

ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Συντάξας: Χρήστος Χατζηιωάννου

1	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ, ΠΡΟΤΥΠΑ.....	3
2	ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ - ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ	3
2.1	Γενικά.....	3
2.2	Κίνδυνοι σε συσκευές και περιουσιακά στοιχεία.....	3
2.3	Κίνδυνοι στα άτομα.....	4
2.3.1	Ηλεκτροπληξία - Ορισμός.....	4
2.3.2	Κατηγορίες Ηλεκτρικών ατυχημάτων.....	4
2.3.3	Ηλεκτροπληξία – πότε μπορεί να συμβεί:.....	4
2.3.4	Μέσα προκλήσης ηλεκτροπληξίας.....	5
2.3.5	Επίδραση του ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό.....	6
2.3.6	Ενέργειες σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας.....	12
3	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ.....	13
3.1	Γενικά, κανονισμοί.....	13
3.2	Μέθοδοι προστασίας.....	15
3.2.1	Ανάλυση των μέσων προστασίας.....	15
3.3	Σφάλματα φάσης-γης στο δίκτυο.....	21
3.4	Συνθήκες ουδετέρωσης.....	21
3.4.1	1 ^η Συνθήκη ουδετέρωσης.....	21
3.4.2	2 ^η Συνθήκη ουδετέρωσης.....	21
3.4.3	3 ^η Συνθήκη ουδετέρωσης.....	22
3.4.4	4 ^η Συνθήκη ουδετέρωσης.....	23
3.4.5	5 ^η Συνθήκη ουδετέρωσης.....	23
3.4.6	Ισοδυναμικές συνδέσεις.....	24
3.4.7	Προστασία με διακόπτες διαφυγής τάσης (ΔΔΤ).....	25
3.4.8	Προστασία με διακόπτες διαφυγής έντασης (ΔΔΕ).....	26
4	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	29

1 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ, ΠΡΟΤΥΠΑ

Για να υπάρχει μία αναφορά στις κατασκευές, έχουν γίνει πρότυπα που προσδιορίζουν υλικά, τρόπους χαρακτηρισμού τους, τους ελέγχους κ.λ.π. Παράδειγμα είναι το πρότυπο ΕΛΟΤ 843-86 για την κατασκευή καλωδίων χαμηλής τάσης από PVC. Η χρησιμοποίηση ενός προτύπου δεν είναι συχνά άμεσα θεσμοθετημένη και υποχρεωτική αλλά συνιστάται η εφαρμογή της. Μπορεί δηλαδή κανείς να αποκλίνει, εφ' όσον υπάρχει κάτι το τεχνικά ισοδύναμο ή καλύτερο. Πέραν τούτου υπάρχουν και οι κανονισμοί που προσδιορίζουν τους τρόπους λειτουργίας και κυρίως ασφάλειας των εγκαταστάσεων, όπου η τήρηση τους επιβάλλεται από την πολιτεία, όπως π.χ. ο Κανονισμός Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (Κ.Ε.Η.Ε.) που αναφέρεται στις γειώσεις προστασίας.

Κατά την επιλογή των υλικών και του τρόπου εγκατάστασης πρέπει να ληφθούν υπ' όψη ορισμένοι κανονισμοί ή πρότυπα καλής λειτουργίας. Έτσι ο μελετητής κινείται μέσα σε ορισμένα πλαίσια. Αυτά είναι νόμοι, υπουργικές αποφάσεις, καθώς και ελληνικά, ευρωπαϊκά ή άλλα εθνικά πρότυπα. Οι διάφοροι κανονισμοί ή πρότυπα υπάρχουν στην βιβλιοθήκη του ΕΛΟΤ και μπορούν να αγοραστούν από εκεί. Για τις εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (ΧΤ) υπάρχουν οι εξής κανονισμοί ή πρότυπα:

- Κανονισμοί Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (Κ.Ε.Η.Ε.). Αυτοί καθορίζουν γενικά τον τρόπο εγκατάστασης, την προστασία και τη χρήση των υλικών ανάλογα με την κατηγορία του χώρου που γίνεται η εγκατάσταση. Οι Κ.Ε.Η.Ε. είναι δεσμευτικοί στην Ελλάδα. Σε πολλά τους σημεία όμως δεν είναι ενημερωμένοι, σύμφωνα με την εξέλιξη της τεχνικής, ιδιαίτερα όσον αφορά σε καλώδια, χρόνους, ρεύματα και αποκρίσεις των οργάνων προστασίας.
- VDE 100 ή DIN 57 100. Αυτοί είναι γερμανικοί κανονισμοί εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που ενημερώνονται συνεχώς και εναρμονίζονται με άλλους, π.χ. τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς.
- CENELEC (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique), Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικών Κανονισμών. Στην CENELEC ανήκει και η Ελλάδα.

Για τα υλικά αυτά και τις συσκευές ΧΤ υπάρχουν πρότυπα (δηλαδή προδιαγραφές και δοκιμές) μεταξύ των οποίων είναι και οι εξής:

- ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεων),
- VDE (κυρίως για εγκαταστάσεις, ηλεκτρολογικά στοιχεία και δοκιμές),
- DIN Deutsche Industrie Normen,
- BS British Standards,
- NF Γαλλικά Πρότυπα,
- OVE Αυστριακά πρότυπα.

2 ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ - ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ

2.1 Γενικά

Μεγάλος είναι ο αριθμός των ηλεκτρικών κινδύνων. Οι εγκαταστάσεις πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων που απειλούν τις συσκευές, τα περιουσιακά στοιχεία, αλλά προπάντων τους ανθρώπους. Οι κίνδυνοι που έχουν να κάνουν με συσκευές και περιουσιακά στοιχεία σχετίζονται με εκρήξεις και πυρκαγιές, ενώ η κίνδυνοι για το προσωπικό σχετίζονται με την ηλεκτροπληξία.

Πιο κάτω θα ασχοληθούμε κυρίως με τον τελευταίο κίνδυνο, τα ρεύματα δια του σώματος. Αυτός είναι και ο κίνδυνος που εμφανίζεται πιο συχνά και αποτελεί τη βάση για τα μέτρα προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας. Οι κανονισμοί και η κατασκευή των εγκαταστάσεων και συσκευών επηρεάζονται στο μεγαλύτερο μέρος τους από τη θεώρηση του παραπάνω κινδύνου της ηλεκτροπληξίας.

2.2 Κίνδυνοι σε συσκευές και περιουσιακά στοιχεία

Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι που αφορούν στις συσκευές είναι:

- Καταπόνηση από δυνάμεις σε βραχυκυκλώματα.
- Οι εκρήξεις σε ατμόσφαιρα εκρηκτικών μιγμάτων λόγω σπινθήρων, π.χ. σε περιβάλλον με ατμούς βενζίνης.

- Η πυρκαγιά που προκαλείται από ηλεκτρικό τόξο σε βραχυκυκλώματα ή και στην ομαλή λειτουργία.
- Η πυρκαγιά λόγω κατεστραμμένης μόνωσης. Πυρκαγιά προκαλείται π.χ. όταν δεν μπορεί να απαχθεί επαρκώς η θερμότητα Joule από απώλειες λόγω υψηλού ρεύματος ή λόγω διάσπασης σε υψηλή τάση.
- Η πυρκαγιά ή έκρηξη λόγω υπερυφωμένης θερμοκρασίας λειτουργίας (λαμπτήρες, φούρνοι).
- Η ηλεκτροχημική διάβρωση στο συνεχές ρεύμα.

2.3 Κίνδυνοι στα άτομα

Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι που αφορούν στα άτομα είναι δύο:

- Εγκαύματα στο σώμα λόγω επίδρασης του ηλεκτρικού τόξου. Αυτό εμφανίζεται συνήθως σε ατυχήματα με εγκαταστάσεις ισχύος υψηλής τάσης.
- Επικίνδυνα ρεύματα που ρέουν μέσα από το ανθρώπινο σώμα. Αυτά μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες, ακόμα και το θάνατο.

2.3.1 Ηλεκτροπληξία - Ορισμός

Ηλεκτροπληξία είναι η διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα και συμβαίνει όταν αυτό γίνεται μέρος ενός ηλεκτρικού κυκλώματος με τάση ικανή να προκαλέσει ροή του ρεύματος.

2.3.2 Κατηγορίες Ηλεκτρικών ατυχημάτων

Μπορούμε να κατατάξουμε τα ηλεκτρικά ατυχήματα σε τρεις (3) κατηγορίες:

1. Ηλεκτρικά ατυχήματα λόγω άμεσης επίδρασης του ηλεκτρικού ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα.
2. Έμμεση επαφή και πρόκληση εγκαυμάτων εξαιτίας μεγάλης ελκυσμένης θερμικής ενέργειας από ηλεκτρικό τόξο.
3. Δευτερεύοντα ατυχήματα από ασθενή συνήθως ηλεκτρικά ρεύματα που μπορούν να προκαλέσουν π.χ. πτώση ή ολίσθηση λόγω πανικού.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 1 τα ατυχήματα από ηλεκτροπληξία κατέχουν περίοπτη θέση στην κατάταξη των θανατηφόρων εργατικών ατυχημάτων.

Τύπος ατυχήματος (αιτία)	Θανατηφόρα ατυχήματα	Ποσοστό (%)
Πτώσεις	301	40,2
Ηλεκτροπληξία	129	17,2
Μηχανήματα	126	16,8
Παθολογικά αίτια	70	9,4
Τροχαία	45	6,0
Εκρήξεις	39	5,2
Λοιπά	22	2,9
Εισπνοή αερίων	16	2,1
Σύνολο	748	100,0

Πίνακας 1. **Θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα σύμφωνα με τον τύπο του ατυχήματος για τα χρόνια 1987-1994**

2.3.3 Ηλεκτροπληξία – πότε μπορεί να συμβεί:

Παρά το γεγονός ότι η τάση καθορίζει πότε η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος θα υπερκερασθεί, ο βασικός συντελεστής που προκαλεί ζημία, είναι η ποσότητα του ρεύματος που θα μας διαπεράσει.

Για να συμβεί το ηλεκτρικό ατύχημα, δεν είναι απαραίτητη η επαφή (άμεση ή έμμεση) με ηλεκτρισμένο σώμα ή κάποιο δίκτυο. Σε κάποιες περιπτώσεις αρκεί η προσέγγιση του ανθρώπινου σώματος σε ένα ισχυρό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι δυνατό να βρεθεί έξω από τα δίκτυα μεταφοράς, διανομής ή τα κυκλώματα εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συσκευών. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα σοβαρής φθοράς ή βλάβης, προσκρούσεων, πτώσεων στοιχείων, καταπονήσεων από κραδασμούς ή υπερφορτίσεις, νερό ή υψηλή υγρασία, κονιορτούς, πολύ υψηλές θερμοκρασίες, άστοχες πράξεις ή ελλιπή συντήρηση.

2.3.4 Μέσα προκλήσης ηλεκτροπληξίας

Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκληθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- ✓ Επαφή με το ενεργοποιημένο αγωγό (ακροδέκτη).
- ✓ Επαφή με φθαρμένο (λόγω φυσιολογικής φθοράς μόνωσης του ή χτυπημένο) καλώδιο που είναι ενεργοποιημένο.
- ✓ Επαφή με ηλεκτρικό μηχανισμό που έχει βλάβη με αποτέλεσμα τη δημιουργία βραχυκυκλώματος.
- ✓ Εκφόρτιση στατικού ηλεκτρισμού.

2.3.4.1 Επαφή με ενεργοποιημένο αγωγό

Η επαφή με ενεργοποιημένους αγωγούς αποτελεί σοβαρή αιτία ηλεκτροπληξίας. Αναλυτικότερα ατυχήματα μπορεί να προκληθούν από επαφή με:

- ο ρευματολήπτες
- ο εναέριες γραμμές μεταφοράς ρεύματος μέσα σε βιομηχανικούς χώρους.
- ο ηλεκτρικά οχήματα.
- ο μονάδες μετασχηματιστών υψηλής τάσης.
- ο ηλεκτρικό σύστημα που έχει απομονωθεί για επισκευή ή συντήρηση και τίθεται σε λειτουργία κατά λάθος από μη αρμόδιο άτομο.
- ο πυκνωτή σε απενεργοποιημένο σύστημα, όταν αυτός δεν έχει γειωθεί.

2.3.4.2 Επαφή με ενεργοποιημένο, φθαρμένο (λόγω φυσιολογικής φθοράς) καλώδιο

Τα φθαρμένα καλώδια αποτελούν συχνή αιτία ατυχημάτων. Οι παράγοντες που προκαλούν τη φθορά της μόνωσης των καλωδίων είναι:

- **Υπερθέρμανση** - Η ροή ρεύματος πάντα ανεβάζει τη θερμοκρασία και ακόμη σε συμβατές θερμοκρασίες δημιουργείται σταδιακή φθορά και αποσύνθεση ορισμένων πολυμερών.
- **Υγρασία περιβάλλοντος** - Η υγρασία δημιουργεί διαδρόμους για το ρεύμα και η προκαλούμενη φθορά εξαρτάται από την απορροφητικότητα και την υφή (πορώδη) του υλικού της μόνωσης.
- **Οξειδωση** - Η παρουσία οξυγόνου, όζοντος και άλλων οξειδωτικών στην ατμόσφαιρα δημιουργούν αδυνατίσματα της μόνωσης κυρίως σε περιοχές που λειτουργούν περιστρεφόμενα ηλεκτρικά μηχανήματα (ρότορες, γεννήτριες).
- **Ακτινοβολία** - Η υπεριώδης ακτινοβολία καθώς και η ραδιενέργεια επηρεάζουν την ικανότητα των μονωτικών και κυρίως των πολυμερισμένων πλαστικών. Επίσης η ηλιακή ακτινοβολία επιδρά στα πολυμερή, στα βυνιλικά, στο φυσικό και συνθετικό λάστιχο με την παραγωγή υδροχλωρίου που ενεργοποιείται σε υδροχλωρικό οξύ και φθείρει τις μονώσεις.
- **Χημικά** - Η μη συμβατότητα των μονωτικών με οξέα, λιπαντικά άλατα και μερικά άλλα ενεργά υλικά, μπορεί να τα διασπάσει χημικά.
- **Υψηλές τάσεις** - Οι υψηλές τάσεις μπορεί να δημιουργήσουν σπινθήρες ή το φαινόμενο της κορώνας δημιουργώντας τρύπες στα μονωτικά υλικά και αδυνατίζοντας την αντίστασή τους.
- **Μηχανικές φθορές** - Η τοποθέτηση και χρήση ρευματοληπτών (φίς) ή ρευματοδοτών (πρίζες), είναι ο πλέον κοινός λόγος μηχανικής φθοράς μονωτικού, εκτός αν γίνεται με προσοχή.
- **Βιολογικοί παράγοντες** - Μερικά μονωτικά είναι θρεπτικά για ζώντες οργανισμούς, όπως αρουραίοι, άλλα τρωκτικά, έντομα που τρώνε οργανικά υλικά μονώσεων κόβοντας ή αδυνατίζοντάς τα.

Τριψίματα, σπασίματα, κοψίματα, τσακίσματα, του καλωδίου είναι οι συνηθέστερες αιτίες φθοράς (του καλύμματος) της μόνωσης.

2.3.4.3 Επαφή με ηλεκτρικό μηχανισμό - Δημιουργία βραχυκυκλώματος

Τα βραχυκυκλώματα αποτελούν συνηθισμένη αιτία ατυχημάτων. Μπορούν δε να προκληθούν από:

- Επαφή με κομμένη γραμμή παροχής ρεύματος.
- Επαφή με φορητά εργαλεία που έχει φθαρεί η εσωτερική τους καλωδίωση ή δε φέρουν γείωση.

2.3.4.4 Εκφόρτιση στατικού ηλεκτρισμού

Τα στατικά φορτία υπό συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα. Σχετικές περιπτώσεις συναντώνται σε:

- ✓ Φυσικά φαινόμενα, όπως ο κεραυνός, όπου έχουμε μία φυσική εκφόρτιση στατικού ηλεκτρισμού πολύ υψηλής τάσης και έντασης ηλεκτρικού ρεύματος. Ο κεραυνός ακολουθεί τη διαδρομή με την μικρότερη αντίσταση προς τη γη.

- ✓ Βιομηχανίες τύπου και χάρτου, στα σημεία τριβής πιεστικών κυλίνδρων με το διερχόμενο χαρτί ή τα εύκαμπτα υλικά συσκευασίας, όπου και παράγεται στατικός ηλεκτρισμός.
- ✓ Εργασίες καθαρισμού δεξαμενοπλοίων όπου η εξάτμιση βενζίνης από πάτο της δεξαμενής, όταν συνδυαστεί με ψεκασμό νερού και δημιουργία σταγονιδίων πάνω στα τοιχώματα της δεξαμενής δημιουργεί στατικό ηλεκτρικό φορτίο που προκαλεί σπινθήρα με οποιοδήποτε «αγείωτο» αντικείμενο που πλησιάζει το έδαφος-γείωση.

2.3.5 Επίδραση του ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό

Επειδή το θέμα αφορά την προστασία της ανθρώπινης ζωής και επηρεάζει σημαντικά την κατασκευή των συσκευών και γενικά την οικονομία, έχουν γίνει αρκετές μελέτες από την ομάδα εργασίας της διεθνούς ηλεκτροτεχνικής ένωσης TC 64. Έτσι, τα αποτελέσματα ή πορίσματα που θα αναφερθούν πιο κάτω είναι διεθνώς αποδεκτά.

Η σοβαρότητα των βλαβών που προκαλούνται στο ανθρώπινο σώμα από το ηλεκτρικό ρεύμα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες:


- ένταση του ρεύματος,
- χρονική διάρκεια του ρεύματος,
- δρόμος του ρεύματος δια του σώματος,
- συχνότητα ή μορφή του ρεύματος, δηλαδή εναλλασσόμενο, συνεχές κρουστικό ρεύμα,
- τη δεδομένη κατάσταση του οργανισμού (εξασθενημένος, φαγωμένος, υδρωμένος)
- την υγρασία του χώρου
- την επιφάνεια επαφής και εξόδου του ρεύματος


Υποκειμενικοί παράγοντες συμπροσδιορίζουν το αποτέλεσμα μιας ηλεκτροπληξίας. Έτσι, τα αποτελέσματα όλων των ερευνών υπόκεινται σε μεγάλες στατιστικές διακυμάνσεις. Ο Πίνακας 2 δίνει γενικά για διάφορα ρεύματα τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Η πιο επικίνδυνη για τη ζωή ζημία είναι η μαρμαρυγή (Ventricular Fibrillation, Herzkammer-Flimmern). Οι καρδιακοί παλμοί γίνονται από περιοδικό άρρυθμοι. Η πιθανότητα θανάτου είναι μεγάλη, γιατί η καρδιά δεν είναι σε θέση να κυκλοφορήσει το αίμα. Οι συνέπειες είναι, μεταξύ άλλων μία μειωμένη οξυγόνωση του εγκεφάλου. Η τελευταία μπορεί να οδηγήσει σε μερικά λεπτά σε θάνατο ή σε μία μόνιμη αδυναμία μέρους του εγκεφάλου. Έχουν, δηλαδή, επιζήσει άτομα από την ηλεκτροπληξία αλλά με συμπτώματα μερικής παράλυσης, λόγω βλάβης του εγκεφάλου.

Σε υψηλές τάσεις προκαλούνται θανατηφόρα ατυχήματα και από εγκαύματα, που προέρχονται από την υψηλή θερμοκρασία του ηλεκτρικού τόξου.

Ρεύμα 50 Hz (ενεργός τιμή σε mA)	0,5	10	0,5 έως 25	25 έως 80	80 έως 3000	>3000
Τάση επαφής (V) που προκαλεί το ρεύμα			εώς 50	50 εώς 100	100 εώς 3000	>3000
Όριο αίσθησης						
Όριο αδυναμίας να ελευθερωθεί το χέρι. Ασφυξία						
Σύσπαση μυών						
Πόνος						
Μαρμαρυγή, με περιόδους κανονικής λειτουργίας						
Θανατηφόρα, επικίνδυνη μαρμαρυγή						
Θανατηφόρα, επικίνδυνα εγκαύματα						

 Αυτή η σκιαγράφιση σημαίνει ότι η αντίδραση μπορεί να επέλθει σε πολύ δυσμενείς συνθήκες.

 Αυτή η σκιαγράφιση σημαίνει αντίδραση σε συνηθισμένες συνθήκες.

Πίνακας 2. *Επίδραση του ρεύματος στον οργανισμό κατά τη δημοσίευση IEC 479. Η καταπόνηση εκτείνεται σε χρόνους τάξης μεγέθους του 1 sec.*

2.3.5.1 Η ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος

Η ένταση του ρεύματος που διαπερνά το ανθρώπινο σώμα (όταν η τάση είναι σταθερή), εξαρτάται από την αντίσταση του σώματος. Εξίσου σημαντικές όμως είναι και οι αντιστάσεις επαφής, δηλ. της επαφής του σώματος με τον αγωγό και της επαφής με την γη.

Για την ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος ισχύουν οι εξής συνεπαγωγές:

Μικρή Αντίσταση → μεγάλη ροή H/P → Μεγάλος Κίνδυνος → θανατηφόρο ατύχημα.

Μεγάλη Αντίσταση → μικρή ροή H/P → Μικρός Κίνδυνος → ηλεκτρικό ατύχημα.

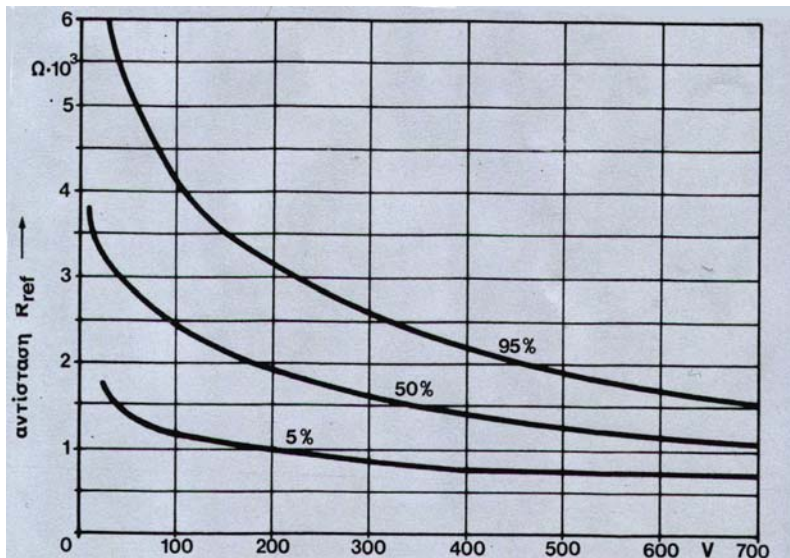
Η σύνθετη αντίσταση του ανθρώπινου σώματος είναι κυρίως ωμική με ελάχιστη χωρητικότητα.

Η τιμή της εξαρτάται από τα εξής:

- Δύναμη και επιφάνεια επαφής του σώματος με τον αγωγό (μειώνουν την αντίσταση).
- Δρόμος του ρεύματος δια του σώματος.
- Τάση επαφής. Η αντίσταση είναι μη γραμμική και μειώνεται με την αύξηση της τάσης.
- Σωματική διάπλαση.
- Κατάσταση της επιδερμίδας. Το πάχος της επιδερμίδας και η υγρασία παίζουν ένα ρόλο.

Υψηλές αντιστάσεις έχουμε όταν το δέρμα είναι χοντρό, ξηρό και η επιφάνεια επαφής είναι μικρή. Χαμηλές τιμές προκύπτουν όταν το δέρμα είναι λεπτό, υγρό και η επιφάνεια επαφής μεγάλη.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος R_{ref} από το ένα χέρι στα δύο πόδια για διάφορες τάσεις.



Σχήμα 1

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τις αντιστάσεις του ανθρώπινου σώματος για διάφορους δρόμους ρεύματος αναλογικά με την αντίσταση στη διαδρομή «Ένα χέρι – Δύο πόδια».

Γενικά ισχύει ότι:

$$R = F_1 \cdot R_{ref}$$

Όπου:

R = αντίσταση για μια διαδρομή

F_1 = σχετική αντίσταση ως προς τη διαδρομή «Ένα χέρι – Δύο πόδια»

R_{ref} = σχετική αντίσταση ως προς τη διαδρομή «Ένα χέρι – Δύο πόδια»

Δρόμος	Σχετική αντίσταση F_1	Δρόμος	Σχετική αντίσταση F_1
Ένα χέρι – δύο πόδια = R_{ref}	1	Ένα χέρι - πλάτη	0,67
Δύο χέρια - δύο πόδια	0,67	Δύο χέρια - πλάτη	0,33
Αριστερό (δεξιό) χέρι-αριστερό (δεξιό) πόδι	1,33	Ένα χέρι - στήθος	0,60
Δύο χέρια - ένα πόδι	(1,0)	Δύο χέρια - στήθος	0,31
Αριστερό ή δεξιό χέρι-οπίσθια	0,4	Χέρι-Χέρι	1,33
Δύο χέρια - οπίσθια	(0,4)		

Πίνακας 3. **Αντίσταση του ανθρώπινου σώματος για διάφορους δρόμους του ρεύματος ηλεκτροπληξίας κατά IEC 64-342.**

Ο δε Πίνακας 4 δίνει προσεγγιστικές τιμές της αντίστασης του ανθρωπίνου σώματος για διάφορες διαδρομές.

ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
χέρι – χέρι	1000 Ω
πόδι – πόδι	1000 Ω
χέρι – πόδι	750 Ω
χέρια – πόδια	500 Ω
χέρι – στήθος	450 Ω
χέρια – στήθος	230 Ω
χέρι – γλουτός	550 Ω
χέρια – γλουτός	300 Ω

Πίνακας 4. **Προσεγγιστικές τιμές της αντίστασης του ανθρωπίνου σώματος για διάφορες διαδρομές**

2.3.5.2 Συντελεστής ρεύματος - καρδιάς

Η επίδραση του ρεύματος στο σώμα εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει την καρδιά. Μια ιδιαίτερα επικίνδυνη περίπτωση είναι όταν το ρεύμα περνά από το αριστερό χέρι στα δύο πόδια. Αυτό λέγεται ρεύμα αναφοράς I_{ref} . Ένα ρεύμα I με έναν άλλο δρόμο θα προκαλέσει το ίδιο αποτέλεσμα με ένα ρεύμα αναφοράς

$$I_{ref} = F_2 \cdot I$$

όπου το F_2 είναι ένας παράγοντας 0,4... 1,5 και δίνεται στον Πίνακα 5.

Βλέπουμε ότι, η χειρότερη περίπτωση είναι όταν το ρεύμα περνά από το αριστερό χέρι στο στήθος. Αντίθετα, τα ρεύματα από το δεξί χέρι προς την πλάτη είναι τα πιο επικίνδυνα.

Δρόμος	Συντελεστής F_2	Δρόμος	Συντελεστής F_2
Αριστερό χέρι - ένα ή δύο πόδια και δύο χέρια - δύο πόδια	1,0	Αριστερό χέρι - πλάτη	0,7
Χέρι – χέρι	0,4	Δεξί χέρι - στήθος	1,3
Δεξί χέρι - ένα ή δύο πόδια	0,8	Αριστερό χέρι - στήθος	1,5
Δεξί χέρι - πλάτη	0,3	Οπίσθια - δύο χέρια ή ένα χέρι δεξί ή αριστερό	0,7

Πίνακας 5. **Συντελεστής ρεύματος καρδιάς F_2**

2.3.5.3 Επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος

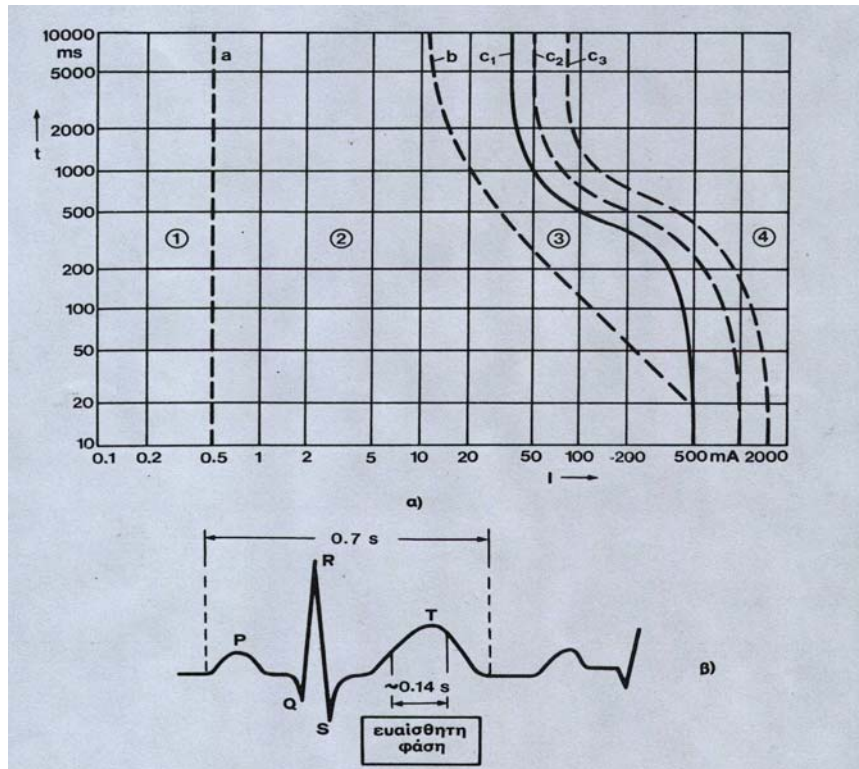
Στο διάγραμμα ρεύματος και χρόνου του Σχήματος 2 παρουσιάζονται τέσσερις (4) περιοχές επιδράσεων του ρεύματος στον οργανισμό. Βλέπουμε ότι κάτω από 0,5 mA δε γίνεται αντιληπτό το ρεύμα (περιοχή 1), όσο μεγάλος και να είναι ο χρόνος. Στην περιοχή 2 το ρεύμα γίνεται μεν αντιληπτό αλλά δεν προκαλεί συνήθως φυσιολογικές ζημιές. Στην περιοχή 3 υπάρχει κίνδυνος ασφυξίας αλλά όχι μαρμαρυγής. Ο παθών μπορεί να μην είναι σε θέση να απελευθερωθεί από τον ηλεκτροφόρο αγωγό. Η περιοχή 4 είναι εξαιρετικά επικίνδυνη, γιατί προκαλείται μαρμαρυγή με διάφορες πιθανότητες που δίνονται από τις καμπύλες c_1 , c_2 , c_3 . Η καμπύλη b που χωρίζει τις περιοχές 2 και 3 μπορεί να θεωρηθεί σαν όριο κινδύνου και έχει την εξίσωση:

$$I_{ac} = I_1 + \frac{10}{t}$$

όπου I_{ac} = ενεργός τιμή σε mA,

I_1 = ενεργός τιμή του οριακού ρεύματος απελευθέρωσης (=10 mA),

t = χρόνος σε δευτερόλεπτα



Σχήμα 2

Αυτά ισχύουν για άτομα οποιασδήποτε ηλικίας και βάρους και για ρεύμα που περνά από το αριστερό χέρι προς τα πόδια, δηλαδή για το ρεύμα αναφοράς.

Η παρατεταμένη επαφή με το εναλλασσόμενο ρεύμα (κάποια δευτερόλεπτα) μπορεί να έχει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- **έως 0,5 mA**

Το ρεύμα συνήθως δε γίνεται αντιληπτό. Αυτές οι ελαφρές εντάσεις δεν είναι θανατηφόρες. Μπορούν όμως, στην επαφή, να προκαλέσουν μια κίνηση φόβου.

- **Από 0,5mA έως 10 mA**

Το χέρι αποκτά μια ελαφρά ακαμψία και αισθανόμαστε μούδιασμα που με αργό ρυθμό εκτείνεται από τον καρπό έως τον αγκώνα. Αν η επαφή συνεχιστεί αισθανόμαστε κράμπα στο χέρι, που φθάνει σε όλο το βραχίονα καθώς αυξάνει η ένταση του ρεύματος. Αυτές οι κράμπες μπορεί να είναι τόσο δυνατές ώστε να είναι αδύνατο να τραβήξουμε το χέρι μας από τον αγωγό.

- **από 10 mA – 25 mA**

Οι γυναίκες δεν μπορούν πλέον να αποσπασούν τα μέλη τους από τον αγωγό, ενώ οι άνδρες αισθάνονται μερική απώλεια μυϊκού ελέγχου και έντονο πόνο. Δε μπορούν πλέον να αποσπασούν τα μέλη τους από τον αγωγό.

- **από 25 mA – 45 mA**

Οι μύες συσπώνται δυνατά και επώδυνα. Όταν αυτή η μυϊκή σύσπαση φθάσει ως τους μύες του θώρακα, τότε εμποδίζεται η αναπνοή, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο, από ασφυξία. Στις περιπτώσεις το μόνο μέσο διάσωσης του θύματος είναι η τεχνητή αναπνοή.

- **από 45 mA– 200mA**

Πρόκληση εγκαυμάτων (καταστροφή ιστών, νευρών, μυών) που επουλώνονται με εξαιρετικά αργούς ρυθμούς. Πιθανή καρδιακή ανακοπή, σταμάτημα της κυκλοφορίας του αίματος.

- **Πάνω από 200 mA**

- Θανατηφόρο ακαριαία, με σταμάτημα της καρδιάς και κάψιμο βασικών οργάνων.

- **Πάνω από 1 A**

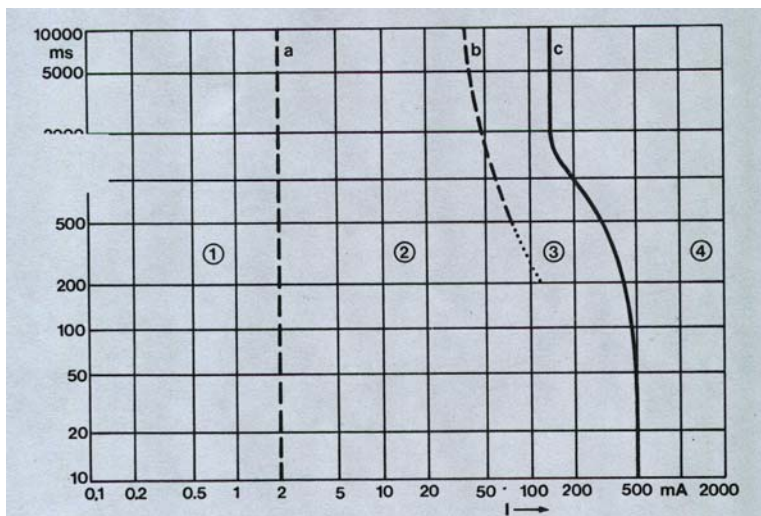
Απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας που κάνει να πήξουν οι πρωτεΐνες του αίματος και βοηθάει την παραγωγή μυοσφαιρίνης, μίας χρωστικής των μυών που για τα νεφρά αποτελεί ισχυρό δηλητήριο.

Το θύμα μπορεί να υποκύψει εξ' αιτίας αυτού του δηλητηρίου ακόμη και μετά από μέρες, κατά τις οποίες έδειχνε ότι πάει καλύτερα.

2.3.5.4 Επίδραση του συνεχούς ρεύματος

Υπάρχουν 4 περιοχές (ζώνες) επίδρασης του συνεχούς ρεύματος στον άνθρωπο, σύμφωνα με το Σχήμα 3. Αυτές ισχύουν ανεξάρτητα από την ηλικία και το βάρος. Το συνεχές ρεύμα γίνεται αντιληπτό σε ένταση άνω των 2 mA. Στη ζώνη 2, άνω των 2 mA, το ρεύμα προκαλεί συστολή των μυών, όχι όμως οργανική βλάβη, μόνο αν αυτό μεταβληθεί απότομα, δηλαδή κατά την επαφή ή κατά τη διακοπή της επαφής. Στη ζώνη 3 είναι πιθανές καρδιακές διαταραχές. Λόγω έλλειψης δεδομένων τα όρια μεταξύ των περιοχών 2 και 3 είναι ασαφή. Στη ζώνη 4, δηλαδή άνω των 150-500 mA υπάρχει κίνδυνος μαρμαρυγής.

Σύγκριση των Σχημάτων 2 και 3 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, το συνεχές ρεύμα είναι πιο ακίνδυνο απ' ό,τι ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, με τιμή μεγίστου ίση με αυτή του συνεχούς.



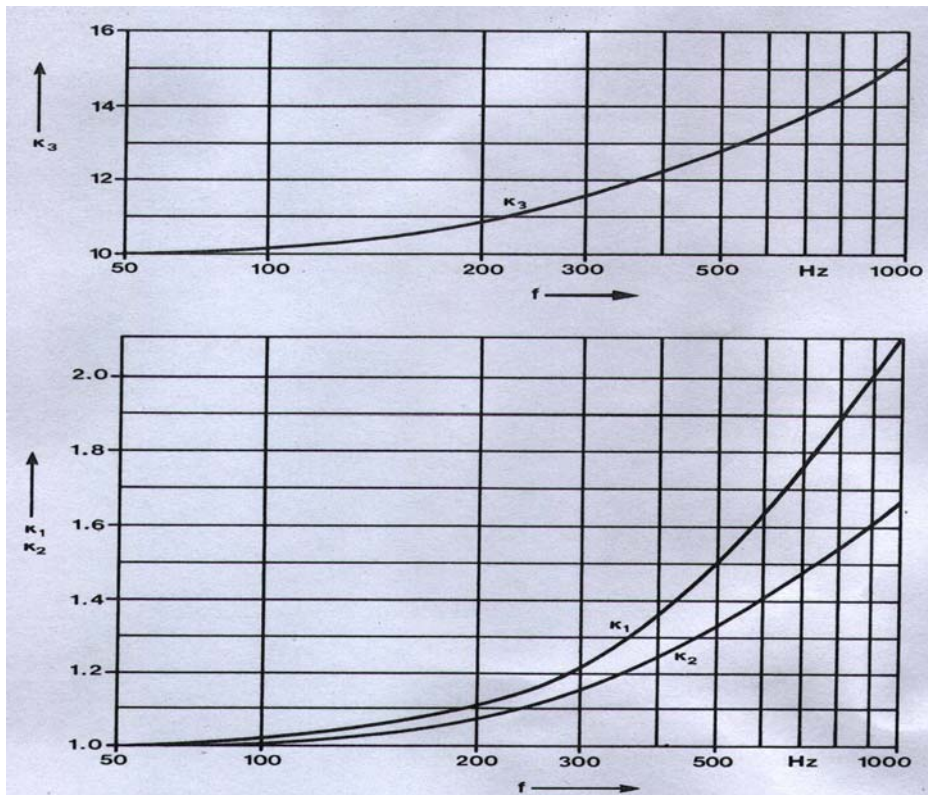
Σχήμα 3

2.3.5.5 Επίδραση της συχνότητας του ρεύματος

Η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο γίνεται πιο ακίνδυνη καθώς αυξάνεται η συχνότητα από 50 Hz σε υψηλότερες συχνότητες. Φαίνεται ότι η περιοχή γύρω από τα 50 Hz είναι η πιο επικίνδυνη. Δηλαδή στο συνεχές και σε υψηλότερες συχνότητες η δράση του ρεύματος είναι πιο ακίνδυνη. Για συχνότητες διαφορετικές των 50 Hz ισχύει το Σχήμα 2 των επιδράσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος, αλλά με αλλαγμένη κλίμακα. Για να βρούμε την τιμή ενός υψίσυχνου ρεύματος, I_{eq} , που προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα όπως το ρεύμα των 50 Hz, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το ρεύμα I των 50 Hz (Σχ. 2) με συντελεστές που δίνονται στο Σχήμα 4.

$$I_{eq} = I \cdot K_1 \quad \text{ή} \quad I_{eq} = I \cdot K_2 \quad \text{ή} \quad I_{eq} = I \cdot K_3$$

Το K_1 ισχύει για την καμπύλη α, το K_2 για b, το K_3 για c_1, c_2, c_3 στο Σχήμα 2. Για 1000 Hz, π.χ., δεν υπάρχει καμιά αντίδραση (καμπύλη α) για $0,5 \times 2,1 = 1,02$ mA. Το όριο μαρμαρυγής (καμπύλη c_1) είναι για καταπόνηση 5 δευτερολέπτων $40 \times 15,3 = 612$ mA.



Σχήμα 4

2.3.5.6 Ασφαλής τάση επαφής σε περιπτώσεις σφαλμάτων

Από πειράματα διαπιστώθηκε, σύμφωνα και με τη δημοσίευση IEC 364.4.4.1 ότι μέχρι τις πιο κάτω τάσεις δεν υπήρξαν σοβαρά ατυχήματα.

$U_{AC} = 50$ V ενεργός τιμή, 50 Hz,
 $U_{DC} = 120$ V συνεχής τάση.

Αυτές οι τιμές ισχύουν για άπειρο χρόνο επαφής. *Επιτρέπεται δε να ισχύουν μόνο σε περίπτωση σφάλματος, δηλαδή δεν πρέπει να σχεδιάζει κανείς συσκευές όπου υπό κανονική λειτουργία τάσεις 50 V E.P. ή 120 V Σ.P. εφαρμόζονται συνεχώς στο ανθρώπινο σώμα.* Για υψηλότερες τάσεις οι χρόνοι επαφής είναι περιορισμένοι. Πρέπει εδώ να παρατηρηθεί ότι, τάσεις επαφής μεγαλύτερες των 50 V, π.χ. 110 V, μπορούν κάλλιστα να εμφανιστούν σε μεταλλικά περιβλήματα ουδετερουμένων συσκευών κατά τη διάρκεια σφαλμάτων.

Οι κανονισμοί ΚΕΗΕ επιτρέπουν μέγιστους χρόνους απόζευξης 5 sec, σε στέρεο σφάλμα ως προς γη, σε ουδετερωμένα συστήματα. Αντίθετα, οι κανονισμοί VDE 100/410 επιτρέπουν 5 sec γενικά, ειδικά όμως μόνο 0,2 sec σε κυκλώματα πριζών μέχρι 35 A και φορητές συσκευές. Δηλαδή, εκεί που εγκυμονούν συχνά μεγάλοι κίνδυνοι, οι κανονισμοί VDE επιτρέπουν 0,2 sec.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, οι τάσεις επαφής σε σφάλματα περιορίζονται συνήθως ακόμα και σε δυσμενείς περιπτώσεις στα 110 V, που αντιστοιχούν σε διάρκεια 0,2 sec.

2.3.5.7 Επίδραση φορτισμένων πυκνωτών, βραχυχρόνιες επιδράσεις

Επαφή ανθρώπου με φορτισμένους πυκνωτές που έχουν γειωθεί στο ένα τους άκρο, μπορεί να προκαλέσει την εκκένωσή τους μέσω του σώματος προς τη γη. Τέτοιοι πυκνωτές μπορεί να είναι μέσα σε συσκευές, π.χ. τηλεόραση, σε συστήματα αντιστάθμισης, σε εργαστήρια υψηλών τάσεων ή σε ηλεκτρικούς φράκτες.

Το ρεύμα εκκένωσης μπορεί εδώ να είναι υψηλό αλλά είναι βραχυχρόνιο. Σύμφωνα με το πρότυπο VDE 0.11/410 και τη δημοσίευση IEC 348, σαν κριτήριο επικινδυνότητας πρέπει να θεωρηθεί η αποθηκευμένη ενέργεια στον πυκνωτή :

$$W = \frac{1}{2} \times CU^2$$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ενέργεια είναι:

$$W_{\max} = 0.350 \text{ Joule}$$

Αυτή η ενέργεια αντιστοιχεί, π.χ. σε πυκνωτές 50 Hz, ισχύος 110 var όταν αυτοί είναι φορτισμένοι στη μέγιστη τους τάση, οποιαδήποτε και αν είναι η ονομαστική τάση του δικτύου.

2.3.6 Ενέργειες σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας

Η αντιμετώπιση μιας ηλεκτροπληξίας απαιτεί ψυχραιμία και συντονισμό. Οι ενέργειες σε βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι:

1. ΚΑΤΕΒΑΣΕ ΤΟ ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΚΟΠΤΗ.
2. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΕ ΤΟΝ ΠΑΘΟΝΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΡΕΥΜΑ.
3. ΚΑΝΕ ΤΕΧΝΙΤΗ ΑΝΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΜΑΣΑΖ ΚΑΡΔΙΑΣ
4. ΤΗΛΕΦΩΝΗΣΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΑ ΣΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ ΒΟΗΘΕΙΕΣ (166) ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗ (100)
5. ΣΥΝΕΧΙΣΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΔΙΑΣΩΣΕΩΣ (ΤΕΧΝΗΤΗ ΑΝΑΠΝΟΗ) ΜΕΧΡΙ ΝΑ ΑΝΑΛΑΒΕΙ Ο ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΓΙΑΤΡΟΣ ΔΗΜ. ΝΑ ΣΥΝΕΧΙΣΤΕΙ Η ΤΕΧΝΗΤΗ ΑΝΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΟ.

Προληπτικά

1. ΜΑΘΕ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ Ο ΓΕΝΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ
2. ΜΑΘΕ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΤΟ ΚΟΝΤΙΝΟΤΕΡΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ ΚΑΙ ΓΝΩΡΙΖΕ ΑΠΟ ΜΝΗΜΗΣ ΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ ΠΡΩΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ.
3. ΠΡΩΤΕΣ ΒΟΗΘΕΙΕΣ; 150, 166
4. ΑΜΕΣΗ ΔΡΑΣΗ; 100
5. ΜΑΘΕ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΙΟ ΚΑΙ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ
6. ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ; 199
7. ΜΗΝ ΚΑΝΕΙΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥΣ ΠΡΙΝ ΕΝΤΟΠΙΣΕΙΣ ΠΟΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΕΙΝΑΙ ΥΠΟ ΤΑΣΗ

2.3.6.1 Κανόνες ασφάλειας για την αποφυγή ηλεκτροπληξίας

Παρακάτω δίνονται ορισμένοι βασικοί κανόνες ασφάλειας για την προστασία από ηλεκτροπληξία. Τονίζεται ότι οι απλοί κανόνες πρέπει να εφαρμόζονται πιστά για την προστασία της δικής σας ζωής. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που έμπειροι τεχνίτες έχασαν τη ζωή τους από ηλεκτροπληξία γιατί αγνόησαν κάποιο βασικό κανόνα.

Ο κυριότερος κανόνας προσωπικής ασφάλειας είναι να **σκέφτεστε πρώτα πριν κάνετε κάτι**. Συνηθίστε να μελετάτε το πρόβλημα προσεκτικά, τις ενέργειες που θα κάνετε, τη χρήση εργαλείων οργάνων μηχανών που απαιτούνται πριν ενεργήσετε. Μην αφήνετε τον εαυτό σας να αφαιρείται από την εργασία που κάνετε και μην ενοχλείτε άσκοπα τους συναδέλφους που δουλεύουν δίπλα σε σας. Χώρος όπου υπάρχει ηλεκτρισμός και κινούμενα μέρη μηχανών δεν είναι κατάλληλοι για αστεία.

Βεβαιωθείτε για την κατάσταση των συσκευών που χρησιμοποιείτε και τους κινδύνους που μπορεί να εμφανιστούν **ΠΡΙΝ ΕΡΓΑΣΤΕΙΤΕ ΜΕ ΑΥΤΕΣ**. Πολλά άτομα έχασαν τη ζωή τους από όπλα που υποτίθεται ότι ήταν άδεια ή από ηλεκτρικά κυκλώματα που υποτίθεται ότι ήταν 'νεκρά'.

ΠΟΤΕ μην εμπιστεύεστε τη ζωή σας αποκλειστικά σε συσκευές όπως αυτόματοι, ασφάλειες, ρελέ θερμικά κλπ. Συσκευές σαν αυτές είναι μηχανικά συστήματα και υπάρχει πάντα πιθανότητα να μην ενεργοποιηθούν.

ΠΟΤΕ μη διακόπτετε τη γείωση μιας συσκευής. Η συσκευή θα γίνει επικίνδυνη για τη ζωή σας.

Να εργάζεστε πάντοτε με τάξη. Μια μάζα καλωδίων με πολλές συνδέσεις, εργαλεία πεταμένα δεξιά και αριστερά οδηγούν σε επιπόλαια σκέψη, ενέργειες χωρίς προηγούμενη μελέτη τους και γενικά σε ατυχήματα. Κάντε τις συνδέσεις σας χρησιμοποιώντας κατάλληλα, από άποψη μήκους, καλώδια, αποφύγετε να έχετε γυμνούς συνδέσμους, υπό τάση.

ΠΟΤΕ μη δουλεύετε σε υγρά πατώματα όταν έρχεστε σε επαφή με ηλεκτρικά κυκλώματα.

ΠΟΤΕ μη δουλεύετε μόνοι σας. Πάντα να υπάρχει κάποιος άλλο άτομο δίπλα σας να διακόψει την παροχή αν χρειαστεί.

Αποφεύγετε να πιάνετε κυκλώματα με τα δύο σας χέρια. Το ρεύμα όταν διέρχεται από το ένα χέρι στο άλλο, διασχίζει την καρδιά σας, γεγονός που κάνει πιο επικίνδυνο ένα σοκ.

ΜΗ ΜΙΛΑΤΕ όταν δουλεύετε σε κύκλωμα υπό τάση ή μην απευθύνετε το λόγο σε συνάδελφό σας που εργάζεται υπό τάση. Για το λίγο χρόνο που τα κυκλώματά σας είναι υπό τάση και κάνετε μετρήσεις, απαιτείται η μέγιστη συγκέντρωση και προσοχή.

Αποφύγετε τις απότομες κινήσεις, σπρωξίματα κλπ. στους χώρους του εργαστηρίου. Κάποιος μπορεί από σπρώξιμο να αγγίξει κάποια σύνδεση και να δεχτεί σοκ.

3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ

3.1 Γενικά, κανονισμοί

Η προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας εξαρτάται από τη δομή του δικτύου. Έτσι, π.χ., οι τρόποι προστασίας είναι διαφορετικοί στο δημόσιο δίκτυο, που τροφοδοτεί καταναλωτές ΧΤ απ' ότι σε δίκτυο ΧΤ σε ένα εργοστάσιο με υγρό περιβάλλον. Παρακάτω θα αναφερθούμε κυρίως στην προστασία σε δίκτυα, όπως το δημόσιο δίκτυο και τα βιομηχανικά δίκτυα ΧΤ με γειωμένο ουδέτερο, TN δίκτυα (Terre-Neutral). Δες σχήμα 5.

Η δομή του δικτύου διανομής ΧΤ της ΔΕΗ είναι η αφετηρία για τον προσδιορισμό των τρόπων και μέσων προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας σε εγκαταστάσεις καταναλωτών (Σχήμα 6). Το δίκτυο ΧΤ τροφοδοτείται συνήθως από μετασχηματιστές συνδεσμολογίας Dyn ή Yzn, με αγείωτη τη μέση τάση και γειωμένο ουδέτερο στην ΧΤ. Από τον ΜΣ ξεκινούν μία ή περισσότερες ασφαλισμένες γραμμές και διακλαδίζονται ακτινικά στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής ΧΤ στην Ελλάδα είναι ακτινικά.

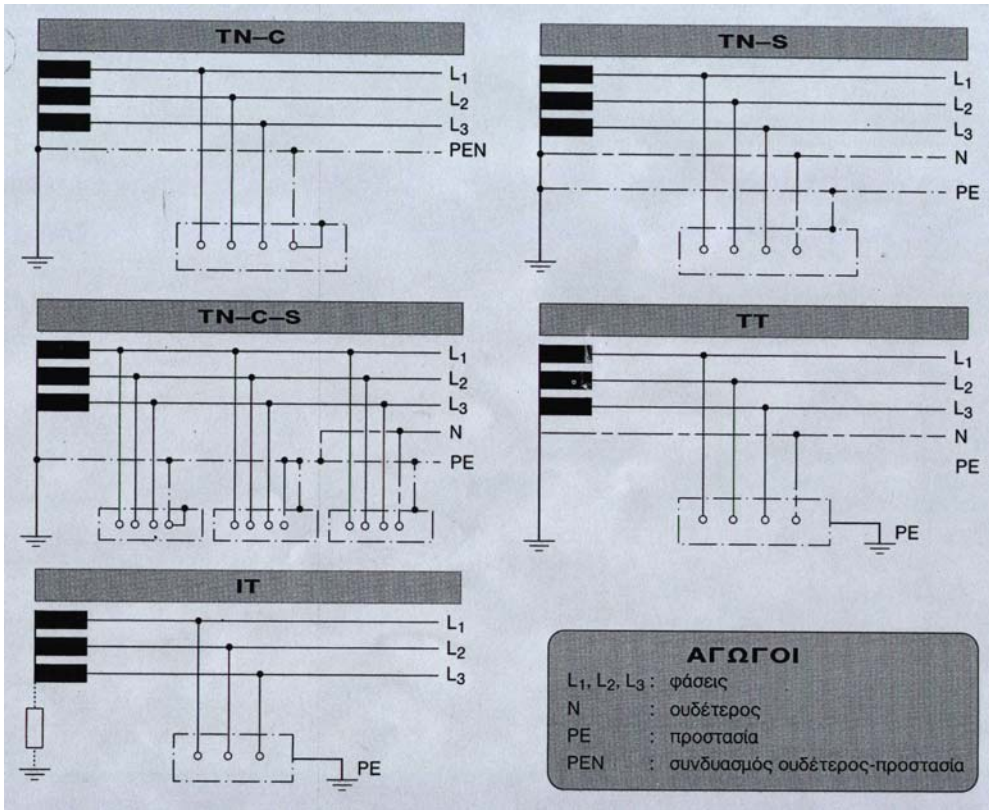
Ηλεκτροπληξία μπορεί να επέλθει με άμεση ή έμμεση επαφή του ανθρώπου με ένα κύκλωμα. Άμεση επαφή έχουμε όταν ακουμπήσουμε κανείς ηλεκτροφόρο αγωγό. Έμμεση επαφή έχουμε, όπως δείχνει το Σχήμα 7, όταν λόγω καταστροφής της μόνωσης μεταλλικά, αγείωτα μέρη τεθούν υπό τάση, οπότε η επαφή με αυτά μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία. Μία άλλη περίπτωση ηλεκτροπληξίας, με έμμεση επαφή, μπορεί να προκύψει όταν, μετά από σφάλμα σε εγκατάσταση, τα ρεύματα που ρέουν στη γη προκαλούν μεγάλες πτώσεις τάσης στο έδαφος. Έτσι, ένα άτομο που πατάει στο έδαφος υποβάλλεται σε μία τάση μεταξύ των δύο ποδιών του, την βηματική τάση, που μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία.

Διακρίνουμε τρεις (3) τάσεις σε σφάλματα:

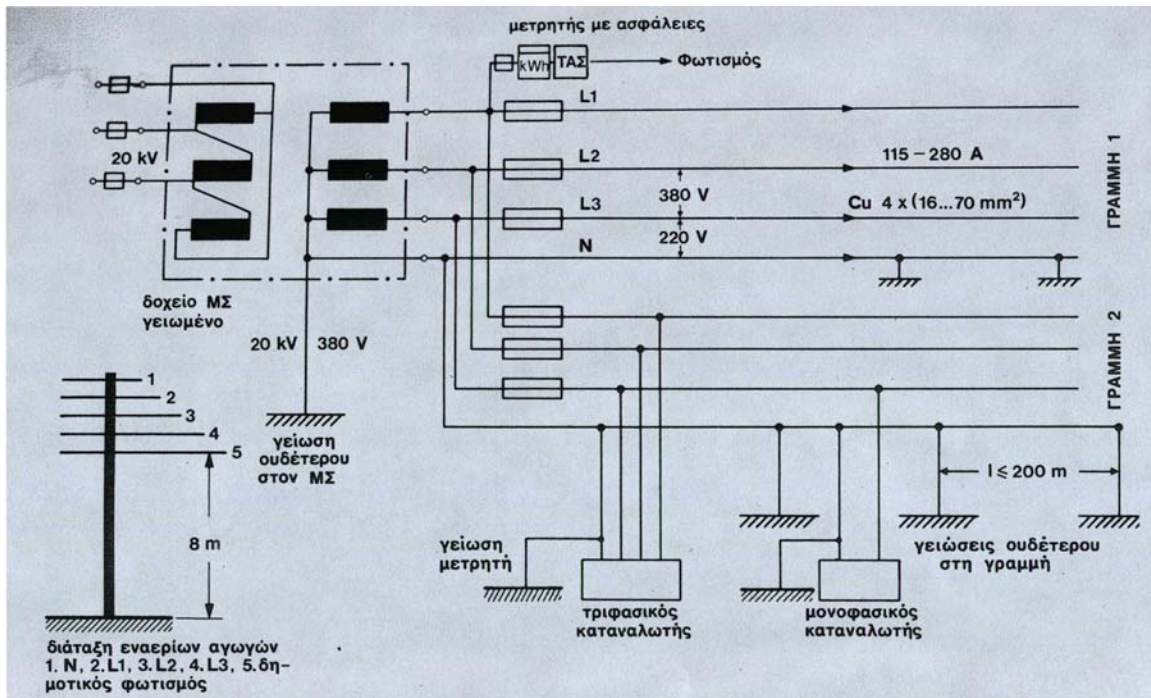
Τάση σφάλματος U_F , είναι η τάση του μεταλλικού περιβλήματος μίας συσκευής ως προς το σημείο δυναμικού, δηλαδή το δυναμικό σε άπειρο βάρος στη γη ή άπειρη απόσταση από την εγκατάσταση, π.χ. 100 m.

Τάση επαφής, U_B , είναι η τάση που εφαρμόζεται στο ανθρώπινο σώμα, δηλαδή είναι μέρος της τάσης σφάλματος, U_F (Σχέδιο 7).

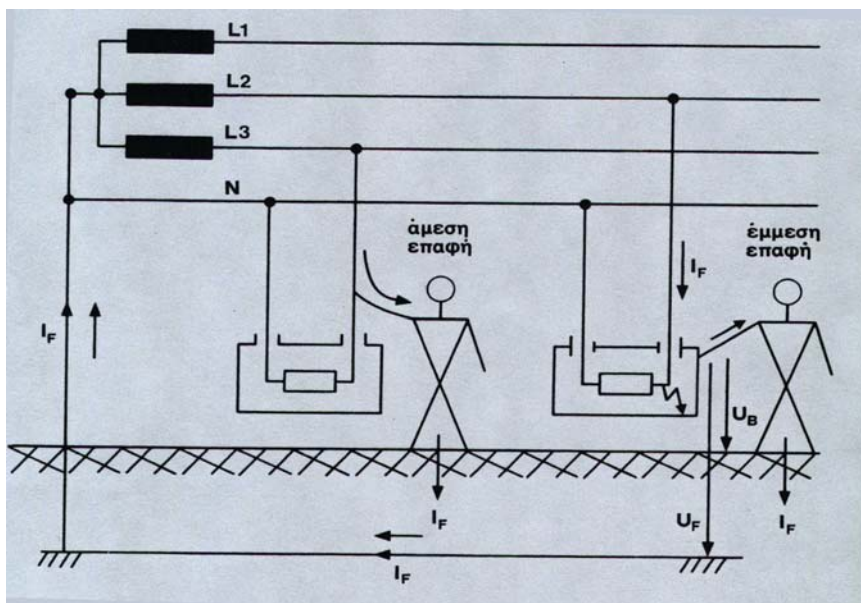
Βηματική τάση, U_S , είναι η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των ποδιών ενός ανθρώπου για ένα βήμα ενός μέτρου, στη διεύθυνση μέγιστης μεταβολής δυναμικού.



Σχήμα 5



Σχέδιο 6



Σχήμα 7

3.2 Μέθοδοι προστασίας

Το άρθρο 8 των Κανονισμών Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (ΚΕΗΕ) προσδιορίζει τα πιο κάτω:

α) Μία εγκατάσταση θεωρείται ασφαλής για ανθρώπους, όταν η τάση λειτουργίας δεν υπερβαίνει τα 50 V στο συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα (ενεργός τιμή).

Για τάση λειτουργίας πάνω από 50 V, πρέπει να αποκλείεται η τυχαία επαφή με τα υπό τάση μέρη και, επιπρόσθετα, να ικανοποιείται μία τουλάχιστον από τις πιο κάτω συνθήκες:

β) Το ρεύμα δια μέσου του ανθρώπινου σώματος στην περίπτωση ατυχήματος να μην υπερβαίνει τα 0,5 mA (ενεργός τιμή). Αυτό όταν πρόκειται για συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα μέχρι 60 Hz.

γ) Η τάση επαφής να μην υπερβαίνει τα 50 V.

δ) Τάση επαφής πάνω από 50 V να μη μπορεί να διατηρηθεί για χρόνους μεγαλύτερους των 5 sec, π.χ. η τάση των 220V.

Τα μέτρα προστασίας που ικανοποιούν τις πιο πάνω συνθήκες είναι γενικά, κατά το άρθρο 10 των ΚΕΗΕ, τα πιο κάτω:

- χαμηλή τάση λειτουργίας (<50 V), υποβιβασμένη τάση,
- διπλή μόνωση,
- περίφραξη ή περίβλημα στα κυκλώματα,
- εγκατάσταση σε μονωμένο δάπεδο,
- γαλβανική απομόνωση,
- ουδετέρωση,
- γείωση μέσω διακόπτη διαφυγής τάσης,
- χρήση διακόπτη διαφυγής ρεύματος.

Μπορεί να γίνει συνδυασμός των παραπάνω σε ορισμένες περιπτώσεις. Η επιλογή της μεθόδου προστασίας στις εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις γίνεται από το διανομέα ηλεκτρικής ενέργειας, τη ΔΕΗ, εκτός αν οι ΚΕΗΕ απαιτούν μία συγκεκριμένη μέθοδο.

3.2.1 Ανάλυση των μέσων προστασίας

3.2.1.1 Χαμηλή τάση λειτουργίας

Χαμηλή ή υποβιβασμένη ονομαστική τάση λειτουργίας (<50 VE.P., 120 V Σ.P.) χρησιμοποιείται σε τηλεφωνικές εγκαταστάσεις, κυκλώματα ελέγχου, ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά παιχνίδια, μετασχηματιστές

συγκολλήσεων και αλλού. Για λόγους ασφαλείας μπορεί η τάση να είναι π.χ. 24 V σε ηλεκτρονικά μουσικά όργανα.

Παράδειγμα υποβιβασμένης τάσης αποτελούν οι διακόπτες που ελέγχουν το κύκλωμα χρήσης 220 V λειτουργούν με υποβιβασμένη τάση 24 V. Αυτό, επειδή οι διακόπτες είναι σε χώρους υγρούς, π.χ. σε κήπο. Σε κήπους γίνεται χρήση 24 ή 48 V.

Άλλο παράδειγμα υποβιβασμένης τάσης είναι το δευτερεύον των μετασχηματιστών ηλεκτροσυγκόλλησης. Σημαντικό σε εγκαταστάσεις με τάση που έχει υποβιβαστεί είναι, ότι οι μετασχηματιστές που παρέχουν την πιο πάνω τάση πρέπει να μην έχουν καμία σύνδεση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος και να αποκλείεται διαρροή τάσης από το πρωτεύον στο δευτερεύον. Αυτό πρέπει να γίνει με ενίσχυση της μόνωσης. Η αντοχή της μόνωσης πρέπει να είναι διπλάσια της κανονικής.

Έχουν καθιερωθεί οι πιο κάτω μέγιστες εναλλασσόμενες τάσεις λειτουργίας (IEC 364, VDE 100):

6 V: Για ιατρικές συσκευές που έρχονται σ' επαφή με το σώμα.

12V: Για συσκευές μπάνιου.

24V: Για παιχνίδια.

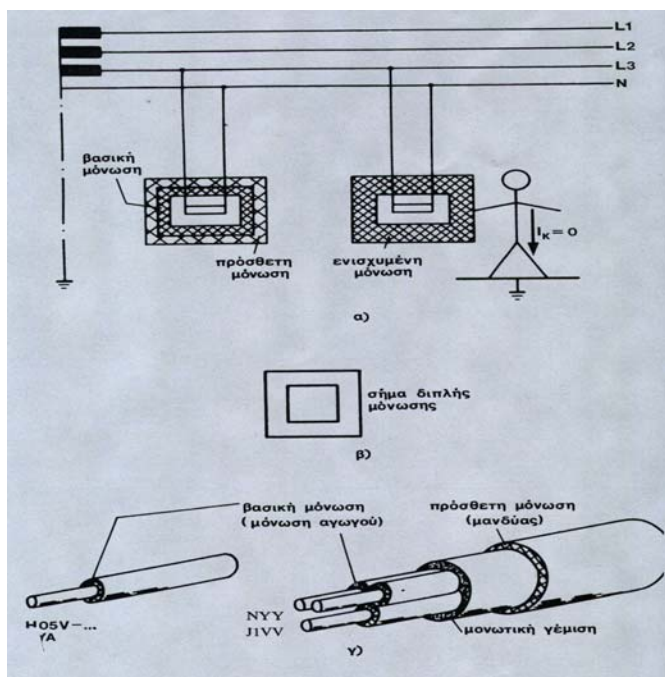
Υπάρχουν συνθήκες που πρέπει να πληρούν κυκλώματα υποβιβασμένης τάσης (IEC364, 479). Οι πιο βασικές είναι:

Για τάσεις 25 V-50 V Ε.Ρ. και 60 V-120 V Σ.Ρ. πρέπει να υπάρχουν καλύμματα ή μονώσεις που να μονώνουν τα 50 V, έτσι ώστε να αποφεύγεται η τυχαία επαφή με το σώμα.

3.2.1.2 Διπλή μόνωση

Η διπλή μόνωση σαν μέθοδος προστασίας εφαρμόζεται σε μεγάλη έκταση σε οικιακές συσκευές και ηλεκτρικά εργαλεία. Η διπλή μόνωση πρέπει να αντέχει τουλάχιστον σε διπλάσια τάση δοκιμής από ότι η απλή μόνωση λειτουργίας. Δηλαδή για συσκευές των 380/220 V, όπου π.χ. η τάση δοκιμής είναι τα 2000 V συνήθως, για διπλή μόνωση πρέπει να ζητηθούν 4000 V σαν τάση δοκιμής οποιοδήποτε σημείου του κυκλώματος ως προς τη γη. Η διπλή μόνωση εξασφαλίζεται συνήθως με δύο τρόπους (Σχήμα 8):

- Με πρόσθετο στρώμα μόνωσης.
- Με ενίσχυση του πάχους της μόνωσης.

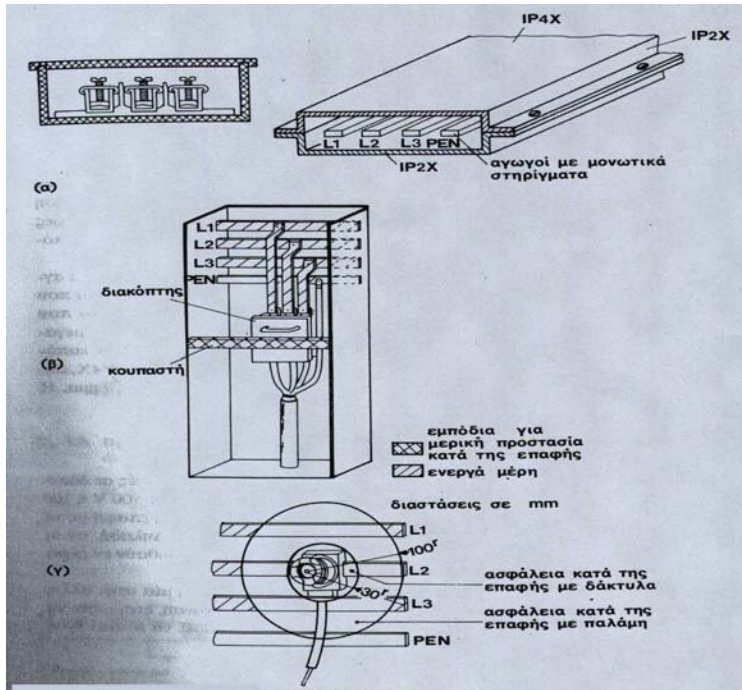


Σχήμα 8

3.2.1.3 Προστασία με περίβλημα ή περίφραξη ή απόσταση

Το υπό προστασία μέρος του κυκλώματος περιφράζεται έτσι ώστε να μην μπορεί κανείς απλώνοντας το χέρι του, να έλθει σε επαφή με τα υπό τάση στοιχεία (Σχέδιο 9). Τέτοιες περιφράξεις μπορεί να είναι κάγκελα ή μπάρες που εμποδίζουν τη μη ηθελημένη, δηλαδή τυχαία πρόσβαση, π.χ. σε μία απόσταση 1,25 m από τα κυκλώματα.

Θεωρούνται ασφαλή περιβλήματα εκείνα, που δεν μπορεί κανείς να αγγίξει τα υπό τάση μέρη. Δηλαδή εκείνα που δεν επιτρέπουν επαφή με το δάκτυλο ή είσοδο σωμάτων με διάμετρο μεγαλύτερη των 12 mm.

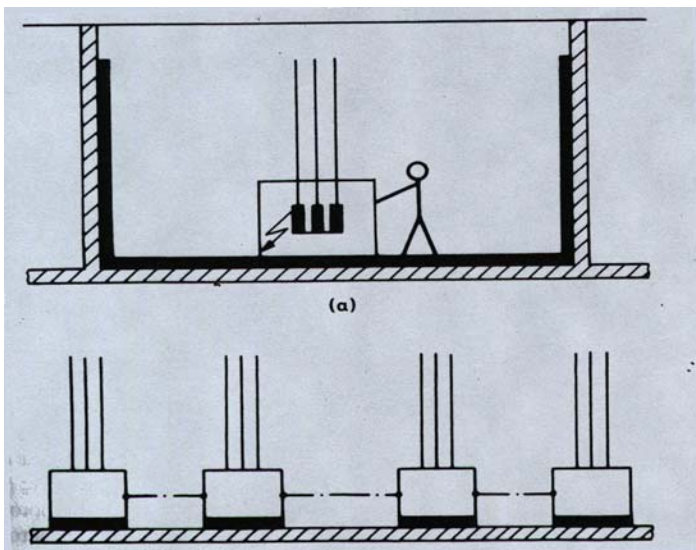


Σχήμα 9

3.2.1.4 Εγκατάσταση σε μονωμένο χώρο

Προστασία μπορεί να εξασφαλιστεί τοποθετώντας τις συσκευές σε δάπεδο με μόνωση άνω των 50 kΩ για εναλλασσόμενες τάσεις μέχρι 500 V ή 100 kΩ για άνω των 500 V. Πρέπει να αποκλείεται η ταυτόχρονη επαφή με τα χέρια των μεταλλικών κελυφών των συσκευών και τοίχων. Δηλαδή, αν οι συσκευές είναι κοντά στους τοίχους πρέπει και αυτοί να μονωθούν εν μέρει (Σχήμα 10)

Επίσης, αν οι συσκευές με μεταλλικά κελύφη είναι κοντά η μία στην άλλη, πρέπει να συνδεθούν τα κελύφη τους με ισοδυναμική σύνδεση, έτσι ώστε να αποκλείεται διαφορά δυναμικού σε δύο κελύφη που μπορεί να πιάσει ένας άνθρωπος ταυτόχρονα (Σχήμα 10).



Σχήμα 10

3.2.1.5 Ηλεκτρική, γαλβανική απομόνωση

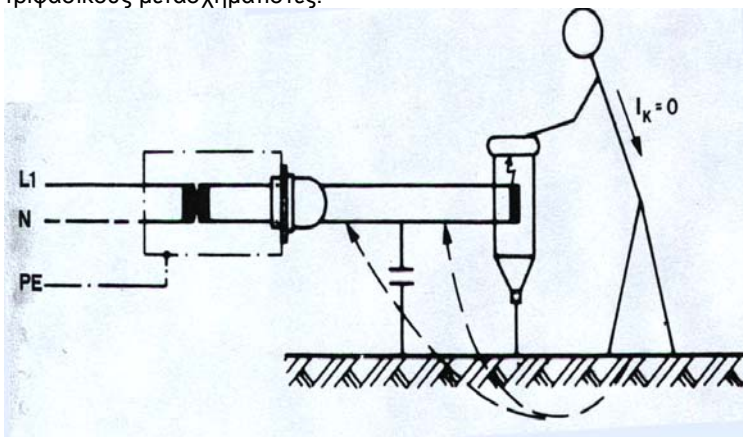
Το κύκλωμα υπό προστασία τροφοδοτείται μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης (μονοφασικό ή τριφασικό), δεξ Σχήμα 11. Εφαρμογές αυτού γίνονται σε εργοτάξια ή σε μικρές προσωρινές εγκαταστάσεις και σε εγκαταστάσεις υπαίθριες (κήπους). Το δευτερεύον του μετασχηματιστή απομόνωσης δεν πρέπει να έχει σύνδεση ούτε με το πρωτεύον ούτε με τη γη. Δηλαδή, στο δευτερεύον δεν πρέπει να υπάρχει διαρροή από έναν αγωγό προς τη γη. Το τελευταίο σημαίνει ότι πρέπει να έχουμε έναν απλό έλεγχο της μόνωσης της εγκατάστασης. Σε μία εκτεταμένη εγκατάσταση με πολλούς καταναλωτές αυτό δεν είναι εύκολο.

Έτσι προτείνεται, σε περίπτωση που το περιβάλλον είναι επικίνδυνο, π.χ. εργοτάξια, η ηλεκτρική απομόνωση να περιορίζεται σε ένα μόνο καταναλωτή.

Σε περίπτωση μίας διαρροής προς άνθρωπο, το κύκλωμα κλείνει μέσω των χωρητικότητων του κυκλώματος και των γραμμών. Έτσι για πολύ μεγάλα μήκη τροφοδοσίας το ρεύμα δια του ανθρωπίνου σώματος μπορεί να φθάσει σε επικίνδυνα όρια.

Γι' αυτό δεν επιτρέπεται η έκταση του κυκλώματος να είναι οποιαδήποτε. Για 380V επιτρέπονται 260 m, ενώ για 220 V επιτρέπονται 454 m.

Οι μετασχηματιστές πρέπει να έχουν ιδιαίτερα ισχυρή μόνωση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Αυτοί πληρούν τους κανονισμούς VDE 0550/Teil 3 και έχουν για 220/380 V τάσεις δοκιμής 4 kV έως 5 kV. Σε αντιδιαστολή με αυτά, σε μετασχηματιστές γενικής χρήσης έχουμε τάσεις δοκιμής 2,5 kV έως 3,5 kV. Η ισχύς των ΜΣ απομόνωσης είναι περιορισμένη στα 4 kVA για μονοφασικούς 220 V και 10 kVA για τριφασικούς μετασχηματιστές.



Σχήμα 11

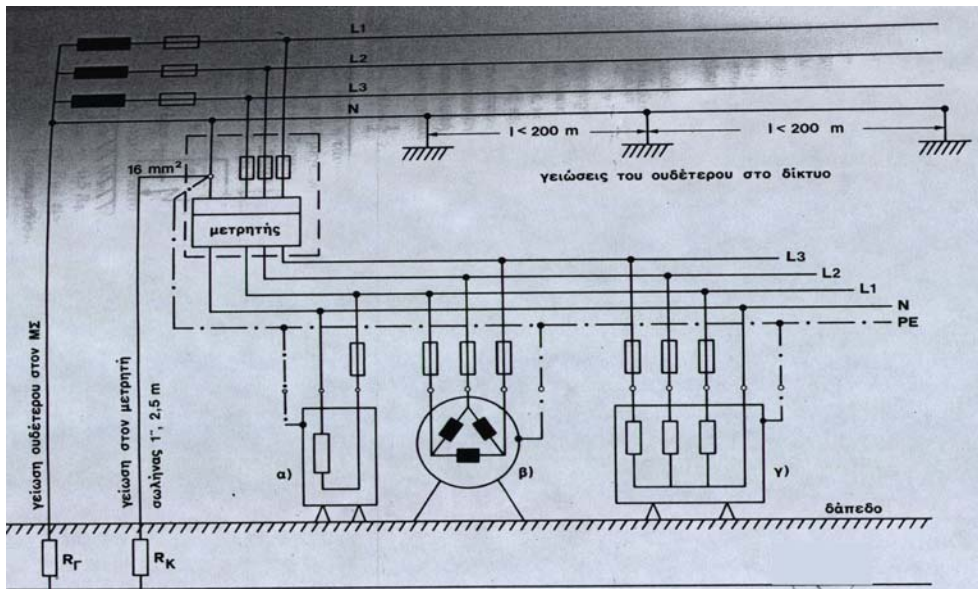
3.2.1.6 Η ουδετέρωση με αγωγή προστασίας

Η ουδετέρωση χαρακτηρίζεται και σαν ουδετερογείωση. Αυτή είναι η σύνδεση των μεταλλικών μερών των συσκευών με αγωγό γείωσης (λέγεται και αγωγός προστασίας), που συνδέεται με τον ουδέτερο στον πίνακα της παροχής. Ο ουδέτερος συνδέεται όμως και με ηλεκτρόδιο γείωσης στο σημείο της παροχέτευσης πριν από τον μετρητή. Ο τρόπος αυτός της προστασίας είναι εξ ίσου αποτελεσματικός όπως η άμεση γείωση, αλλά απαιτεί μικρότερη αντίσταση γείωσης. Είναι ο τρόπος που προδιαγράφει η ΔΕΗ για καταναλωτές ΧΤ (Σχήματα 12,13).

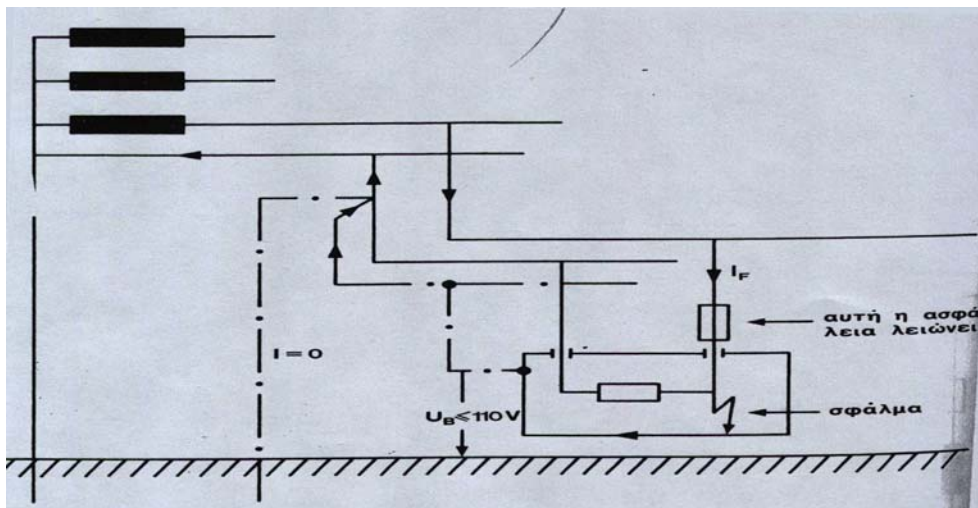
Σε ουδετερωμένες εγκαταστάσεις έχουμε, για μονοφασικές τροφοδοτήσεις τρεις αγωγούς (Φάση, Ουδέτερο, Αγωγό Γείωσης) και για τριφασικές πέντε αγωγούς (3 Φάσεις, Ουδέτερο, Αγωγό Γείωσης).

Η ουδετέρωση πρέπει κατά δυνατότητα να οδηγεί σε μειωμένες τάσεις επαφής, σε όλες τις περιπτώσεις των σφαλμάτων. Διακρίνουμε σφάλματα μεταξύ φάσης και γειωμένων περιβλημάτων και μεταξύ φάσης και γης (Σχήματα 14 α,β,γ). Αν δεν μπορεί να περιοριστεί στα 50V η τάση, τότε πρέπει οπωσδήποτε να διακόπτεται η τάση σε χρόνο 5 sec. Περιοδικές τάσεις σφαλμάτων 110V δεν είναι σπάνιες σε ουδετερωμένα δίκτυα.

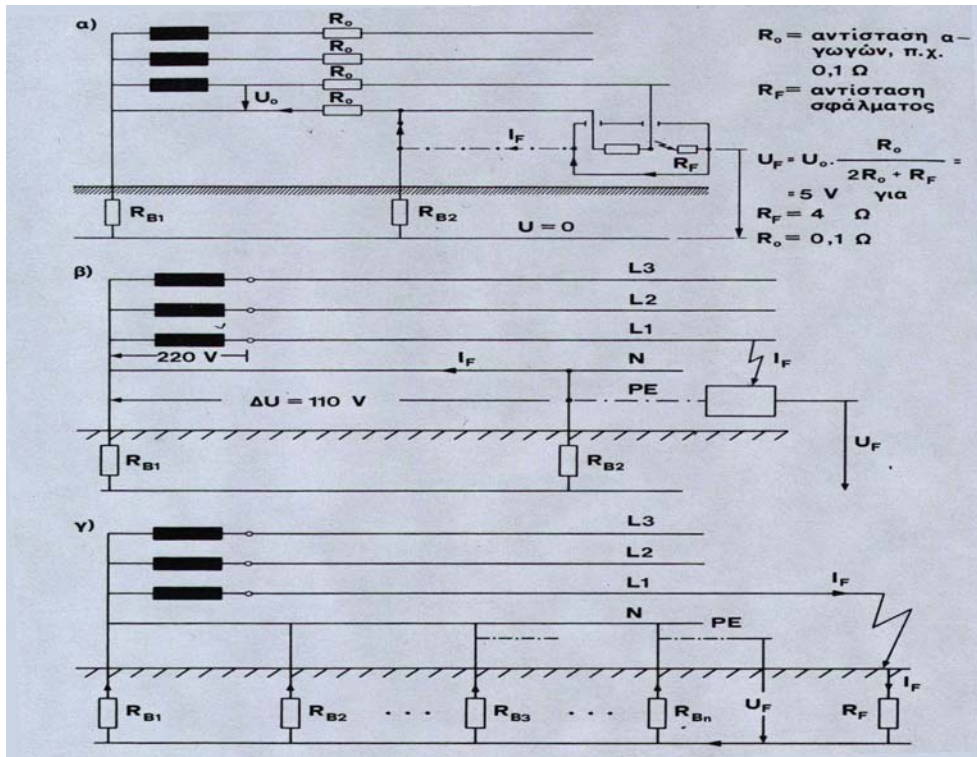
Η ουδετέρωση είναι η κατά κανόνα μέθοδος προστασίας σε καταναλωτές του δημοσίου δικτύου ΧΤ. Για να εφαρμοστεί όμως κατά το άρθρο 19 του ΚΕΗΕ πρέπει να πληρούνται πέντε συνθήκες, που θ' αναπτυχθούν σε επόμενη παράγραφο. Για να γίνουν όμως σαφείς οι συνθήκες, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει η πιο κάτω ανάλυση των σφαλμάτων σε ουδετερωμένα δίκτυα σε δύο περιπτώσεις:



Σχήμα 12



Σχήμα 13



Σχήμα 14

Σφάλματα μεταξύ φάσης και μεταλλικών περιβλημάτων

Αν η αντίσταση σφάλματος είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίσταση των αγωγών, π.χ. $>500\Omega$, τότε τέτοια σφάλματα δεν είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε υψηλές τάσεις επαφής (Σχέδιο 14α).

Αν όμως δεν αποζηυχθούν έγκαιρα τέτοια σφάλματα, μπορεί να προκληθεί πυρκαγιά. Μικρά ρεύματα σφάλματος δεν ενεργοποιούν ασφάλειες αλλά όμως μπορούν να ενεργοποιήσουν διακόπτες διαφυγής έντασης, όπως θα δούμε, και έτσι να διακοπεί η τροφοδοσία στο κύκλωμα του σφάλματος.

Ας εξετάσουμε τώρα, με βάση το Σχήμα 14β, σφάλματα με αμελητέα αντίσταση σφάλματος, π.χ. ένα τέλειο βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσης και γειωμένου αντικειμένου στο δίκτυο. Χάρην απλότητας παίρνουμε ένα μόνο καταναλωτή. Αν υποθέσουμε ίσες διατομές ουδέτερων και φάσης, τότε δημιουργείται κατά μήκος του ουδέτερου η πτώση τάσης ΔU , που είναι ίση με:

$$\Delta U = \frac{1}{2} 220V = 110V$$

Αυτή η τάση δεν επηρεάζεται από τις αντιστάσεις γείωσης, γιατί αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αντιστάσεις των αγωγών. Είναι γνωστό ότι σε ένα κύκλωμα οι μικρές αντιστάσεις κυριαρχούν στον προσδιορισμό της κατανομής τάσης. Η τάση σφάλματος είναι προφανώς η τάση μεταξύ αγωγών PE και της άπειρης γης, δηλαδή:

$$U_f = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} 110V,$$

όπου, R_{B1} , R_{B2} , είναι οι αντιστάσεις γείωσης του ουδέτερου του μετασχηματιστή και του καταναλωτή.

Για $R_{B2} = R_{B1}$, η τάση επαφής είναι $U_f = 55V$,

για $R_{B2} = 0,5 R_{B1}$, είναι $U_f = 37V$

για $R_{B2} \ll R_{B1}$ είναι $U_f \approx 0 \text{ V}$ και

για $R_{B2} \gg R_{B1}$, είναι $U_f \approx 110 \text{ V}$.

Για περισσότερους καταναλωτές οι συνθήκες είναι πιο ευνοϊκές. Βλέπουμε όμως, ότι σε στερεά βραχυκύκλωμα πρέπει να αποζεύγεται η εγκατάσταση γρήγορα. Επίσης, μία μικρή αντίσταση γείωσης στους καταναλωτές βοηθά στο να κρατήσουμε χαμηλές τάσεις επαφής.

3.3 Σφάλματα φάσης-γης στο δίκτυο

Σε σφάλματα φάσης-γης, σύμφωνα με το Σχήμα 14γ, το ρεύμα να μπαίνει στη γη στη θέση σφάλματος, όπου και ρέει μέσω της αντίστασης γείωσης R_F . Το ρεύμα ρέει δια μέσου όλων των παραλλήλων γειώσεων $R_{B1}, R_{B2}, \dots, R_B$. Ο ουδέτερος αγωγός έχει παντού το ίδιο δυναμικό ως προς την άπειρη γη. Το δυναμικό αυτό είναι ίσο με την τάση σφάλματος όπως ακολουθεί:

$$U_f = \frac{RB}{RB + R_F} 220V,$$

όπου $R_B^{-1} = R_{B1}^{-1} + R_{B2}^{-1} + \dots$,

R_B είναι η συνισταμένη αντίσταση όλων των αντιστάσεων γείωσης του ουδέτερου.

Για $U_f \leq 50V$ προκύπτει:

$$R_F \geq 3,4 R_B.$$

Η τελευταία σχέση ικανοποιείται κατά τους ΚΕΗΕ για $R_B = 10\Omega$.

3.4 Συνθήκες ουδετέρωσης

3.4.1 1^η Συνθήκη ουδετέρωσης

Για στερεό (ιδανικό) βραχυκύκλωμα μεταξύ φάσης και ουδέτερου, πρέπει τα μέσα προστασίας (ασφάλειες ή αυτόματοι) να διακόπτουν γενικά το κύκλωμα σε 5 sec. Αυτό θεωρείται ότι ισχύει, όταν το ρεύμα του βραχυκυκλώματος είναι τουλάχιστον τριπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος της αμέσως προτεταγμένης ασφάλειας.

Ειδικά για τις πιο κάτω περιπτώσεις ο χρόνος απόζευξης δεν είναι 5 sec αλλά 0,2 sec

- Κυκλώματα με πρίζες κάτω των 35A
- Κυκλώματα με συσκευές χειρός.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το ισχύον ΚΕΗΕ δεν εμπεριέχει το χρόνο 0,2 sec. Αυτός ο κατά 25 φορές μειωμένος χρόνος είναι απαραίτητος στις πιο πάνω περιπτώσεις, γιατί υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

Προσοχή: Ένας έλεγχος του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να δείξει ότι σε πολύ μακριές γραμμές τροφοδότησης αυτό μπορεί να μην ισχύει πάντα, οπότε πρέπει να αυξηθούν οι διατομές των αγωγών.

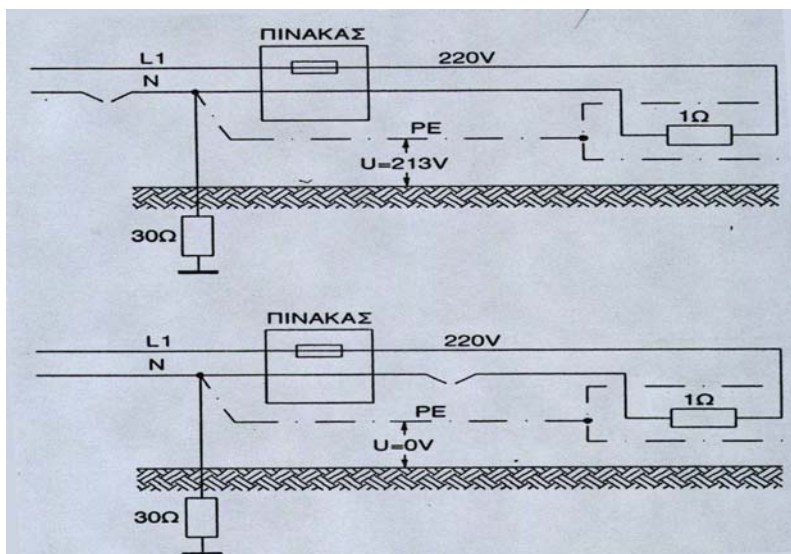
3.4.2 2^η Συνθήκη ουδετέρωσης

Πρέπει να εξασφαλίζεται η συνέχεια του ουδέτερου. Η ελάχιστη διατομή του είναι ίση με αυτή των φάσεων, για 16 mm^2 διατομής φάσεων. Για μεγαλύτερες διατομές ο ουδέτερος έχει το ήμισυ της διατομής των φάσεων αλλά τουλάχιστον 16 mm^2 , σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα

Διατομή φάσεων (A_p)	Διατομή Ουδέτερου (A_N)
$A_p \leq 16 \text{ mm}^2$	$A_N = A_p$
$16 < A_p \leq 35 \text{ mm}^2$	$A_N = 16 \text{ mm}^2$
$A_p > 35 \text{ mm}^2$	$A_N = 0,5 A_p$

Πίνακας. Διατομή ουδέτερου σύμφωνα με το άρθρο 19 των ΚΕΗΕ

Η σημασία της συνέχειας του ουδέτερου προκύπτει από το Σχήμα 15. Εάν διακοπεί ο ουδέτερος μετά το σημείο N, δηλαδή κατά τη διαδρομή του αγωγού προστασίας, τότε δεν υφίσταται κίνδυνος.



Σχήμα 15

Συνεπώς πρέπει να εξασφαλιστεί η συνέχεια του ουδέτερου στο δίκτυο.

Στο δημόσιο δίκτυο η ΔΕΗ θεωρείται ότι εξασφαλίζει τη συνέχεια και όχι ο καταναλωτής. Σε βιομηχανικά δίκτυα ή μεγάλες εγκαταστάσεις μπορεί να εξασφαλιστεί η συνέχεια του ουδέτερου όταν έχει διατομή πάνω από 10 mm^2 .

3.4.3 3^η Συνθήκη ουδετέρωσης

Αυτή η συνθήκη θα αναφερθεί εδώ όπως εφαρμόζεται κατά τους ΚΕΗΕ.

Ο ουδέτερος γειώνεται όπως ακολούθει:

α) Ο ουδέτερος κόμβος του ΜΣ, ΜΤ/ΧΤ, γειώνεται. Εκεί συνδέονται (εφ' όσον υπάρχουν) τα μεταλλικά περιβλήματα των καλωδίων αναχώρησης ΧΤ.

β) Σε εναέρια δίκτυα υπάρχουν γειώσεις στα τέρματα των κυρίων κορμών και των διακλαδώσεων, τουλάχιστον κάθε 200 m. Πρέπει να γίνουν πρόσθετες γειώσεις και μάλιστα ομοιόμορφα κατανεμημένες, για να επιτευχθεί χαμηλή αντίσταση γείωσης, όταν αυτό απαιτείται (δες 4^η συνθήκη ουδετέρωσης, πιο κάτω).

γ) Σε εναέρια και υπόγεια δίκτυα γειώνεται ο ουδέτερος σε κάθε παροχέτευση πριν από τα όργανα προστασίας της παροχέτευσης. Η γείωση πρέπει να είναι από γαλβανισμένο σιδηροσωλήνα ονομαστικής διαμέτρου τουλάχιστον μιάς ίντσας (εσωτερική διάμετρος) και μήκος 2,5 m.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το μεταλλικό δίκτυο ύδρευσης, εφ' όσον έχει ίση ή μικρότερη αντίσταση από τον πιο πάνω σωληνα-γειωτή.

Αν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κύρια γείωση το δίκτυο ύδρευσης λόγω της μεγάλης του αντίστασης, τότε πρέπει να χρησιμοποιείται ηλεκτρόδιο γείωσης και να γίνει σύνδεση με την ύδρευση.

Η γείωση στο μετρητή γίνεται με αγωγό 16 mm^2 .

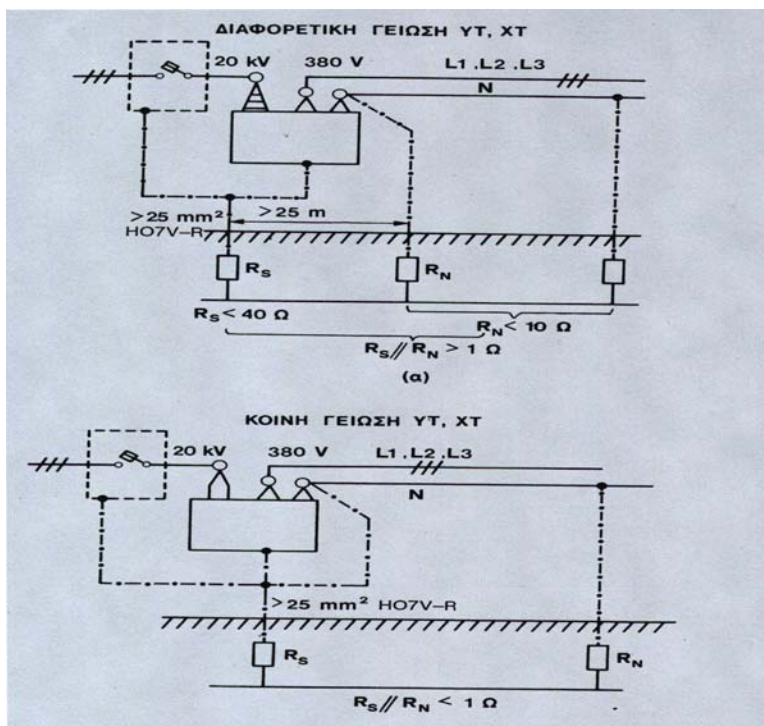
Πρέπει να επιδιώκεται χαμηλή αντίσταση γείωσης στην παροχή της οικοδομής για να υπάρχει μία αποτελεσματική προστασία. Με *θεμελιακές γειώσεις* μπορούν εύκολα να επιτευχθούν χαμηλές αντιστάσεις γείωσης.

Με τον αγωγό γείωσης συνιστάται να συνδέονται όλα τα μεταλλικά αντικείμενα, μπανιέρα, σωλήνες, μεταλλικά δάπεδα. Μιλάμε για *ισοδυναμικές συνδέσεις*.

Ο ουδέτερος γειώνεται αμέσως πριν το μετρητή και όχι μέσα στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή, διότι η ΔΕΗ θεωρείται ότι εξασφαλίζει καλύτερα τη συνέχεια του *ουδέτερου* από ότι ο καταναλωτής. Η συνέχεια του ουδέτερου είναι απολύτως αναγκαία, όπως δείχνει και το σχήμα 15.

3.4.4 4^η Συνθήκη ουδετέρωσης

Η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδέτερου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα δέκα Ohm(10Ω). Εδώ προσμετρώνται όλες οι παράλληλες γειώσεις στο δίκτυο και στις παρεχόμενες των καταναλωτών. Αν η αντίσταση είναι μεν μικρότερη των 10Ω αλλά μεγαλύτερη του ενός Ohm (1Ω), τότε πρέπει η γείωση του ουδέτερου του ΜΣ και η γείωση των μεταλλικών μερών του υποσταθμού να είναι ανεξάρτητες, δηλ. όχι συνδεδεμένες (Σχήμα 16). Εξαιρέση αποτελούν οι εναέριοι σταθμοί διανομής της ΔΕΗ, όπου το όριο αυτό είναι δύο Ohm (2Ω).



Σχήμα 16

Αν κατασκευάζεται ανεξάρτητη γείωση των μεταλλικών μερών της μέσης τάσης σε ΥΣ, αυτή πρέπει να έχει αντίσταση μικρότερη των 40 Ω.

Σε υποσταθμούς με υπόγεια καλώδια μεταλλικού μανδύα είναι επιτρεπτή η σύνδεση των δύο γειώσεων, αν το συνολικό μήκος των καλωδίων είναι πάνω από 1200 m. Καλώδια που οδεύουν στο ίδιο χαντάκι υπολογίζονται σαν ένα.

Οι γειώσεις του ουδέτερου και του υποσταθμού θεωρούνται ανεξάρτητες όταν το πεδίο ροής της μιάς μηδενίζεται στη θέση της άλλης. Αυτό είναι περίπου δεδομένο όταν η απόσταση των γειωτών είναι 8 φορές μεγαλύτερη από την μεγαλύτερη διάσταση των γειωτών. Π.χ. για σωλήνες κατακόρυφους σε 2,5 m βάθος, μια απόσταση 25 m εξασφαλίζει ανεξαρτησία των γειώσεων. Επειδή δύο γειώσεις και ιδιαίτερα η ανεξαρτησία τους, είναι προβληματικές, πρέπει να επιδιώκεται μια κοινή χαμηλή γείωση του ΥΣ και του ουδέτερου ΜΣ.

Σε καλώδια ΧΤ με μεταλλικό μανδύα ο ουδέτερος συνδέεται με το μανδύα και στα δύο άκρα του καλωδίου, δηλαδή στην αναχώρηση των καλωδίων και στην άφιξη στον πίνακα διανομής και γειώνεται.

Η συνθήκη του 1Ω προκύπτει από την ανάγκη προστασίας σε σφάλματα υπερπήδησης στην ΜΤ, π.χ. υπερπήδηση σε μονωτήρα διέλευσης ΜΣ ή σε ακροκεφαλή καλωδίου, όπως αυτό εξετάζεται στο κεφάλαιο περί εγκαταστάσεων μέσης τάσης.

3.4.5 5^η Συνθήκη ουδετέρωσης

Ποτέ ο ουδέτερος δεν πρέπει να αποζεύγεται μόνος. Ο ουδέτερος, κατά κανόνα, δεν πρέπει να περιέχει ασφάλειες ή διακόπτες. Πρέπει επίσης να εξασφαλισθούν η συνέχεια του και η μηχανική του αντοχή. Αυτό, προφανώς, δεν ισχύει στη σύνδεση ρευματοδότη ρευματολήπτη (πρίζα – φως).

Σε ειδικές περιπτώσεις που αφορούν σε εκρηκτικό περιβάλλον, επιτρέπεται μόνο η ταυτόχρονη διακοπή όλων των φάσεων και ουδέτερου (PE). Ο αγωγός προστασίας ποτέ δεν αποδεύεται ή ασφαρίζεται.

3.4.6 Ισοδυναμικές συνδέσεις

Σε περιπτώσεις σφαλμάτων μόνωσης καλωδίων, μπορεί σε ένα κοντινό μεταλλικό αντικείμενο - π.χ. σε μία σωλήνωση κοντά στο καλώδιο - να επαχθεί μία τάση ως προς τη γη λόγω διαρροής. Έτσι, μπορούν να δημιουργηθούν επικίνδυνες τάσεις επαφής μεταξύ δύο μεταλλικών αντικειμένων (Σχήμα 17).

Γενικά, δύο μεταλλικοί σωλήνες ή εκτεταμένες μεταλλικές κατασκευές που μπορεί να πιάσει κανείς ταυτόχρονα, πρέπει να είναι συνδεδεμένες ισοδυναμικά με αγωγό διατομής 6 mm² τουλάχιστον. Η ανάγκη ισοδυναμικής σύνδεσης είναι ιδιαίτερα επιτακτική σε υγρούς χώρους, π.χ. στο μαγειρείο, στο μπάνιο και σε εργοστάσια.

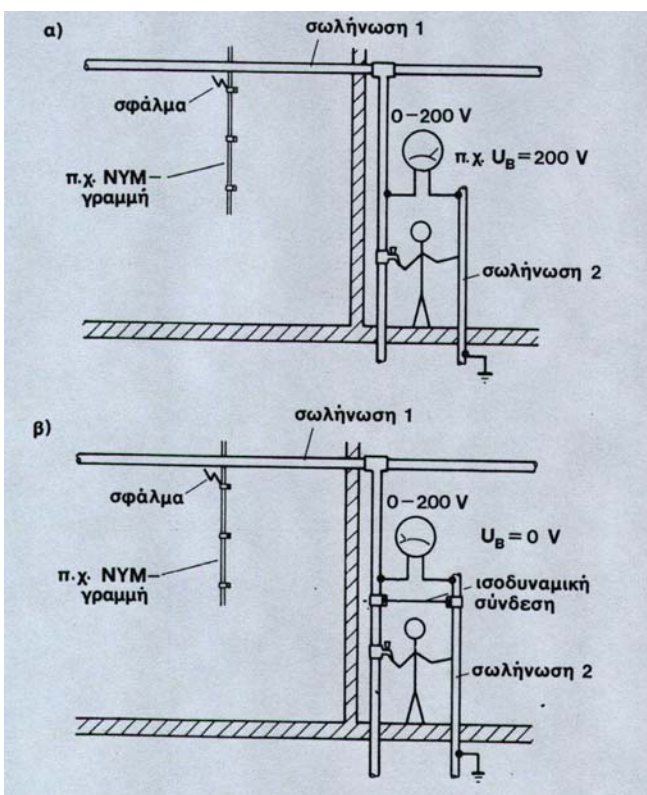
Συνιστάται να γίνεται και ισοδυναμική σύνδεση στις παροχές των καταναλωτών, σε «ζυγό γειώσεως». Εκεί συνδέονται ισοδυναμικά οι σωληνώσεις της θέρμανσης, του νερού, του φωταερίου μαζί με τη γείωση του ουδέτερου. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις γίνονται με αγωγό διατομής τουλάχιστον 6 mm². Η ακριβής διατομή μπορεί να προσδιορισθεί με βάση το ρεύμα βραχυκύκλωσης και τη διάρκεια του, όπως αυτό αναλύεται στο κεφάλαιο 6 περί προσδιορισμού αγωγών και καλωδίων. Η μέγιστη τιμή είναι 25 mm², έτσι όπως προκύπτει από υπολογισμούς. Μπορεί επίσης να τεθεί ίση με το 50% του αγωγού προστασίας.

Η διατομή A του χάλκινου αγωγού υπολογίζεται με μεθόδους του κεφαλαίου 6 ως εξής:

$$A = \sqrt{\frac{I^2 t}{144}} \text{ mm}^2$$

όπου I: το μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος φάσης - ουδέτερου στο σημείο της συσκευής σε Ampere,
t: ο χρόνος σε (sec) απόξευξης του οργάνου προστασίας για το ρεύμα I.

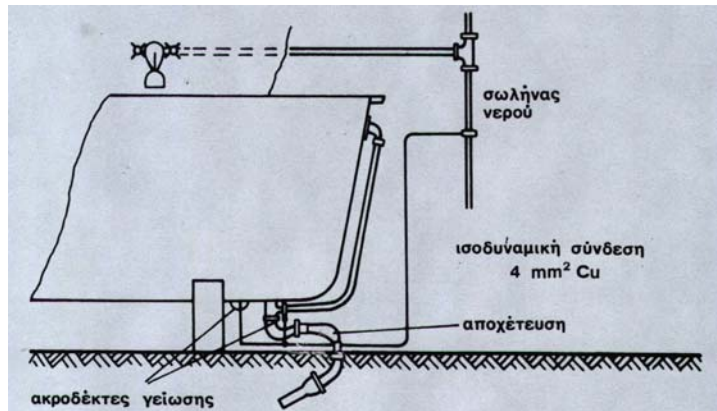
Αν A είναι μικρότερο του 6 mm², λαμβάνονται 6 mm².



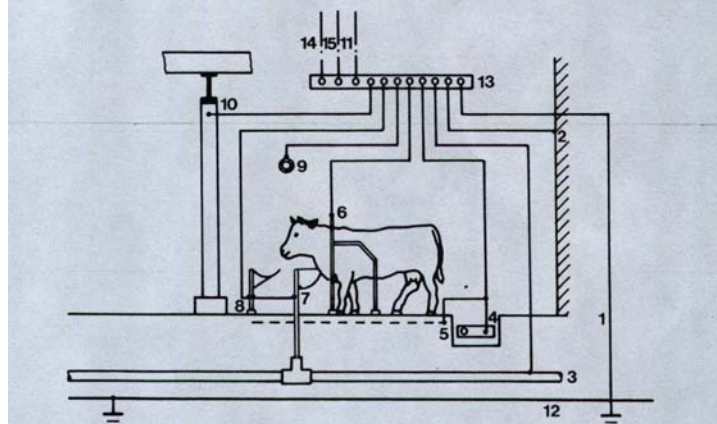
Σχήμα 17

Στα μαγειρεία και στα μπάνια ενώνονται οι σωληνώσεις με τα μεταλλικά αντικείμενα, όπως μπανιέρα ή θερμοσίφωνο. Μπορεί και εκεί να γίνει ισοδυναμική σύνδεση με τον αγωγό προστασίας, όπως στην παροχή.

Ιδιαίτερα σε εργοστάσια, σε κολυμβητήρια και σε αγροτικές εγκαταστάσεις με μεταλλικές κατασκευές, πρέπει να εφαρμοστεί ισοδυναμική σύνδεση (Σχήμα 18).



Σχ. 3.18: Ισοδυναμικές συνδέσεις στο λουτρό.

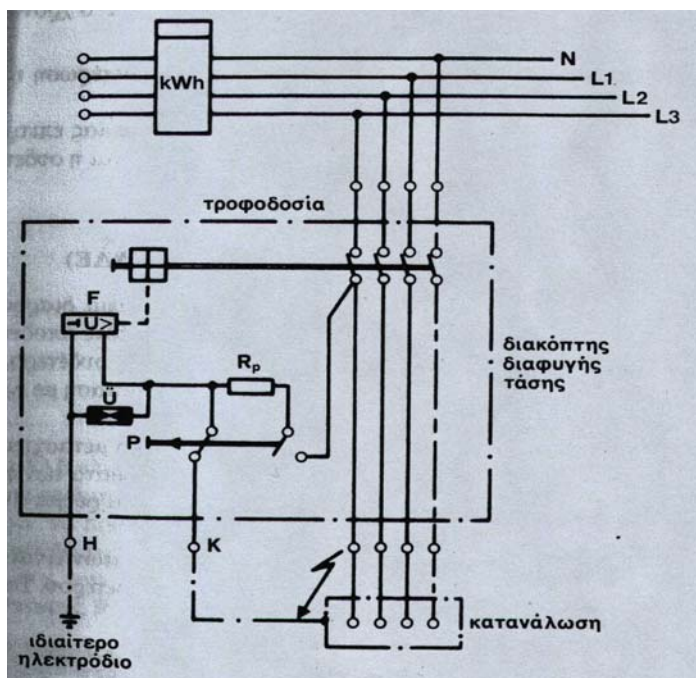


Σχήμα 18

3.4.7 Προστασία με διακόπτες διαφυγής τάσης (ΔΔΤ)

Ο διακόπτης διαφυγής τάσης παρακολουθεί την τάση ως προς γη των μεταλλικών περιβλημάτων όπου είναι συνδεδεμένος και αν αυτή υπερβεί τα 50 V τότε αποσυνδέει το κύκλωμα σε όλους τους πόλους (φάσεις και ουδέτερο, αν υπάρχει) (Σχήμα 19).

Το γειωμένο άκρο του ΔΔΤ συνδέεται με ιδιαίτερο ηλεκτρόδιο γείωσης, που δεν πρέπει να είναι συνδεδεμένο με τη γείωση του ουδέτερου του ΜΣ. Επίσης, οι δύο γειώσεις δεν πρέπει να αλληλοεπηρεάζονται. Γι' αυτό απαιτείται μεταξύ τους μία απόσταση 20 m περίπου. Για τη γείωση αρκεί ένας γειωτής ράβδου με διάμετρο 12,5 mm και μήκος 1,5 m ή μία πλάκα με διαστάσεις 0,5x0,5 m² ή μία ταινία με 10 m μήκος. Η ταινία ή η πλάκα βρίσκονται σε βάθος 1,0 m.



Σχήμα 19

Ο χρόνος αποσύνδεσης της τάσης των 50 V πρέπει να είναι κατά τους ΚΕΗΕ μερικά δέκατα του δευτερολέπτου. Κατά VDE 100 και 0663 ισχύει :

- Για τάση σφάλματος 25 V και αντίσταση γείωσης 200 Ω, ο χρόνος απόξευξης είναι το πολύ 0,2 sec.
- Για τάση σφάλματος 50 V και αντίσταση γείωσης 500 Ω, ο χρόνος απόξευξης είναι 0,2 sec περίπου.

Επιτρέπεται η χρήση του ΔΔΤ σε συνδυασμό με ουδετέρωση ή άμεση γείωση.

Η χρήση του ΔΔΤ σαν γενική (κύρια) μέθοδος προστασίας επιτρέπεται μόνο (αν συμφωνεί η ΔΕΗ) σε περιοχές που δεν εφαρμόζεται η ουδετέρωση και μάλιστα όταν η άμεση γείωση είναι δαπανηρή.

3.4.8 Προστασία με διακόπτες διαφυγής έντασης (ΔΔΕ)

Ο διακόπτης διαφυγής έντασης παρακολουθεί το ρεύμα διαρροής ως προς τη γη (Σχήμα 20). Αν αυτό υπερβεί μία τιμή, συνήθως 30 mA, τότε αποξεύγει το κύκλωμα σε όλους τους πόλους, δηλ. στις φάσεις και στον ουδέτερο, σε 0,2 sec περίπου. Το Σχήμα 20 δείχνει μία τριφασική εγκατάσταση με ΔΔΕ και άμεση γείωση.

Ο ΔΔΕ έχει σαν βασικό του στοιχείο έναν αθροιστικό μετασχηματιστή ρεύματος τύπου δακτυλίου. Στο πρωτεύον περνούν τα ρεύματα των φάσεων I_1, I_2, I_3 , και του ουδέτερου I_N . Στο δευτερεύον περνά ένα ρεύμα ανάλογο του αλγεβρικού αθροίσματος των τεσσάρων ρευμάτων. Αν δεν υπάρχει διαρροή, τότε το άθροισμα των ρευμάτων είναι μηδέν, γιατί το ρεύμα των τριών φάσεων επιστρέφει μέσω του ουδέτερου. Το δευτερεύον του ΜΣ έντασης δεν έχει ρεύμα.

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_N = 0$$

Αν υπάρχει σφάλμα ως προς γη, το άθροισμα των ρευμάτων των φάσεων και του ουδέτερου είναι ίσο με το ρεύμα σφάλματος I_F .

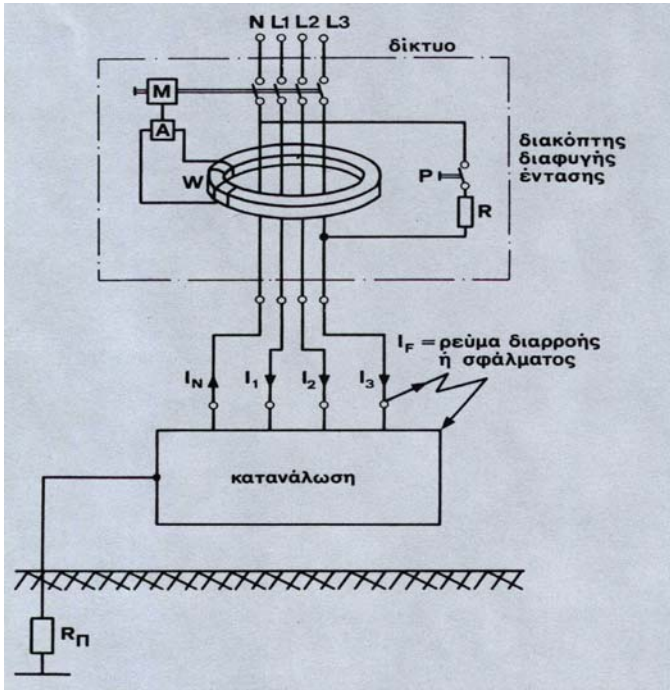
$$I_1 + I_2 + I_3 - I_N = I_F$$

Ο ΔΔΕ επιτρέπεται να μπαίνει σαν γενικό (κύριο) μέσο προστασίας σε δίκτυα με άμεση γείωση, όπου η απαιτούμενη μικρή αντίσταση γείωσης δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Αυτό εφ' όσον το επιτρέπει η ΔΕΗ. Επιτρέπεται να μπαίνει σε δίκτυα με γενική προστασία την ουδετέρωση. Μπαίνει όπως δείχνει το Σχήμα 21, μετά τις ασφάλειες του πίνακα διανομής. Προστατεύει δηλαδή όλη την εγκατάσταση. Οι ΔΔΕ που προσφέρονται στο εμπόριο είναι ρυθμισμένοι για απόξευξη ρευμάτων σφάλματος:

$$I_F = 10\text{mA} \dots 1000\text{mA}$$

Τα χαρακτηριστικά τους είναι δύο:

- Το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα $I_{\Delta N}$: Είναι το ρεύμα στο οποίο αναφέρονται οι χρόνοι απόζευξης. Για $I_F = I_{\Delta N}$ ο χρόνος είναι τάξης μεγέθους 0,1 sec.
- Το ονομαστικό ρεύμα I_N είναι το ρεύμα των φάσεων στο οποίο αντέχουν συνεχώς.



Σχήμα 20

Υπάρχουν ΔΔΕ για τριφασικά και μονοφασικά κυκλώματα. Στο εμπόριο προσφέρονται τα εξής μεγέθη:

$I_{\Delta N}$ (mA)	I_N (A)
10	10/16/25
30	10/16/25/40/63/100
100	25...100
300	25...224
500	25...224
1000	100...224

Διακόπτες διαφυγής με $I_{\Delta N} = 30\text{mA}$ προσφέρουν προστασία επίσης στην περίπτωση που γίνεται άμεση επαφή ανθρώπου με γυμνό αγωγό (π.χ. χέρι στη φάση και πόδια στη γη). Δεν προσφέρουν όμως πάντα προστασία στην περίπτωση που άνθρωπος θα βραχυκυκλώσει με τα χέρια του τη φάση και ουδέτερο, π.χ. το δεξί χέρι στη φάση και το αριστερό χέρι στον ουδέτερο, γιατί το κύριο μέρος του ρεύματος σφάλματος περνά από το σώμα και όχι από τον ΔΔΕ.

Σε αντιδιαστολή με τους ΔΔΤ, έχουμε εδώ και μία προστασία κατά της πυρκαγιάς, γιατί περιορίζεται άμεσα το ρεύμα διαρροής προς γη.

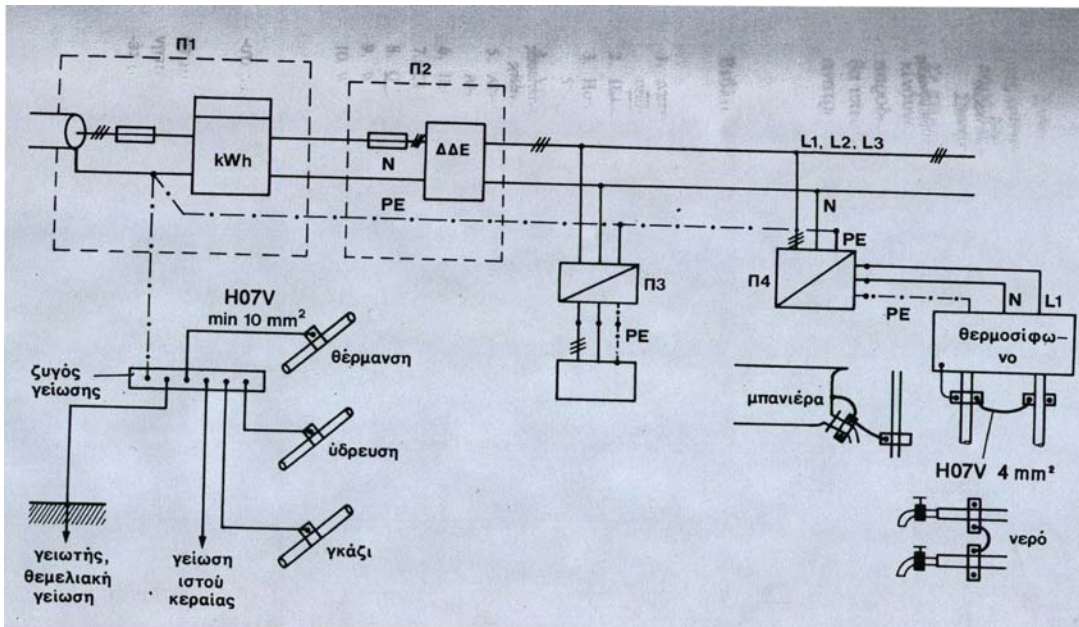
Οι ΔΔΕ (των 30 mA) συνιστανται πάντα σε καταναλωτές με ουδετέρωση και ιδιαίτερα εκεί που, λόγω συνθηκών, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Τέτοιοι καταναλωτές είναι μαγειρεία, εγκαταστάσεις σε κήπους, μπάνια και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Δεν πρέπει όμως να ενθαρρύνονται οι τεχνίτες και να δουλεύουν υπό τάση σε κυκλώματα με επικίνδυνες τάσεις, έστω και αν υπάρχει η προστασία του ΔΔΕ. Μία μικρότερη ένταση του διαφορικού ρεύματος, π.χ. 10 mA, είναι μεν πιο επιθυμητή από τα 30 mA, αλλά ο ΔΔΕ είναι τόσο ευαίσθητος που καμιά φορά η απόζευξη γίνεται χωρίς σφάλμα.

Μεγάλοι καταναλωτές δεν προστατεύονται μόνο με ένα ΔΔΕ, αλλά με πολλούς, αφού χωριστούν σε ομάδες των, π.χ., 40-63 Α. Αυτό εξασφαλίζει μία ανεξαρτησία των κυκλωμάτων. Δεν επηρεάζεται το ένα κύκλωμα αν διακοπεί το άλλο. Αυτός ο χωρισμός εξασφαλίζει και μικρότερο χωρητικό ρεύμα προς τη γη. Το χωρητικό ρεύμα μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του ΔΔΕ, προκαλώντας την μη επιθυμητή πτώση του.

Προσοχή : Σε πολλά παράλληλα κυκλώματα με ΔΔΕ, οι ουδέτεροι δεν πρέπει να είναι συνδεδεμένοι μετά τους ΔΔΕ.

Μειονέκτημα του ΔΔΕ είναι η περιορισμένη ετοιμότητά του. Όταν αυτός δε συντηρείται, θεωρείται μειωμένη η αξιοπιστία του. Γι' αυτό και δεν έχει προταθεί σα γενική (αποκλειστική) μέθοδος προστασίας. Πρέπει να δοκιμάζεται τακτικά, κάθε έξη μήνες.

Παρατήρηση : Αν ο διακόπτης διαφυγής έντασης πέφτει, δηλαδή δε μπορεί να κρατηθεί σε κατάσταση εντός, τότε υπάρχει διαρροή ή γεφύρωση με τη γη ή στη φάση ή στον ουδέτερο. Το ίδιο, δηλαδή πτώση του ΔΔΕ, συμβαίνει αν μετά το ΔΔΕ έχει γειωθεί ουδέτερος, πράγμα που δεν επιτρέπεται.



Σχήμα 21

4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΥΡΗΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ

1. Τάση

Είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων.

2. Ρεύμα:

Είναι η ροή φορτίων εντός ενός μέσου

3. Ηλεκτρικό τόξο:

Είναι μια αυτοσυντηρούμενη ηλεκτρική εκκένωση

4. Φαινόμενο κορώνας:

Φαινόμενα τοπικής εκκένωσης σε ανομοιογενή πεδία

5. Μαρμαρυγή (Ventricular Fibrillation, Herzkammer-Flimmern):

Η κατάσταση κατά την οποία οι καρδιακοί παλμοί γίνονται από περιοδικούς άρρυθμοι. Η πιθανότητα θανάτου είναι μεγάλη, γιατί η καρδιά δεν είναι σε θέση να κυκλοφορήσει το αίμα. Οι συνέπειες είναι, μεταξύ άλλων μία μειωμένη οξυγόνωση του εγκεφάλου. Η τελευταία μπορεί να οδηγήσει σε μερικά λεπτά σε θάνατο ή σε μία μόνιμη αδυναμία μέρους του εγκεφάλου.

6. Εναλλασσόμενο ρεύμα

Συμβαίνει όταν οι φορείς του ρεύματος μεταβάλλουν τη φορά κίνησής τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα που καθορίζονται από τη λεγόμενη συχνότητα του ρεύματος

7. Συνεχές ρεύμα:

Είναι το ρεύμα του οποίου η φορά παραμένει σταθερή με το χρόνο

8. ΚΕΗΕ:

Κανονισμοί Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων. Είναι κανονισμοί που ορίζουν τις προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων

9. Ουδετέρωση:

Είναι η σύνδεση των μεταλλικών μερών των συσκευών με αγωγό γείωσης που συνδέεται με τον ουδέτερο στον πίνακα της παροχής. Ο ουδέτερος συνδέεται όμως και με ηλεκτρόδιο γείωσης στο σημείο παροχέτευσης πριν από τον μετρητή.