεσμεύει άλλα 50 kVA στο μετασχηματιστή

3.3.5 Συντελεστής ισχύος και λογαριασμός ρεύματος

Η χαμηλή τιμή του συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ θεωρείται γενικά ως μια προβληματική κατάσταση, καθώς δηλώνει το μικρό βαθμό εκμετάλλευσης και αξιοποίησης της απορροφούμενης ισχύος από το δίκτυο και οδηγεί στη δημιουργία προβλημάτων στην παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, λόγος για τον οποίο τελικά ο καταναλωτής επιβαρύνεται οικονομικά.

Το είδος των καταναλώσεων που υπάρχουν σε μια εγκατάσταση, διαμορφώνουν με τη λειτουργία τους το χαρακτήρα της, ο οποίος μπορεί να είναι επαγωγικός ή ωμικός και σπάνια χωρητικός. Η ιδανική περίπτωση από άποψη αξιοποίησης του απορροφούμενου από το δίκτυο ρεύματος, εμφανίζεται όταν η εγκατάσταση παρουσιάζει καθαρά ωμικό χαρακτήρα.

Σε κάθε άλλη περίπτωση το απορροφούμενο ρεύμα είναι μεγαλύτερο από αυτό που πραγματικά απαιτείται, από αυτό δηλαδή που συμβάλλει στην παραγωγή ωφέλιμης για τον καταναλωτή ενέργειας. Σαν συνέπεια έχουμε αύξηση των απωλειών Ιοι²τε, αύξηση της πτώσης τάσης κατά μήκος των αγωγών διανομής και τελικά μειωμένη εκμετάλλευση της συνολικής ισχύος που μπορεί να προσφέρει η πηγή τροφοδοσίας, καθώς ένα μέρος δεν παράγει ωφέλιμο έργο για τον καταναλωτή (άεργη ισχύς).

Τα προβλήματα που περιγράφηκαν δεν περιορίζονται στην πλευρά του καταναλωτή, αλλά μεταφέρονται όπως είναι φυσικό και προς το μέρος του δικτύου τροφοδοσίας. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι η χαμηλή τιμή του συντελεστή ισχύος επηρεάζει αρνητικά την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και γι αυτό το λόγο ο καταναλωτής επιβαρύνεται οικονομικά μέσω των τιμολογίων χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.3.5.1 Τιμολόγια Μ.Τ. για βιομηχανική χρήση και παράμετροι τιμολόγησης

Τα τιμολόγια Μέσης Τάσης για βιομηχανική χρήση που διατίθενται είναι δύο (Bίβ και B2β), η χρέωση γίνεται σε μηνιαία βάση και η επιλογή γίνεται από τον καταναλωτή. Προφανώς θα πρέπει να έχει προηγηθεί σχετική μελέτη η οποία με βάση τη δραστηριότητα της επιχείρησης και το συντελεστή χρησιμοποίησης της εγκατάστασης, να προτείνει το οικονομικότερο για τον καταναλωτή τιμολόγιο βιομηχανικής χρήσης.

Στον Πίνακα 3.1 φαίνονται οι τιμές χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας υπό Μέση Τάση για τα βιομηχανικά τιμολόγια Bίβ και B2β.

Επιχειρώντας μια πρώτη αποκωδικοποίηση των όσων αναφέρονται στον Πίνακα 3.1 παρατηρούμε ότι η συνολική χρέωση προκύπτει σαν άθροισμα της χρέωσης ενέργειας και της χρεωστέας ζήτησης ισχύος (XZ ή XMZ όπως αναγράφεται στο τιμολόγιο). Η ενέργεια που χρεώνεται είναι η διαφορά των ενδείξεων του μετρητή ενέργειας σε kWh στην αρχή και το τέλος μιας περιόδου χρήσης. Από τους ειδικούς όρους τιμολόγησης α και β του Πίνακα 3.1, προκύπτει ότι η χρεωστέα ζήτηση (XZ), υπολογίζεται σαν συνάρτηση της μέγιστης ζήτησης (MZ ή KMZ όπως αναγράφεται στο τιμολόγιο), του μηνιαίου συντελεστή χρησιμοποίησης (Σ.ΧΡΣ), του μηνιαίου συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$ ή ΣΥΝ) και της μέγιστης ζήτησης ισχύος κατά τις ώρες αιχμής (MA ή Z.AX.).

Πίνακας 3.1 Τιμές πωλήσεων ηλεκτρισμού υπό μέση τάση (ΜΤ) (Σεπτέμβριος 04)

ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ	
1. Τιμολόγιο Β1Β	
- Ισχύς: Χρεωστέα Ζήτηση (XZ)	7,3160 /kW
- Ενέργεια: Οι πρώτες 400 kWh ανά kW (MZ)	0,04328 €/kWh
- Ενέργεια: Οι υπόλοιπες kWh	0,0287 €/kWh
- Ελάχιστη χρέωση για XZ ≤ 5 kW	167,67 €
- Ελάχιστη χρέωση για XZ > 5 kW	1,6712 * (XZ-5) + 167,67 €
2. Τιμολόγιο Β2Β	
- Ισχύς: Χρεωστέα Ζήτηση (XZ)	2,6561 €/kW
- Ενέργεια: Όλες οι kWh	0,05661 €/kWh
- Ελάχιστη χρέωση για XZ ≤ 5 kW	167,67 €
- Ελάχιστη χρέωση για XZ > 5 kW	1,6712 * (XZ - 5) + 167,67 €
Ειδικοί όροι τιμολογίων Βιομηχανικής Χρήσης Β1Β, Β2Β:	
α.	XZ = MZ * (0,80/συνφ), αν συνφ ≤ 0,80 XZ = MZ * (0,85/συνφ), αν συνφ ≥ 0,85 XZ = MZ, αν 0,80 < συνφ < 0,85
β.	Αν ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερος από 30%, γίνεται μείωση της χρέωσης ισχύος ίση με [50 - 50 * (MA/MZ)]%, όπου MZ η καταγραφείσα μέγιστη ζήτηση ισχύος και MA η μέγιστη ζήτηση ισχύος κατά τις ώρες αιχμής.
γ.	Αν XZ > 8000 kW, το XZ-8000 αποτελεί "Συμφωνημένη Ισχύ" και παρακολουθεί τον καταναλωτή επί 12μηνο.
δ.	Μετά από αίτηση του καταναλωτή η ζήτηση κατά το νυχτερινό ωράριο και τις Κυριακές δεν λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της XZ και της μείωσης της χρέωσης ισχύος.
<i>Πηγή: www.dei.gr (Σεπτέμβριος 2004)</i>	

Ø Παρατηρήσεις

- Ο μηνιαίος συντελεστής ισχύος υπολογίζεται από τις ενδείξεις του μετρητή ενέργειας (kWh ή ΩXB) και του μετρητή άεργης ενέργειας (kVar ή ΩXBA). Με βάση αυτές τις ενδείξεις υπολογίζουμε την εφαπτομένη της γωνίας φ (ΕΦΑΠΤ.) και μέσω αυτής το συντελεστή ισχύος συνφ (ΣYN) ή απευθείας μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή

ισχύος από τη σχέση:
$$\text{synf} = \frac{\Omega XB}{\sqrt{\Omega XB^2 + \Omega XBA^2}}$$

- Ο συντελεστής χρησιμοποίησης Σ.ΧΡΣ ορίζεται ως η μέση προς τη μέγιστη ισχύ με βάση τη σχέση:
$$\text{Σ.ΧΡΣ} = \frac{\Omega XB}{\text{hμέρεV} \times 24 \times \text{KMZ}}$$

όπου ΩXB είναι η ενέργεια που έχει καταγραφεί από το μετρητή, και όπου "ημέρες" ο αριθμός των ημερών της περιόδου κατανάλωσης.

- Η ζήτηση ισχύος καταγράφεται με μετρητή ολοκλήρωσης τετάρτου της ώρας, είναι δηλαδή η μέση ισχύς σε ένα τέταρτο της ώρας.
- Η καταγραφείσα μέγιστη ζήτηση (KMZ) είναι το μέγιστο των ισχύων τετάρτου κατά τη διάρκεια του μήνα.
- Η μέγιστη ζήτηση ισχύος κατά τις ώρες αιχμής (MA ή Z.AX.), καταγράφεται για τις ώρες 10:00 έως 14:00 και 18:00 έως 21:00 για τη χρονική περίοδο Οκτώβριο έως Απρίλιο και για τις ώρες 10:00 έως 14:00 για τη χρονική περίοδο Μάιο έως Σεπτέμβριο.

3.3.5.2 Επίδραση της τιμής του συνφ στη Χρεωστέα Ζήτηση (XZ)

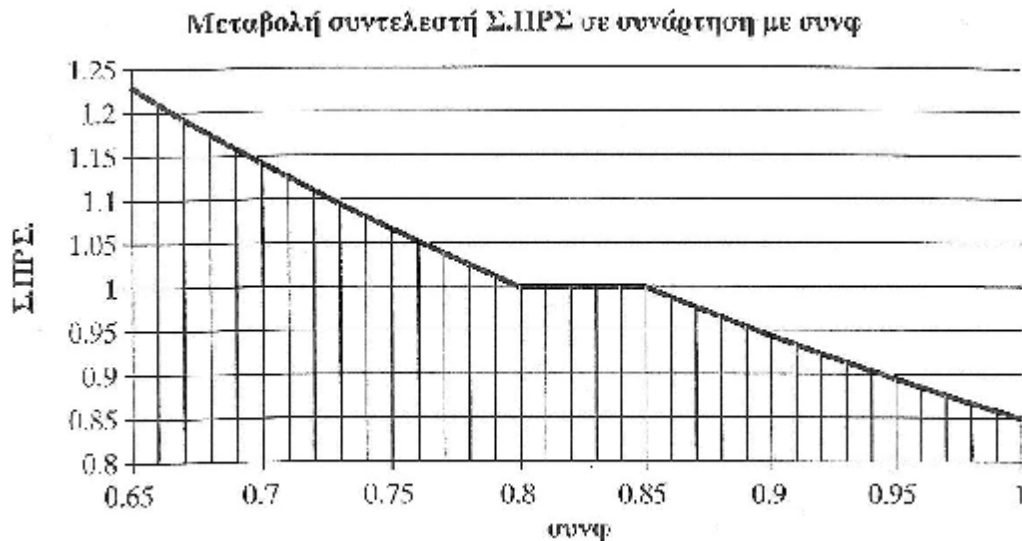
Από τον ειδικό όρο τιμολόγησης α του Πίνακα 3.1 προκύπτει ότι η χρεωστέα ζήτηση υπολογίζεται από τη σχέση $XZ = MZ \times (\Sigma.ΠΡΣ)$, όπου ο συντελεστής $\Sigma.ΠΡΣ$ που αναγράφεται και στο τιμολόγιο παίρνει τις εξής τιμές:

$$\Sigma.ΠΡΣ = \frac{0,8}{\text{synf}} \quad \text{για } \text{synf} \leq 0,8$$

$$\Sigma.ΠΡΣ = \frac{0,85}{\text{synf}} \quad \text{για } \text{synf} \geq 0,85$$

$$\Sigma.ΠΡΣ = 1 \quad \text{για } 0,8 < \text{synf} < 0,85$$

Η διαφοροποίηση αυτή του συντελεστή $\Sigma.ΠΡΣ$, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή ισχύος synf , έχει σαν αποτέλεσμα την οικονομική επιβάρυνση του καταναλωτή του οποίου η εγκατάσταση εμφανίζει $\text{synf} < 0,8$, αλλά και την έκπτωση στη χρέωση στην περίπτωση που η εγκατάσταση εμφανίζει $\text{synf} > 0,85$. Στο σχήμα 3.20 δίνεται σε γραφική παράσταση η μεταβολή του $\Sigma.ΠΡΣ$, σαν συνάρτηση της τιμής του συντελεστή ισχύος synf .



Σχήμα 3.20 Ο $\Sigma.ΠΡΣ$, προσαυξάνει τη χρεωστέα ζήτηση (X.Z.) όταν είναι $\text{synf} < 0,8$. Η προσαύξηση αυτή φτάνει σχεδόν το 25% όταν ο συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης κατέβει ως την τιμή $\text{synf} = 0,65$. Από την άλλη πλευρά (δηλαδή για $\text{synf} > 0,85$) ο $\Sigma.ΠΡΣ$, μειώνει τη X.Z. με μέγιστη έκπτωση 15% στην ιδανική περίπτωση όπου είναι $\text{synf} = 1$.

Παρατηρώντας την καμπύλη του σχήματος 3.20 διαπιστώνουμε ότι αν σε μια εγκατάσταση η οποία παρουσιάζει $\text{synf}=0,7$ κάνουμε διόρθωση του συντελεστή ισχύος και επιτύχουμε τελικά να έχουμε $\text{synf}=0,95$, τότε η μείωση στη χρέωση ισχύος που επιτυγχάνουμε φτάνει σχεδόν το 30%.

3.3.5.3 Συντελεστής Ισχύος και πληρωτέο ποσό

Πώς και κατά πόσο όμως η τιμή του synf επηρεάζει το λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας ή με άλλα λόγια τι πληρώνουμε εξαιτίας της τιμής του συντελεστή ισχύος;

Για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε την επίδραση της τιμής του συντελεστή ισχύος στη διαμόρφωση του ποσού που τελικά πληρώνουμε για την ηλεκτρική ενέργεια, θα εξετάσουμε ένα παράδειγμα βιομηχανικής εγκατάστασης η οποία τροφοδοτείται με Μέση Τάση και η χρέωση γίνεται με βάση το τιμολόγιο Β2β.

Στα σχήματα 3.20 έως και 3.21 φαίνεται ο λογαριασμός ηλεκτρικής ενέργειας για ένα συγκεκριμένο καταναλωτή, όπως αυτός διαμορφώνεται για τέσσερις διαφορετικές τιμές του συντελεστή ισχύος ($\text{synf}=0,75$, $\text{synf}=0,85$, $\text{synf}=0,95$ και $\text{synf}=1,0$).

ΕΚΔΟΣΗ 17/04/04 ΠΕΡ. ΚΑΤ. 12/03/2004-14/04/2004 ΠΜ.32 ΤΙΜ. Β2 β			
ΕΠΩΝΥΜΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ		ΠΡΟΚ.	ΚΟΔ.
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ		Κ. ΔΗΜ. 000000 ΕΔΓ	000 ΕΔΦ 0000 ΧΡΗΣΗ
Ζ. ΗΜ.	666	24/03/2003	ΝΥΚ. 0
Ζ. ΑΧ. 666		ΚΜΖ. 666	ΠΡ.12ΝΟΥ 680
ΜΤ/		ΕΙ.Κ.Σ. 925	
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ	Ω Χ.Β		Ω. Χ. Β. Α.
ΠΑΡΟΥΣΑ	7921		13847
ΠΡΟΗΓΟΥΜ.	7678		13633
ΔΙΔΦΟΡΑ	243		214
ΣΥΝΤΕΛΕΣ.	800		800
ΚΑΤΑΝΑΛ.	194400		171200
ΠΡΟΣΘΕΤΗ			
ΑΦΑΙΡΕΤ.			
ΣΥΝ. ΚΑΤ.	194400		171200 ΕΦΑΠΤ. 0,8807
ΜΕΙΟΝ ΕΝΔ.	-194400	A=32/30 ΑΝΑΙΩΓΗ ΚΑΤ Χ 30/32 -182250	
ΣΥΝ-	0,75	Σ.ΠΡΕ=1,07	ΧΜ7-712,6 Σ.ΧΡΕ 38% ΠΟΣ.ΕΚΠ= 0,0000
ΙΣΧ.	712,6	X 2,6521 X Α	1889,89 *ΠΑΓΙΑ ΧΡΕΩΣΗ 0,00
ΜΕΙΟΝ ΠΟΣΟ ΕΚΙΠΩΣΗΣ	0	*ΚΑ.1 182250 X 0,05661=	10317,18
ΕΠΙΒΑΡ. ΣΥΜΦΩΝ. ΙΣΧΥΟΣ	0	*ΚΑ.2	X
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΕΙΑ ΙΣΧΥΟΣ	1889,89	* ΑΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Χ Α	10736,71
		ΑΕΙΑ ΙΣΧ + ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	12207,07€

Σχήμα 3.21 Λογαριασμός ηλεκτρικής ενέργειας, για συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης $\text{synf}=0,75$.

Στην περίπτωση που είναι $\text{συνφ}=0,75$ έχουμε $\Sigma.\text{ΠΡ}\Sigma=1,07$. Αυτό σημαίνει ότι η χρεωστέα ζήτηση επιβαρύνεται κατά 7% και ενώ η καταγραφείσα τιμή είναι $\text{KMZ}=666\text{kW}$, πληρώνουμε τελικά για **712,6kW**. Το πληρωτέο ποσό για την αξία ισχύος και ενέργειας, διαμορφώνεται για τη συγκεκριμένη περίπτωση στα 12207,07€ Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι υπό αυτές τις συνθήκες η εγκατάσταση απορροφά πολύ περισσότερο ρεύμα από το απαιτούμενο (της τάξης του 33%), με αποτέλεσμα την άσκοπη καταπόνηση της αλλά και τη μείωση των περιθωρίων για επιπλέον εκμετάλλευση της.

Για $\text{συνφ}=0,85$ ο $\Sigma.\text{ΠΡ}\Sigma$ είναι ίσος με τη μονάδα. Σε αυτή την περίπτωση η χρέωση ισχύος δεν επιβαρύνεται. Το πληρωτέο ποσό είναι 12080,03€ Παρατηρούμε ότι έχουμε μια μηνιαία μείωση της τάξης των 127,04€ σε σχέση με την περίπτωση όπου ήταν $\text{συνφ}=0,75$.

Για τις περιπτώσεις του $\text{συνφ}=0,95$ και $\text{συνφ}=1,00$, οι λογαριασμοί που προκύπτουν φαίνονται στα σχήματα 3.22 και 3.23 αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι όταν είναι $\text{συνφ}=0,95$ ο συντελεστής $\Sigma.\text{ΠΡ}\Sigma$ έχει τιμή 0,895, είναι δηλαδή μικρότερος της μονάδας και συνεπώς λειτουργεί εκπωτικά προς τη χρέωση ισχύος. Έτσι λοιπόν ενώ η KMZ είναι 666kW, η χρέωση γίνεται για 596,1kW. Το πληρωτέο ποσό διαμορφώνεται στα 11898,09€, έχουμε δηλαδή μηνιαία μείωση 308,98€ σε σχέση με την περίπτωση που είχαμε $\text{συνφ}=0,75$.

ΕΚΔΟΣΗ 17/04/04 ΠΕΡ. ΚΑΤ. 12/03/2004-14/04/2004 ΗΜ.32 ΤΠΜ. Β2 β			
ΕΠΩΝΥΜΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ		ΠΡΟΚ.	ΚΟΔ.
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ		Κ. ΔΗΜ. 000000	ΕΔΓ 000 ΕΔΦ 0000 ΧΡΗΣΗ
Z. 11Μ. 666	24/03/2003	ΝΥΚ. 0	ΣΥΜ.ΙΣ. 900
Z. ΑΧ. 666		KMZ. 666	ΠΡ.12ΝΟΥ 680 ΕΓΚ.ΙΣ. 925
ΜΤ/			
ΕΝΛΕΙΞΕΙΣ	Ω Χ Β		Ω Χ Β Α
ΠΑΡΟΥΣΑ	7921		13783
ΠΡΟΠΓΟΥΜ.	7678		13633
ΔΙΑΦΟΡΑ	243		150
ΣΥΝΤΕΛΕΣ.	800		800
ΚΑΤΑΝΑΛ.	194100		120000
ΠΡΟΣΘΕΤΗ			
ΑΦΑΙΡΕΤ.			
ΣΥΝ. ΚΑΤ.	194400		120000 ΕΦΑΙΠ. 0,6173
ΜΕΙΟΝ ΕΝΔ.	=194400	A-32/30	ΑΝΑΙΩΓΗ Η ΚΑΤ Χ 30/32 =182250
ΣΥΝ=	0,851	Σ.ΠΡΣ=	0,998 ΧΜΖ=664,7 Σ.ΧΡΣ 38% ΠΟΣ.ΕΚΠ. - 0,0000
ΙΣΧ. 664,7	X 2,5661	X Α	1762,85 *ΠΑΓΙΑ ΧΡΕΩΣΗ 0,00
ΜΕΙΟΝ ΠΟΣΟ ΕΚΠΤΩΣΗΣ	0		*ΚΑ.1 182250 X 0,05661 = 10317,18
ΕΠΙΒΑΡ. ΣΥΜΦΩΝ. ΙΣΧΥΟΣ	0		*ΚΑ.2 Χ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΙΣΧΥΟΣ	1762,85		* ΑΞΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Χ Α 10736,71
			ΑΞΙΑ ΙΣΧ + ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 12080,03€

Σχήμα 3.22 Λογαριασμός ηλεκτρικής ενέργειας, για συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης $\text{συνφ}=0,85$.

Για την περίπτωση που είναι $\text{synf}=1,00$ ο συντελεστής $\Sigma.\text{ΠΡ}\Sigma=0,85$ παρέχοντας έτσι τη μέγιστη έκπτωση που προσφέρεται με βάση τους ειδικούς όρους των τιμολογίων βιομηχανικής χρήσης. Στην περίπτωση που είναι $\Sigma\text{YN}=1,00$ έχουμε σχεδόν πλήρη αξιοποίηση της απορροφούμενης ισχύος και βέβαια τη μέγιστη δυνατότητα εκμετάλλευσης της εγκατάστασης. Το πληρωτέο ποσό για την περίπτωση όπου $\Sigma\text{YN}=1,00$ είναι 11818,53€ Για τη βελτίωση της τιμής του συντελεστή ισχύος από 0,75 σε 1,00 επιτυγχάνουμε τελικά μηνιαία οικονομία 388,54€ ή 4662,48€ το έτος.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι προκύπτει ένα πολύ σημαντικό ποσό, το οποίο γίνεται ακόμη μεγαλύτερο αν συνυπολογίσουμε το κόστος επισκευής και συντήρησης που επιβάλλεται από την άσκοπη καταπόνηση της εγκατάστασης.

ΕΚΔΟΣΗ 17/04/04 ΠΕΡ. ΚΑΤ. 12/03/2004-14/04/2004 ΗΜ.32 ΤΙΜ. Β2 β			
ΕΠΩΝΥΜΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ.		ΠΡΟΚ.	ΚΟΔ.
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ		Κ. ΔΗΜ. 000000 ΕΔΤ	000 ΕΔΦ 0000 ΧΡΗΣΗ
Z. ΗΜ.	666	24/03/2003	ΝΥΚ. 0 ΣΥΜ.ΙΣ. 900
Z. ΑΧ..	666		ΚΜΖ. 666 ΔΙΡ.12ΝΟΥ 680 ΕΓΚ.ΙΣ. 925
ΜΤ/			
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ	Ω Χ.Β	Ω. Χ. Β. Α.	
ΠΑΡΟΥΣΑ	7921	13713	
ΠΡΟΗΓΟΥΜ.	7678	13633	
ΔΙΑΦΟΡΑ	243	80	
ΣΥΝΤΕΛΕΣ.	800	800	
ΚΑΤΑΝΑΛ.	194400	64000	
ΠΡΟΣΘΕΤΗ			
ΑΦΑΙΡΕΤ.			
ΣΥΝ. ΚΑΤ.	194400	64000	ΕΦΑΠΤ. 0,3292
ΜΕΙΟΝ ΕΝΔ.	=194400	A=32/30	ΑΝΑΓΩΓΗ ΚΑΤ Χ 30/32 =182250
ΣΥΝ=	0,95	Σ.ΠΡΣ=0,895	ΧΜΖ=596,1 Σ.ΧΡΣ 38% ΠΟΣ.ΕΚΠ.= 0,0000
ΙΣΧ.	596,1 Χ 2,6521 Χ Α	1580,92	*ΠΑΓΙΑ ΧΡΕΩΣΗ 0,00
ΜΕΙΟΝ ΠΟΣΟ ΕΚΠΤΩΣΗΣ	0	*ΚΑ.1	182250 Χ 0,05661= 10317,18
ΕΠΙΒΑΡ. ΣΥΜΦΩΝ. ΙΣΧΥΟΣ	0	*ΚΑ.2	X
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΙΣΧΥΟΣ	1580,92	* ΑΞΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Χ Α	10736.71
		ΑΞΙΑ ΙΣΧ + ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11898,10€

Σχήμα 3.23 Λογαριασμός ηλεκτρικής ενέργειας, για συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης $\text{synf}=0,95$.

- Ø Παρατήρηση: Για να φανεί μέσω του συγκεκριμένου παραδείγματος η επίδραση που έχει η τιμή του συντελεστή ισχύος και μόνο, στη διαμόρφωση του πληρωτέου ποσού, έχει θεθεί $Z.AX.=KΜΖ$ για να μηδενιστεί με αυτό τον τρόπο η έκπτωση που προκύπτει εξαιτίας του συντελεστή χρησιμοποίησης. Προφανώς στην πράξη κάθε άλλο παρά αυτή τη συνθήκη επιδιώκουμε.

ΕΚΛΟΣΗ 17/04/04 ΠΕΡ. ΚΑΤ. 12/03/2004-14/04/2004 ΗΜ.32 ΤΙΜ. Β2 β			
ΕΠΙΧΩΝΥΜΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ		ΠΡΟΚ.	ΚΟΔ.
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ		Κ. ΔΗΜ. 000000 ΕΔΤ	000 ΕΔΦ 0000 ΧΡΗΣΗ
Ζ. ΗΜ. 666	24/03/2003	ΝΥΚ. 0	ΣΥΜ.ΙΣ. 900
Ζ. ΑΧ. 666		ΚΜΖ. 666	ΠΡ.12ΝΟΥ 680 ΕΓΚ.ΙΣ. 925
ΜΙ/			
ΕΝΔΒΙΞΕΙΣ	Ω Χ.Β		Ω. Χ. Β. Α.
ΠΑΡΟΥΣΑ	7921		13639
ΠΡΟΪΠΟΥΜ.	7678		13633
ΔΙΑΦΟΡΑ	243		6
ΣΥΝΤΡΑΓΕΣ.	800		800
ΚΑΤΑΝΑΛ.	194400		4800
ΠΡΟΣΘΕΤΗ			
ΑΦΑΙΡΕΤ.			
ΣΥΝ. ΚΑΤ.	194400		4800 ΕΦΑΠΠ. 0,0247
ΜΕΙΟΝ ΕΝΔ.	=194400	Α=32/30 ΑΝΑΓΩΓΗ ΚΑΤ Χ 30/32 =182250	
ΣΥΝ=	1,000	Σ.ΠΡΣ=0,85	ΧΜΖ=566,1 Σ.ΧΡΣ 38% ΠΟΣ.ΕΚΠ.= 0,0000
ΙΣΧ. 566,1	Χ 2,6521	Χ Α 1501,35	*ΠΑΓΙΑ ΧΡΕΩΣΗ 0,00
ΜΕΙΟΝ ΠΟΣΟ ΕΚΠΤΩΣΗΣ	0	*ΚΑ.1 182250 Χ 0,05661=	10317,18
ΕΠΙΒΑΡ. ΣΥΜΦΩΝ. ΙΣΧΥΟΣ	0	*ΚΑ.2	Χ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΙΣΧΥΟΣ	1501,35	* ΑΞΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Χ Α	10736,71
		ΑΞΙΑ ΙΣΧ + ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11818,53€

Σχήμα 3.24 Λογαριασμός ηλεκτρικής ενέργειας, για συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης $\text{συνφ}=1,00$.

3.4 Αντιστάθμιση άεργης ισχύος - Διόρθωση συνφ

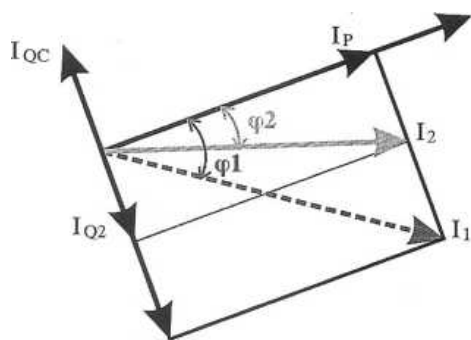
Ο υπολογισμός της απαιτούμενης άεργης ισχύος και η εκλογή του είδους των πυ- κνωτών και του τρόπου εγκατάστασης τους με σκοπό τη βελτίωση του συνφ σε ένα δίκτυο τροφοδοσίας, εξαρτάται άμεσα από το είδος των φορτίων και τη διαμόρφωση της εγκατάστασης.

Είναι γνωστό ότι ηλεκτρικά φορτία όπως οι ηλεκτροκινητήρες, οι μετασχηματιστές, οι μηχανές συγκόλλησης, οι επαγωγικοί φούρνοι, τα κλιματιστικά μηχανήματα, οι κινητήρες, οι λαμπτήρες φθορισμού κ.λπ. καταναλώνουν επαγωγική άεργη ισχύ.

Η αντιστάθμιση, ή διόρθωση του συντελεστή ισχύος, αφορά στην τοποθέτηση πυκνωτών στην εγκατάσταση, έτσι ώστε η απαιτούμενη άεργη ισχύς να παρέχεται από τους πυκνωτές αυτούς και όχι από το δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρίας παραγωγής ενέργειας.

3.4.1 Αρχή λειτουργίας της αντιστάθμισης

Υποθέτουμε ότι μια εγκατάσταση με επαγωγικό χαρακτήρα, απορροφά ένα συνολικό ρεύμα I_1 το οποίο καθυστερεί σε σχέση με το διάνυσμα της τάσης τροφοδοσίας κατά γωνία φ_1 . Με βάση το ρεύμα I_1 μπορούμε να υπολογίσουμε τη φαινόμενη ισχύ $S=UI_1$ [VA]. Το ρεύμα I_1 μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες I_P και I_{Q1} . Το διάνυσμα της συνιστώσας I_P είναι συμφασικό με το διάνυσμα της τάσης και αντιστοιχεί στο ρεύμα που παράγει έργο, ενώ το διάνυσμα I_{Q1} καθυστερεί σε σχέση με το διάνυσμα της τάσης κατά 90° και δηλώνει το άεργο ρεύμα που απορροφά η εγκατάσταση.



Σχήμα 3.25

Διανυσματικό διάγραμμα ρευμάτων, για ένα κύκλωμα που τροφοδοτεί επαγωγικό φορτίο. Μειώνοντας τη γωνία φ , μειώνεται και το απορροφούμενο από το κύκλωμα ρεύμα, για κάποιο συγκεκριμένο φορτίο.

Από το σχήμα 3.25 παρατηρούμε ότι:

- Μειώνοντας τη γωνία φ από την τιμή φ_1 σε μια νέα τιμή φ_2 και με δεδομένο ότι η κατανάλωση παραμένει σταθερή (δηλαδή το I_P είναι το ίδιο για τις δύο περιπτώσεις), επιτυγχάνουμε μείωση του συνολικού απορροφούμενου ρεύματος από αρχική τιμή I_1 σε μια τελική I_2 .
- Στην τελική τιμή I_2 του ρεύματος της εγκατάστασης, αντιστοιχεί άεργο ρεύμα I_{Q2} το οποίο είναι μικρότερο από το I_{Q1} .

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι είναι δυνατό να μειώσουμε το συνολικά απορροφούμενο ρεύμα μιας εγκατάστασης (χωρίς να έχουμε απώλεια σε παραγωγή έργου καθώς το I_P παραμένει ίδιο), απλά μειώνοντας το I_{Q1} . Μείωση του επαγωγικού I_{Q1} επιτυγχάνεται με την πρόσθεση ενός χωρητικού I_{QC} το οποίο προπορεύεται της τάσης κατά 90° . Τελικά και με βάση το σχήμα 3.25 θα ισχύει ότι

$$\boxed{I_{Q2} = I_{Q1} - I_{QC}} \quad (3.21)$$

3.4.2 Απαιτούμενη Άεργη Ισχύς

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης άεργης ισχύος Q_C (kVAr), μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Από τη συνολική άεργο ενέργεια που τιμολογήθηκε στο λογαριασμό ρεύματος R [kVAr] και τις ώρες λειτουργίας t [h] της εγκατάστασης, ως εξής:

$$Q_C = \frac{R}{t} \quad (3.22)$$

- Από την ενεργό ισχύ P (kW), και το συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ της εγκατάστασης, ως εξής:

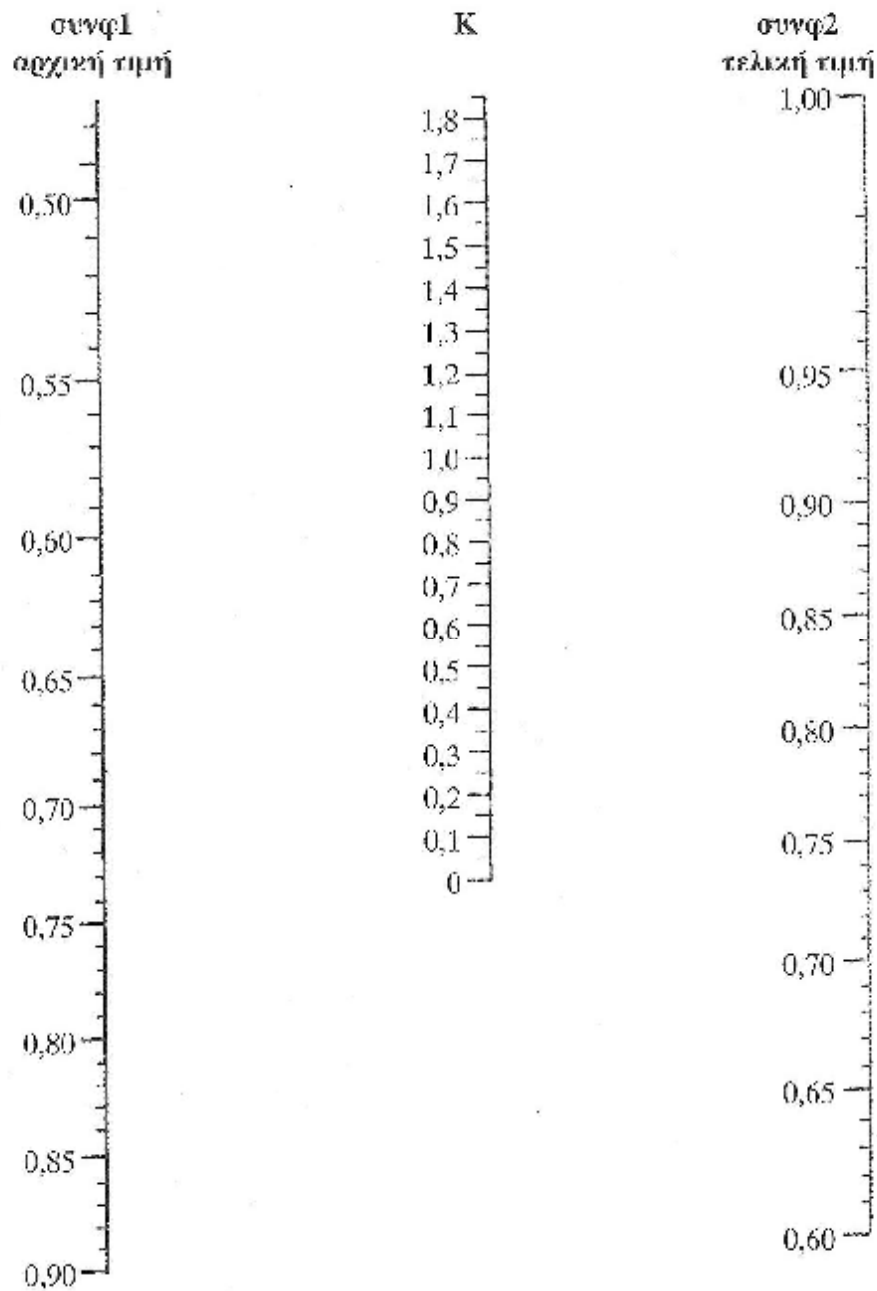
$$Q_C = P(\cos\phi_1 - \cos\phi_2) \quad (3.23)$$

όπου η $\cos\phi_1$ η εφαπτομένη της γωνίας ϕ_1 που αντιστοιχεί στο συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης πριν την αντιστάθμιση και η $\cos\phi_2$ η εφαπτομένη της γωνίας ϕ_2 που αντιστοιχεί στο συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης μετά την αντιστάθμιση.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης άεργης ισχύος για τη βελτίωση του $\cos\phi$, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και προσεγγιστικές γραφικές μέθοδοι, όπως είναι το νομόγραμμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.26. Για τη χρήση του νομογράμματος αυτού, φέρνουμε μια ευθεία γραμμή η οποία να συνδέει την αρχική τιμή του $\cos\phi$ (πρώτη στήλη) με την τελική επιθυμητή τιμή του (τρίτη στήλη). Το σημείο τομής της ευθείας με τη μεσαία στήλη μας δίνει την τιμή ενός συντελεστή (K) με την οποία θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί η ενεργός ισχύς P , για να προκύψει η απαιτούμενη άεργη ισχύς Q_C .

Ας θεωρήσουμε σαν παράδειγμα μια εγκατάσταση της οποίας το φορτίο έχει ισχύ 200kW και ο συντελεστής ισχύος είναι $\cos\phi=0,74$. Επιθυμούμε τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε τελική τιμή 0,9. Με τη γραφική μέθοδο του σχήματος 3.26, παρατηρούμε ότι η ευθεία που ξεκινά από το 0,74 της πρώτης στήλης και καταλήγει στο 0,9 της τρίτης στήλης, τέμνει τη μεσαία στήλη στην τιμή 0,42. Συνεπώς η απαιτούμενη άεργη ισχύς για τη βελτίωση του $\cos\phi$ είναι $200 \times 0,42 = 84 \text{ kVAr}$.

Οι τιμές του συντελεστή k για διάφορες αρχικές και τελικές τιμές του $\cos\phi$, συνοψίζονται στον Πίνακα 3.2



Σχήμα 3.26 Γραφική προσεγγιστική μέθοδος για τον υπολογισμό της απαιτούμενης άεργης ισχύος, για τη βελτίωση του συνφ από μια αρχική τιμή $\sigma\upsilon\upsilon\phi_1$ σε μια τελική τιμή $\sigma\upsilon\upsilon\phi_2$

Πίνακας 3.2 Τιμές συντελεστή k για υπολογισμό της απαιτούμενης άεργης ισχύος $Q_c = k \times P$ [kVAr]

συνφ ₁ αρχική τιμή	συνφ ₂ τελική τιμή												
	0,70	0,75	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,98	1,00
0,20	3,88	4,02	4,15	4,19	4,28	4,33	4,41	4,46	4,51	4,57	4,59	4,69	4,90
0,25	2,85	2,99	3,12	3,17	3,25	3,32	3,38	3,45	3,50	3,54	3,58	3,66	3,87
0,30	2,16	2,30	2,43	2,48	2,56	2,62	2,69	2,75	2,81	2,85	2,88	2,97	3,18
0,35	1,66	1,79	1,93	1,98	2,06	2,12	2,19	2,25	2,31	2,35	2,38	2,47	2,68
0,40	1,27	1,41	1,54	1,59	1,67	1,72	1,80	1,86	1,93	1,96	2,00	2,08	2,29
0,42	1,14	1,28	1,41	1,46	1,54	1,59	1,68	1,74	1,80	1,83	1,87	1,95	2,16
0,44	1,02	1,16	1,29	1,34	1,42	1,47	1,56	1,62	1,67	1,71	1,75	1,83	2,04
0,46	0,91	1,05	1,18	1,23	1,31	1,36	1,45	1,50	1,56	1,60	1,64	1,72	1,93
0,48	0,80	0,95	1,08	1,13	1,20	1,26	1,33	1,40	1,47	1,49	1,54	1,61	1,82
0,50	0,71	0,85	0,98	1,03	1,11	1,18	1,25	1,31	1,37	1,40	1,44	1,52	1,73
0,52	0,62	0,76	0,89	0,94	1,02	1,08	1,16	1,22	1,28	1,31	1,35	1,43	1,64
0,54	0,54	0,68	0,81	0,86	0,94	0,99	1,07	1,13	1,19	1,23	1,20	1,35	1,56
0,56	0,46	0,60	0,73	0,78	0,86	0,91	1,00	1,05	1,12	1,15	1,18	1,27	1,48
0,58	0,38	0,52	0,65	0,70	0,78	0,85	0,92	0,98	1,04	1,07	1,11	1,19	1,40
0,60	0,31	0,45	0,58	0,64	0,71	0,78	0,85	0,91	0,98	1,01	1,05	1,13	1,34
0,62	0,24	0,38	0,52	0,57	0,65	0,70	0,78	0,84	0,90	0,93	0,97	1,06	1,26
0,64	0,18	0,32	0,45	0,50	0,58	0,63	0,72	0,77	0,83	0,87	0,90	0,99	1,20
0,66	0,12	0,26	0,39	0,44	0,52	0,57	0,65	0,71	0,77	0,81	0,85	0,93	1,14
0,68	0,06	0,20	0,33	0,38	0,46	0,51	0,59	0,65	0,71	0,75	0,77	0,87	1,08
0,70	-	0,14	0,27	0,32	0,40	0,45	0,53	0,59	0,66	0,69	0,73	0,81	1,02
0,72	-	0,08	0,21	0,27	0,34	0,40	0,48	0,54	0,60	0,63	0,67	0,76	0,96
0,74	-	0,03	0,16	0,21	0,29	0,35	0,42	0,48	0,55	0,58	0,62	0,70	0,90
0,76	-	-	0,10	0,16	0,24	0,29	0,37	0,43	0,49	0,52	0,56	0,65	0,85
0,78	-	-	0,05	0,10	0,18	0,24	0,31	0,38	0,44	0,47	0,51	0,59	0,80
0,80	-	-	-	0,05	0,13	0,18	0,26	0,32	0,39	0,42	0,46	0,54	0,75
0,82	-	-	-	-	0,08	0,13	0,21	0,27	0,33	0,37	0,40	0,49	0,69
0,84	-	-	-	-	0,03	0,09	0,16	0,22	0,28	0,32	0,35	0,44	0,64
0,86	-	-	-	-	-	0,03	0,11	0,17	0,23	0,26	0,30	0,39	0,59
0,88	-	-	-	-	-	-	0,06	0,11	0,18	0,21	0,25	0,33	0,54
0,90	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,12	0,15	0,19	0,27	0,48
0,92	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,09	0,13	0,22	0,42
0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,07	0,16	0,36
0,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,28
0,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21

Ø Παρατήρηση: Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν η απαιτούμενη άεργη ισχύς, Q_c , είναι μεγαλύτερη από 1000 kVAr, τότε συνιστάται η αντιστάθμιση να γίνεται από πυκνωτικές μονάδες μέσης τάσης.

3.4.3 Μέθοδοι και είδη αντιστάθμισης

Οι απαιτήσεις για άεργη ισχύ μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κατηγορίες:

- **Απαίτηση συνεχής:** Τα άεργα φορτία είναι σταθερά, όπως στην περίπτωση του ρεύματος μαγνήτισης ενός μετασχηματιστή διανομής. Ένας σταθερός πυκνωτής καλύπτει την κατηγορία αυτή.
- **Απαίτηση μεταβλητή:** Τα συνολικά άεργα φορτία μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά είναι πολύ μικρά για να εφαρμοστεί ανεξάρτητη αντιστάθμιση (για οικονομικούς λόγους). Έτσι θα πρέπει η άεργος ισχύς να μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο, δηλαδή υπάρχει ανάγκη εγκατάστασης αυτόματης συστοιχίας πυκνωτών.
- **Στιγμιαία απαίτηση:** Είναι η περίπτωση στην οποία η απαίτηση είναι σημαντική σε μέγεθος για πολύ μικρό διάστημα. Η ζεύξη και η απόζευξη πρέπει να είναι πολύ γρήγορη (μεταξύ 0 και 20msec). Μπορεί να αντιμετωπιστεί με πυκνωτές ελεγχόμενους από θυρίστωρες.

Διακρίνουμε τέσσερις μεθόδους αντιστάθμισης των οποίων τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αναφέρονται παρακάτω:

α) **Ανεξάρτητη αντιστάθμιση:** Εφαρμόζεται σε καταναλώσεις με σταθερές συνθήκες φόρτισης και όταν η ισχύς των φορτίων (μετασχηματιστών ή κινητήρων) είναι αρκετά σημαντική σε σχέση με τη συνολική ισχύ της εγκατάστασης. Η κάθε κατανάλωση συνδέεται με μια διάταξη πυκνωτών κατάλληλης ισχύος.

Πλεονεκτήματα

- Η άεργη ισχύς παράγεται ακριβώς στο σημείο που απαιτείται.
- Μειώνεται η πτώση τάσης και η απώλεια στις γραμμές διανομής της εγκατάστασης.
- Επιτυγχάνεται οικονομία στις διατάξεις ζεύξης.

Μειονεκτήματα

- Πολλοί μικροί πυκνωτές κοστίζουν περισσότερο από μία μεγαλύτερη μονάδα με την ίδια συνολική ισχύ.
- Μικρός συντελεστής χρησιμοποίησης των εγκατεστημένων πυκνωτών, σε καταναλώσεις που δεν χρησιμοποιούνται συχνά

β) **Αντιστάθμιση κατά ομάδες:** Κάθε ομάδα επαγωγικών καταναλωτών με την ίδια κατά το δυνατό ισχύ και διάρκεια λειτουργίας, αντισταθμίζεται από ένα κοινό πυκνωτή. Αυτού του είδους η αντιστάθμιση χρησιμοποιείται για παράδειγμα στην αντιστάθμιση λαμπτήρων φθορισμού.

Πλεονεκτήματα

- Μείωση του κόστους επένδυσης για τους πυκνωτές.
- Μειώνεται η πτώση τάσης και η απώλεια στη γραμμή τροφοδοσίας της ομάδας.

Μειονεκτήματα

- Δεν μειώνεται το ρεύμα στις επιμέρους γραμμές διανομής προς τους καταναλωτές εντός μιας ομάδας.

γ) **Κεντρική αντιστάθμιση:** Με βάση αυτή τη μέθοδο, η παραγωγή της άεργης ισχύος γίνεται σε ένα μόνο σημείο της εγκατάστασης. Η άεργος ισχύς ενός πλήθους επαγωγικών καταναλωτών διαφορετικής ισχύος και διάρκειας λειτουργίας αντισταθμίζεται από μια ομάδα όμοιων μεταξύ τους πυκνωτών.

Πλεονεκτήματα

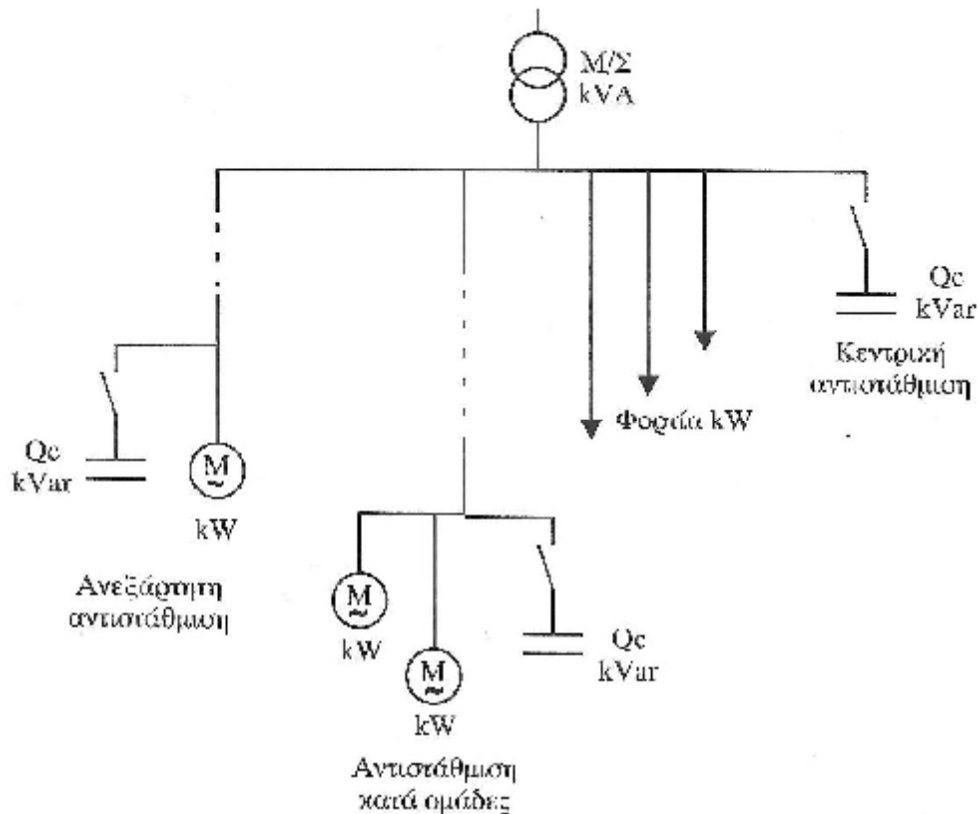
- Καλύτερη χρήση της ικανότητας των πυκνωτών.
- Εύκολη επιτήρηση της εγκατάστασης.

- Υπάρχει η δυνατότητα υλοποίησης κυκλωμάτων αυτομάτου ελέγχου.

Μειονεκτήματα

- Δεν μειώνεται το ρεύμα στις επιμέρους γραμμές διανομής προς τους καταναλωτές εντός της εγκατάστασης.

δ) **Συνδυασμένη αντιστάθμιση:** Με βάση τη μέθοδο αυτή, για τους καταναλωτές μεγάλης ισχύος εφαρμόζεται ανεξάρτητη αντιστάθμιση, ενώ για τους υπόλοιπους εφαρμόζεται ομαδική ή κεντρική αντιστάθμιση.



Σχήμα 3.27 Μέθοδοι αντιστάθμισης ισχύος σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση

3.4.4 Αυτόματη Αντιστάθμιση

Στην περίπτωση συνολικής ή μερικής αντιστάθμισης, η τιμή του λόγου $\frac{Q_c}{S_n}$ χρησιμοποιείται ως κριτήριο επιλογής ανάμεσα στη σταθερή ή την αυτόματη αντιστάθμιση, με Q_c (kVar) την απαιτούμενη άεργο ισχύ της μονάδας πυκνωτών και S_n (KVA) τη φαινόμενη ισχύ του μετασχηματιστή. Ειδικότερα, επιλέγεται αυτόματη αντιστάθμιση αν $\frac{Q_c}{S_n} > 15\%$ διαφορετικά επιλέγεται σταθερή αντιστάθμιση.

3.4.5 Επιδράσεις αρμονικών συνιστωσών ρεύματος στους πυκνωτές αντιστάθμισης

Μερικά φορτία (ρυθμιστές στροφών, μετατροπείς, μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, επαγωγικοί φούρνοι, φωτιστικά φθορισμού κ.τ.λ.) επιβαρύνουν το ηλεκτρικό δίκτυο με αρμονικές συνιστώσες του ρεύματος φορτίου, με αποτέλεσμα την υπερφόρτιση των πυκνωτών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των πυκνωτών αντιστάθμισης.

Ανάλογα με το επίπεδο μόλυνσης του δικτύου με αρμονικές, διατίθενται τρεις

διαφορετικοί τύποι πυκνωτών. Η τιμή του λόγου $\frac{G_h}{S_n}$ χρησιμοποιείται ως κριτήριο επιλογής ανάμεσα στους διαφορετικούς τύπους πυκνωτών, όπου G_h (kVA) είναι η φαινόμενη ισχύς όλων των συσκευών που δημιουργούν αρμονικές και S_n (kVA) είναι η ισχύς του μετασχηματιστή. Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή των πυκνωτών με βάση το επίπεδο των αρμονικών γίνεται ως εξής

- **Κοινός** (βασικός) τύπος, όταν $\frac{G_h}{S_n} \leq 15\%$,
- **Ενισχυμένος** τύπος, όταν $15\% < \frac{G_h}{S_n} \leq 25\%$
- **Ειδικός για αρμονικές** συνιστώσες τύπος (πυκνωτές ενισχυμένου τύπου σύνδεσής

δεμένοι με στραγγαλιστικά πηνία), όταν $25\% < \frac{G_h}{S_n} \leq 50\%$.

Ø Παρατήρηση: Εάν είναι $\frac{G_h}{S_n} > 50\%$, τότε συνιστάται η χρήση φίλτρων.

3.4.6 Επιλογή Αντιστάθμισης

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, η επιλογή της απαιτούμενης αντιστάθμισης γίνεται με βάση τα ακόλουθα τέσσερα βήματα:

- υπολογισμός της απαιτούμενης άεργης ισχύος, Q_C (kVAr), της μονάδας πυκνωτών
- επιλογή της μεθόδου αντιστάθμισης (κεντρική, κατά ομάδες ή ανεξάρτητη αντιστάθμιση)
- επιλογή μεταξύ αυτόματης ή σταθερής αντιστάθμισης,
- επιλογή του είδους των πυκνωτών (κοινός, ενισχυμένος, ή ειδικός για αρμονικές), ανάλογα με το επίπεδο μόλυνσης του δικτύου με αρμονικές.

3.5 Πυκνωτές χαμηλής τάσης για τη διόρθωση του συνφ.

Ένας ιδανικός πυκνωτής δεν απορροφά ενεργό ισχύ, αλλά παράγει και προσφέρει άεργο ισχύ προς το δίκτυο τροφοδοσίας του.

Ο πυκνωτής είναι ένα ηλεκτρικό στοιχείο, το οποίο αποτελείται από δύο παράλληλους αγωγίσιμους οπλισμούς, οι οποίοι διαχωρίζονται από μονωτικό υλικό.

Το μέγεθος που χαρακτηρίζει ένα πυκνωτή είναι η χωρητικότητα C , η οποία μετράται σε Farad (F).

Στην περίπτωση ενός ιδανικού πυκνωτή, δεν υπάρχει κατανάλωση ενέργειας, αλλά ο πυκνωτής αποδίδει προς το δίκτυο τροφοδοσίας του άεργο ισχύ Q_C , η οποία μετράται σε VAr. Η παραγόμενη άεργη ισχύς από ένα πυκνωτή, δίνεται από τη σχέση

$$Q_C = 2pfCV^2 \quad (3.24)$$

όπου.

$V[\text{volt}]$ η τάση τροφοδοσίας του πυκνωτή

$f[\text{Hz}]$ η συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας.

Για παράδειγμα, ένας πυκνωτής με χωρητικότητα $160,5\mu\text{F}$ ($1\mu\text{F}=1\times 10^{-6}\text{F}$), για τάση τροφοδοσίας ίση με $230\text{V}/50\text{Hz}$, παράγει άεργο ισχύ ίση με:

$$Q_C = 2 \times 3,14 \times 50 \times 160,4 \times 10^{-6} \times 230^2 = 2666 \text{ Var} \approx 2,7 \text{ kVar} \quad (6.39)$$

3.5.1 Ιστορική αναδρομή

Από την πρώτη κατασκευή πυκνωτή το 1746, από μια ομάδα τριών Ολλανδών επιστημόνων, μέχρι την επικράτηση του πυκνωτή με “επιμεταλλωμένο πλαστικό φιλμ” το 1974, ως “ιστορικοί σταθμοί» στην εξέλιξη της κατασκευής των πυκνωτών μπορούν να διακριθούν οι παρακάτω:

- 1910: Κατασκευή του πρώτου κυλινδρικού πυκνωτή με μονωτικό υλικό χαρτί με βερνίκι και οπλισμούς από κασσίτερο.
- 1930: Αντικατάσταση του κασσίτερου από το αλουμίνιο και χρήση εμποτισμένου με λάδι χαρτιού, σαν μονωτικό υλικό.
- 1945: Ανακάλυψη των χλωριωμένων υγρών εμποτισμού (askarel ή PCB) με εξαιρετικές και σταθερές μονωτικές ιδιότητες. Η χρήση των υγρών αυτών, που σήμερα έχει απαγορευτεί, προκάλεσε επανάσταση στην κατασκευή των πυκνωτών
- 1965-1970: Κατασκευή και εξέλιξη του πυκνωτή “μεικτού διηλεκτρικού”. Το διηλεκτρικό είναι χαρτί και φιλμ (πολυπροπυλένιο), που παρουσιάζουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά από το απλό χαρτί. Αποτέλεσμα η σημαντική μείωση των απωλειών και των διαστάσεων των πυκνωτών.
- Από το 1974 και μετά, σαν διηλεκτρικό χρησιμοποιείται μόνο η πλαστική μεμβράνη πολυπροπυλενίου, με δύο κύριες κατασκευαστικές μεθόδους:
 - α) την κατασκευή πυκνωτή με μεμβράνη πολυπροπυλενίου του οποίου η μία πλευρά είναι τραχεία, επιτρέποντας την απορρόφηση και συγκράτηση του υγρού εμποτισμού

β) την κατασκευή με την τεχνική της επιμετάλλωσης, όπου ο πυκνωτής αποτελείται από μεμβράνη πολυπροπυλενίου, της οποίας η μία τουλάχιστον πλευρά έχει υποστεί ειδική επεξεργασία και έχει επικαλυφθεί με μία πολύ λεπτή στρώση μετάλλου.

3.5.2 Κατασκευή πυκνωτών

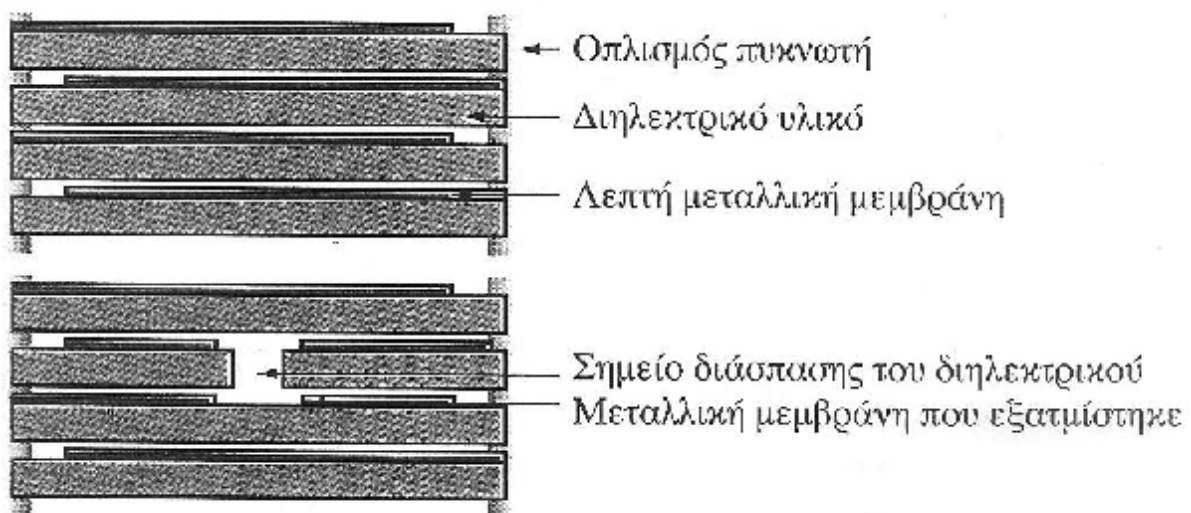
Όπως ήδη αναφέρθηκε, ένας πυκνωτής αποτελείται από δυο παράλληλους οπλισμούς, διαχωρισμένους μεταξύ τους από μονωτικό υλικό. Οι οπλισμοί και το μονωτικό υλικό έχουν τη μορφή φύλλου, με το απαραίτητο εμβαδόν για την επίτευξη της επιθυμητής χωρητικότητας και τυλίγονται σε ρολό, δημιουργώντας έτσι το τελικό κυλινδρικό σχήμα του πυκνωτή.

Οι σύγχρονοι πυκνωτές που χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση του συντελεστή ισχύος είναι ξηρού τύπου.

Με τον όρο πυκνωτής ξηρού τύπου ορίζεται μία μονάδα, στο περίβλημα της οποίας δεν περιέχεται κανένα ελεύθερο υγρό. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και οι πυκνωτές οι οποίοι περικλείουν μία πολύ μικρή ποσότητα υγρού εμποτισμού, που δεν μπορεί να διαρρέυσει ακόμα και σε περίπτωση καταστροφής της μονάδας.

Η κυριότερη κατασκευαστική μέθοδος πυκνωτών ξηρού τύπου, είναι η κατασκευή με χρήση της τεχνικής της επιμετάλλωσης. Στην κατασκευή πυκνωτών ξηρού τύπου με την τεχνική της επιμετάλλωσης, μια πολύ λεπτή μεμβράνη μετάλλου, τοποθετείται υπό συνθήκες κενού στην επιφάνεια του μονωτικού στρώματος πολυπροπυλενίου. Το πάχος του διηλεκτρικού είναι μεταξύ 4 και 12 μm (10^{-6} m) ανάλογα με την τάση λειτουργίας του πυκνωτή. Η μεταλλική μεμβράνη είναι συνήθως από αλουμίνιο ή ψευδάργυρο, με πάχος μικρότερο από 1/100 του μm.

Οι πυκνωτές που κατασκευάζονται με την τεχνική της επιμετάλλωσης, χαρακτηρίζονται ως «αυτοθεραπευόμενοι». Ο όρος «αυτοθεραπευόμενοι» (self healing), αναφέρεται στην ικανότητα τους να απομονώνουν ένα σφάλμα που μπορεί να εμφανιστεί στο διηλεκτρικό, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η λειτουργία του πυκνωτή



Σχήμα 3.28 Επιμεταλλωμένο διηλεκτρικό πριν και μετά τη διάσπαση του διηλεκτρικού.

Η εμφάνιση σφάλματος, δηλαδή η διάσπαση του διηλεκτρικού σε ένα πυκνωτή μπορεί να οφείλεται:

- σε εμφάνιση στιγμιαίας υπέρτασης
- σε κατασκευαστική ατέλεια του διηλεκτρικού.

Στην περίπτωση εμφάνισης σφάλματος, η λεπτή μεταλλική μεμβράνη εξατμίζεται, στο σημείο ακριβώς της διάσπασης του διηλεκτρικού υλικού και έτσι επιτυγχάνεται απομόνωση του σφάλματος.

Η διαδικασία απομόνωσης του σφάλματος στο διηλεκτρικό έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- ολοκληρώνεται σε κλάσματα του δευτερολέπτου / αυξάνει το χρόνο ζωής του πυκνωτή
- μπορεί να επαναληφθεί εκατοντάδες/φορές κατά τη διάρκεια της ζωής του πυκνωτή
- το ποσοστό του ηλεκτροδίου που χάνεται με την εξάτμιση, είναι αμελητέο σε σχέση με τη συνολική επιφάνεια του στοιχείου
- η λειτουργία του πυκνωτή συνεχίζεται, χωρίς να επηρεάζεται από την εμφάνιση του σφάλματος



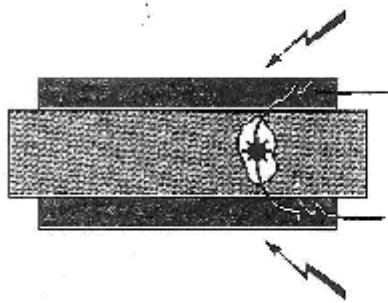
Σχήμα 3.29

Φωτογραφία από μικροσκόπιο του σημείου εξάτμισης της μεταλλικής μεμβράνης, κατά τη διαδικασία απομόνωσης του σφάλματος στο διηλεκτρικό, (μεγέθυνση 15000 φορές).

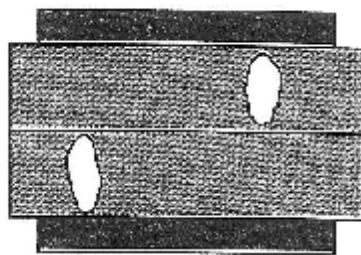
Διάμετρος οπής 1μm.

Το μονωτικό υλικό ανάμεσα στους σπλισμούς του πυκνωτή, θα πρέπει να απο- τελείται από δυο τουλάχιστον στρώματα, έτσι ώστε σε περίπτωση διάσπασης του να μη βραχυκυκλώνεται ο πυκνωτής (σχήμα 3.30).

Τα απαιτούμενα στρώματα της μεμβράνης του επιμεταλλωμένου διηλεκτρικού, τυλίγονται σε ρολό και στα δυο άκρα του σχηματιζόμενου κυλίνδρου ψεκάζεται αλουμίνιο ή ψευδάργυρος για να δημιουργηθεί έτσι αγωγίμη σύνδεση μεταξύ των μεταλλικών μεμβρανών των στρωμάτων και να δημιουργηθούν με αυτό τον τρόπο οι ακροδέκτες του πυκνωτή.



Ροή ρεύματος λόγω σφάλματος στο διηλεκτρικό υλικό, σε ένα πυκνωτή με ένα στρώμα διηλεκτρικού υλικού.



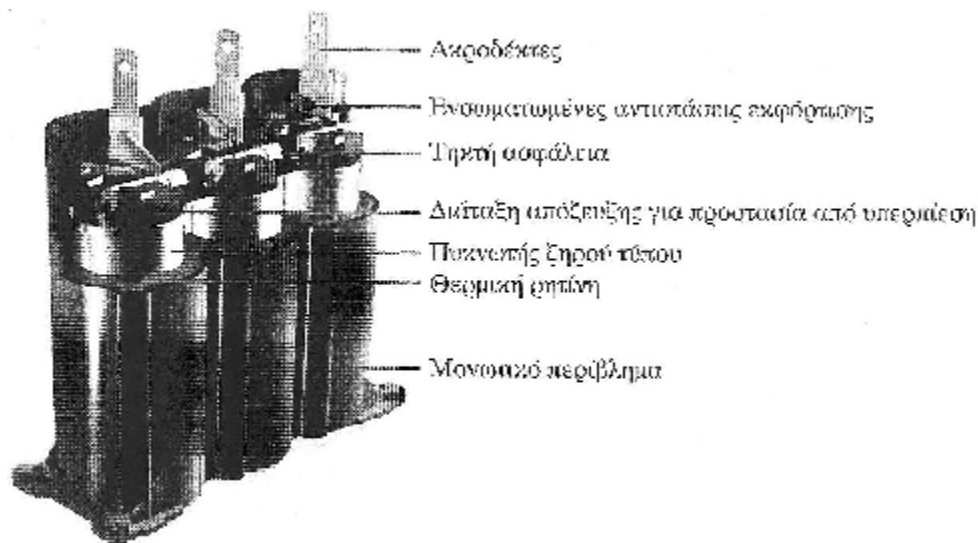
Κατανομή σφαλμάτων στο διηλεκτρικό υλικό, σε πυκνωτή με δύο στρώματα διηλεκτρικού υλικού.

Σχήμα 3.30

Ο πυκνωτής τοποθετείται σε πλαστική κυλινδρική θήκη και εμποτίζεται με θερμική ρητίνη. Τα στοιχεία πυκνωτών τοποθετούνται σε κοινό περίβλημα και συνδέονται μεταξύ τους, με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ισχύς.

Κάθε στοιχείο πυκνωτή ασφαλιζεται με ανεξάρτητη εσωτερική ασφάλεια, με αποτέλεσμα σε περίπτωση σφάλματος να αποσυνδέεται μόνο το στοιχείο στο οποίο παρουσιάζεται το πρόβλημα.

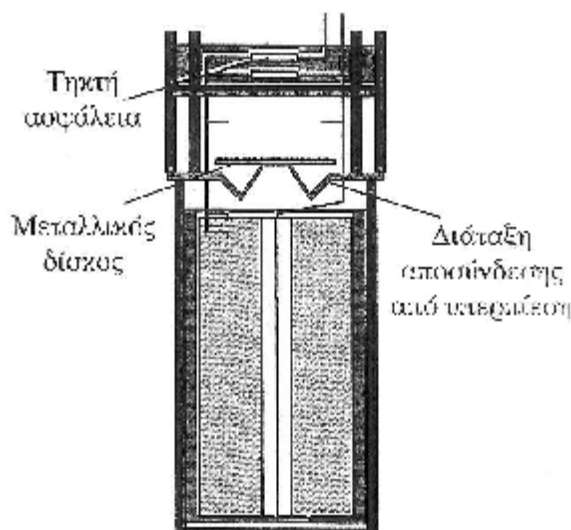
Επίσης, για κάθε στοιχείο υπάρχει αντίσταση εκφόρτισης, με την οποία επιτυγχάνεται ταχεία μείωση της τάσης στα άκρα του πυκνωτή σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας του.



Σχήμα 3.31 Βασικά δομικά στοιχεία τριφασικής μονάδας πυκνωτή

Λόγω του μεγάλου αριθμού διαδικασιών «αυτοθεραπείας» που μπορεί να έχουν πραγματοποιηθεί εξαιτίας υπερφορτίσεων, όταν ένας πυκνωτής φτάνει στο τέλος της διάρκειας ζωής του, αυξάνεται σημαντικά η πίεση στο εσωτερικό του περιβλήματος του, εξαιτίας των αερίων που εκλύονται από κάθε εξάτμιση του επιμεταλλωμένου διηλεκτρικού.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές ενσωματώνουν στο καπάκι του πυκνωτή, μια διάταξη η οποία προκαλεί άμεση απόξευξη με μηχανικό τρόπο ή ενεργοποιεί εμμεσα την ενσωματωμένη ασφάλεια τηξης, προστατεύοντας έτσι τη μονάδα από υπερπίεση και αποκλείοντας έτσι το ενδεχόμενο έκρηξης της.



Σχήμα 3.32

Πυκνωτής ξηρού τύπου σε τομή, με διάταξη προστασίας έναντι υπερπίεσης.

3.6 Αυτόματες συστοιχίες πυκνωτών - Ηλεκτρονικοί ρυθμιστές άεργης ισχύος

Οι ηλεκτρονικοί ρυθμιστές άεργης ισχύος σε συνδυασμό με συστοιχίες μονάδων πυκνωτών, χρησιμοποιούνται για την αυτόματη κάθε στιγμή προσαρμογή του συντελεστή ισχύος συνφ, σε μια προκαθορισμένη - επιθυμητή τιμή.

Το πρόβλημα για τις βιομηχανικές-βιοτεχνικές και μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις γενικότερα ξεκινά από το γεγονός ότι η απαίτηση σε άεργο ισχύ δεν είναι συνεχής και σταθερή σε κάθε χρονική στιγμή* καθώς μηχανήματα ξεκινούν ή σταματούν τη λειτουργία τους συνέχεια, μεταβάλλοντας έτσι την επαγωγική συμπεριφορά της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις και εφόσον η απαίτηση σε άεργη ισχύ είναι αρκετά μεγάλη (συνήθως μεγαλύτερη του 15% της φαινόμενης ισχύος του Μ/Σ) και εάν η αντιστάθμιση γίνεται κεντρικά ή κατά ομάδες, χρησιμοποιούνται αυτόματες συστοιχίες πυκνωτών και ηλεκτρονικοί ρυθμιστές της άεργης ισχύος για την επίτευξη του επιθυμητού συνφ.

Σκοπός του ηλεκτρονικού ρυθμιστή άεργης ισχύος, είναι ο έλεγχος της τρέχουσας τιμής της άεργης ισχύος και η επίτευξη του επιθυμητού συντελεστή ισχύος συνφ, μέσω της ζεύξης ή της απόζευξης των απαραίτητων μονάδων από μια αυτόματη συστοιχία πυκνωτών.

Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής είναι κατάλληλος για τριφασικό σύστημα με ή χωρίς ουδέτερο και για συχνότητες 50Hz ή 60Hz, ενώ μπορεί να λειτουργήσει και σε μονοφασικό δίκτυο. Το ηλεκτρονικό του σύστημα, λαμβάνει πληροφορίες σε κάθε δευτερόλεπτο για την τάση και την ένταση, από τις φάσεις που έχουν προεπιλεγεί.

Οι βασικές λειτουργίες του ηλεκτρονικού ρυθμιστή είναι:

- α) ο υπολογισμός της ενεργής, της φαινόμενης ισχύος και της άεργης ισχύος
- β) ο έλεγχος της ζεύξης και απόζευξης των πυκνωτών σαν συνάρτηση του επιθυμητού συντελεστή ισχύος συνφ της εγκατάστασης.
- γ) ο υπολογισμός και η ψηφιακή απεικόνιση της τρέχουσας τιμής του συνφ της εγκατάστασης και του αριθμού των πυκνωτών που είναι συνδεδεμένοι στο

κύκλωμα.

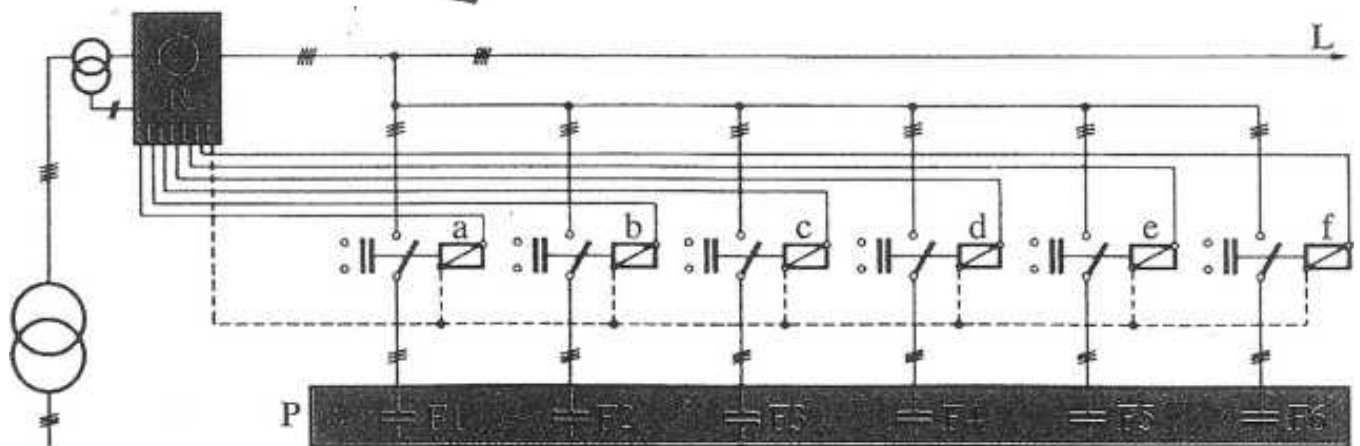
- δ) Η αποσύνδεση των πυκνωτών σε περίπτωση έλλειψης τάσης για την αποφυγή προβλημάτων (π.χ. αυτοδιέγερση κινητήρων).
- ε) ο υπολογισμός και η απεικόνιση των αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσης του δικτύου τροφοδοσίας
- στ) η μέτρηση και απεικόνιση της συχνότητας του δικτύου τροφοδοσίας

Κάθε αυτόματη συστοιχία πυκνωτών αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους στοιχεία:

- το ρυθμιστή άεργου ισχύος
- το μετασχηματιστή έντασης
- τους ηλεκτρονόμους ζεύξης των πυκνωτών (βλ. κείμενο σχετικό με ηλεκτρονόμους αυτοματισμών)
- τους τριφασικούς πυκνωτές
- τις μαχαιρωτές ασφάλειας προστασίας των επιμέρους βαθμίδων πυκνωτών.



Σχήμα 3.33 Ηλεκτρονικός ρυθμιστής άεργου ισχύος τύπου RVT12 της ABB, με 12 προγραμματιζόμενες εξόδους και όριο αυτόματης ρύθμισης του συνφ από 0,7 επαγωγικό έως 0,7 χωρητικό.



Σχήμα 3.34

Διάγραμμα αυτόματης συστοιχίας πυκνωτών.

A,b,c,d,e,f: ηλεκτρονόμοι ζεύξης πυκνωτών

F1,F2,F3,F4,F5,F6: Βήματα πυκνωτών

L: Φορτίο

R: ηλεκτρονικός ρυθμιστής άεργου ισχύος

P: ερμάριο πυκνωτών

Οι τριφασικοί πυκνωτές της συστοιχίας είναι τοποθετημένοι όλοι στο ίδιο ερμάριο και με τη χρήση ηλεκτρονόμων, συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλεται η προσφερόμενη από τη συστοιχία άεργος ισχύς.

Ο έλεγχος των ηλεκτρονόμων γίνεται από τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή άεργου ισχύος, ο οποίος αποφασίζει πότε και ποιος ηλεκτρονόμος θα οπλίσει.

Ο αριθμός των αυτόνομων μονάδων πυκνωτών καθεμιά εκ των οποίων έχει συγκεκριμένη ισχύ, καλούνται «βήματα». Συνήθως μια συστοιχία αποτελείται από 5 ή 6 «βήματα» μονάδων πυκνωτών. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει πρόβλεψη για την αύξηση της ισχύος των «βημάτων» που συνθέτουν τη συστοιχία των πυκνωτών. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μιας βοηθητικής συστοιχίας 6 βημάτων, με 6 ηλεκτρονόμους όμοιους με τους ηλεκτρονόμους της κύριας συστοιχίας, οι οποίοι τροφοδοτούνται από τις βοηθητικές επαφές των κύριων ηλεκτρονόμων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη τροφοδότηση και ο παραλληλισμός των «βημάτων» της βοηθητικής συστοιχίας, με αυτά της κύριας. Στη βοηθητική συστοιχία δεν περιλαμβάνεται ηλεκτρονικός ρυθμιστής άεργης ισχύος.

3.6.1 Ρύθμιση της ευαισθησίας του ηλεκτρονικού ρυθμιστή

Στην περίπτωση της αυτόματης αντιστάθμισης της άεργης ισχύος, στοιχεία όπως η διαδοχή των φάσεων, η τάση του δικτύου τροφοδοσίας και το ρεύμα της γραμμής θα πρέπει να δοθούν σαν δεδομένα στην είσοδο του ηλεκτρονικού ρυθμιστή.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη τιμή του ρεύματος εισόδου για τους ηλεκτρονικούς ρυθμιστές είναι της τάξης των 5A, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής ρεύματος. Ο Μ/Σ ρεύματος θα πρέπει να συνδέεται πάντα πριν το φορτίο και τους πυκνωτές, έτσι ώστε το ρεύμα που διέρχεται από αυτόν να είναι ίσο με το άθροισμα του ρεύματος του φορτίου και του ρεύματος των πυκνωτών.

Για να επιτύχουμε ένα συγκεκριμένο συντελεστή ισχύος για ένα δεδομένο ενεργό ρεύμα, θα πρέπει να καθοριστεί η αντίστοιχη τιμή του άεργου ρεύματος. Η ακριβής τιμή είναι πρακτικά αδύνατο να επιτευχθεί, γι αυτό μία συγκεκριμένη ανοχή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Αν αυτή η ανοχή είναι πολύ μικρή, υπάρχει ο κίνδυνος να γίνεται συνεχής ζεύξη και απόζευξη ενός «βήματος» πυκνωτή. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό, συνήθως το όριο ευαισθησίας του ρυθμιστή είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα ενός «βήματος».

Πρακτικά η ρύθμιση γίνεται έτσι ώστε, να γίνεται ζεύξη ή απόζευξη μιας μονάδας, όταν το ρεύμα των επαγωγικών φορτίων αντιστοιχεί στα 2/3 περίπου του ρεύματος ενός «βήματος» πυκνωτή.

Καθώς ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής αντιλαμβάνεται το ρεύμα του πυκνωτή μέσω μετασχηματιστή εντάσεως, πρέπει ο λόγος μετασχηματισμού να είναι γνωστός. Η τιμή της μεταβολής ονομάζεται και ρεύμα εκκίνησης και χαρακτηρίζεται σαν c/k.

Η τιμή του c/k μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$I_{c/k} = 0,62 \frac{P}{U\sqrt{3k}} 10^3 = 360 \frac{P}{U_k}$$

όπου:

P η ισχύς ενός βήματος πυκνωτή σε KVA_r

U η τάση του δικτύου σε Volt

K ο λόγος μετασχηματισμού μετασχηματιστή έντασης

3.6.2 Διαστήματα ζεύξης-απόζευξης

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ακόμη και αν οι πυκνωτές είναι εφοδιασμένοι με αντιστάσεις εκφορτίσεως, είναι απαραίτητη η μεσολάβηση κάποιου χρονικού διαστήματος μετά την απόζευξη και πριν από μια νέα ζεύξη, ώστε ο πυκνωτής να εκφορτιστεί σε ένα χαμηλό επίπεδο τάσης. Ο χρόνος αυτός είναι χαρακτηριστικό στοιχείο των διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών ρυθμιστών άεργου ισχύος και είναι της τάξης των 40 360, διάστημα αρκετό για να αποφευχθούν υπερτάσεις από διαδοχικές ζεύξεις και αποζεύξεις.

3.6.3 Αγωγοί συνδέσεως και ασφάλεια τήξεως

Ήδη γνωρίζουμε το μέγεθος της άεργου χωρητικής ισχύος που απαιτείται σε μια ατομική, σε μια ομαδική ή σε μια κεντρική αντιστάθμιση.

Όταν συνδέουμε τους πυκνωτές που παρέχουν την απαιτούμενη άεργο ισχύ, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας, ότι σε περίπτωση διακυμάνσεως της συχνότητας του δικτύου(η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή εξαρτάται από τη συχνότητα), η ένταση του ρεύματος στους πυκνωτές μπορεί να είναι κατά 1,5 φορά μεγαλύτερη από την ονομαστική. Σύμφωνα με τους κανονισμούς οι πυκνωτές που συνδέονται με το δίκτυο πρέπει να αντέχουν τη συνεχή ροή ρευμάτων με ένταση κατά 1,5 φορά μεγαλύτερη από την ονομαστική. Για να αποφύγουμε την υπερθέρμανση των αγωγών συνδέσεως πρέπει να επιλέξουμε αγωγούς, που να αντέχουν εντάσεις 1,5 φορές μεγαλύτερες από το ονομαστικό ρεύμα του πυκνωτή.

Για την προστασία του πυκνωτή από το ενδεχόμενο βραχυκυκλώματος χρησιμοποιούμε ασφάλειες τήξεως. Επειδή κατά τη ζεύξη ενός αφόρτιστου πυκνωτή εμφανίζονται υψηλά ρεύματα, οι ασφάλειες πρέπει να έχουν υπολογιστεί για εντάσεις 1,8 φορές μεγαλύτερες από την ονομαστική ένταση του πυκνωτή και να έχουν καμπύλες λειτουργίας «βραδείας τήξης».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Νίκος Κιμουλάκης, «Κτιριακές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις»
- [2] Ανδρέας Θεοχάρης, Διαλέξεις Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων και Αυτοματισμών, Πάτρα, 2010
- [3] «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤΗΔ384, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
- [4] «Contactors Motor Protection», ABB Control, 07-2002
- [5] «Κατάλογος Βιομηχανικού Υλικού», ABB A.E. , 03-2002
- [6] Πέτρος Ντοκόπουλος, «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης», Β΄ Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1992
- [7] «Electrical Installation Handbook-Electrical Devices», Volume 2, p.p.25-83, ABB SACE, Italy 04/03
- [8] «Electrical Installation Handbook-Protection and Control Devices», Volume 1, ABB SACE, Italy 04/03
- [9] «Guide to selection of Low Voltage Equipment», ABB SACE, Italy 4-1994
- [10] Μόσχοβιτς Μ.Μουσή, «Εσωτερικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις», Ίδρυμα Ευγενίδου, Τεχνική Βιβλιοθήκη, Αθήνα 1987
- [11] «System ProM-Modular devices for low voltage installations», ABB SACE S.p.A., Italy, July 2001
- [12] Γ.Σ.Τσακιράκης, «Σημειώσεις για το εργαστήριο των Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων», Τεύχος Α, Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε, Αθήνα 2004
- [13] Φίλιππου Ι. Δημόπουλου, «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις», Αθήνα, Νοέμβριος 1988
- [14] Gunter G. Seip, «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις», 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2004
- [15] «ABB Industrial Manual», ABB AB Lund 1998
- [14] «Sistema Pro-M», ABB Elettrocondutture, Dicembre 1991
- [15] «Μικροαντوماتοί S2-Κατάλογος Τεχνικών χαρακτηριστικών», Asea Brown Boveri A.E., Αύγουστος 1997