

Ηλεκτρική ασφάλεια

Λορέντζο Ραντίν, Βιομηχανικός Υγιεινολόγος, Κέντρο Υγείας-Υγιεινής της Εργασίας ΕΛΙΝΥΑΕ
Κώστας Πούλιος, Διπλ. Ηλεκτρολόγος – Μηχανικός, Παράρτημα Θεσσαλονίκης ΕΛΙΝΥΑΕ

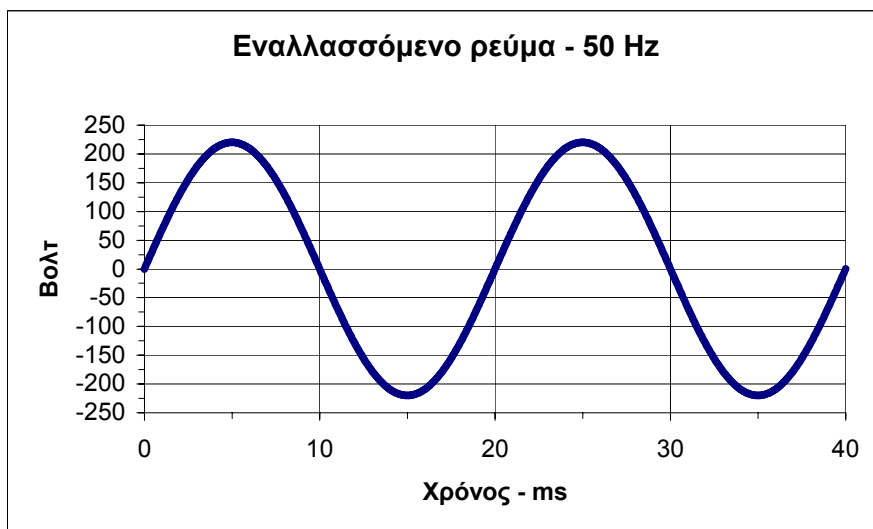
Το ηλεκτρικό ρεύμα

Εάν συνδέσουμε δύο σώματα που έχουν διαφορά δυναμικού (διαφορά τάσης) με ένα μεταλλικό σύρμα θα έχουμε σαν αποτέλεσμα μια ροή ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα) μέσω του μεταλλικού αγωγού από το σώμα με το μικρότερο δυναμικό προς το σώμα με το μεγαλύτερο δυναμικό.

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης είναι το Βολτ (V) (από το όνομα του επιστήμονα Α. Βόλτα), ενώ η αντίστοιχη μονάδα της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το Αμπέρ (A) (από το όνομα του επιστήμονα Α.Μ. Αμπέρ).

Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικού ρεύματος: Το συνεχές και το εναλλασσόμενο. Συνεχές ονομάζεται το ηλεκτρικό ρεύμα τα χαρακτηριστικά του οποίου (η τάση και η ένταση) έχουν σταθερή τιμή και δεν μεταβάλλονται στη μονάδα του χρόνου. Αντίθετα, η τάση και η ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου.

Στην Ευρώπη π.χ. το εναλλασσόμενο ρεύμα μεταβάλλεται με συχνότητα 50 Hz (1 Hz = 1 κύκλος στο δευτερόλεπτο), και στις Ηνωμένες Πολιτείες με 60 Hz.



Κίνδυνοι από το ηλεκτρικό ρεύμα

Οι κίνδυνοι που προέρχονται από το ηλεκτρικό ρεύμα είναι οι ακόλουθοι:

- 1) Ηλεκτροπληξία
- 2) Εγκαύματα που οφείλονται:
 - α) Στη θερμότητα που δημιουργεί το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς διαρρέει το ανθρώπινο σώμα.
 - β) Στη θερμότητα που εκλύει η δημιουργία ηλεκτρικού τόξου: η θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε ένα ηλεκτρικό τόξο μπορεί να φτάσει τους 1600°C , προκαλώντας την τήξη του συνόλου σχεδόν των υλικών που διαρρέει.
- 3) Πυρκαγιές και εκρήξεις από σπινθήρες σε συνδυασμό με την παρουσία καυσίμων και / ή εύφλεκτων υλικών.

- 3) Άλλοι κίνδυνοι, όπως η ακούσια εκκίνηση μηχανών, που μπορεί να οφείλεται σε βλάβη του συστήματος χειρισμού ή στην αυτόματη επανεκκίνησή τους κατά την επαναφορά του ηλεκτρικού ρεύματος έπειτα από διακοπή της ΔΕΗ..

Ηλεκτροπληξία

Σ' αυτό το άρθρο θ' ασχοληθούμε ιδιαίτερα με την πιθανότητα πρόκλησης ηλεκτροπληξίας που συνδέεται με τη χρήση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων οι οποίες τροφοδοτούνται με χαμηλή τάση (ο τρόπος χαρακτηρισμού της τάσης σε χαμηλή, μέση και υψηλή, διαφέρει, ανάλογα με τους διάφορους τεχνικούς κανόνες . Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εννοούμε τη συνήθη ηλεκτρική τάση των 220 Volt, 50 Hz).

Το μέγεθος των βλαβών που προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα όταν διαρρέει το ανθρώπινο σώμα, εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

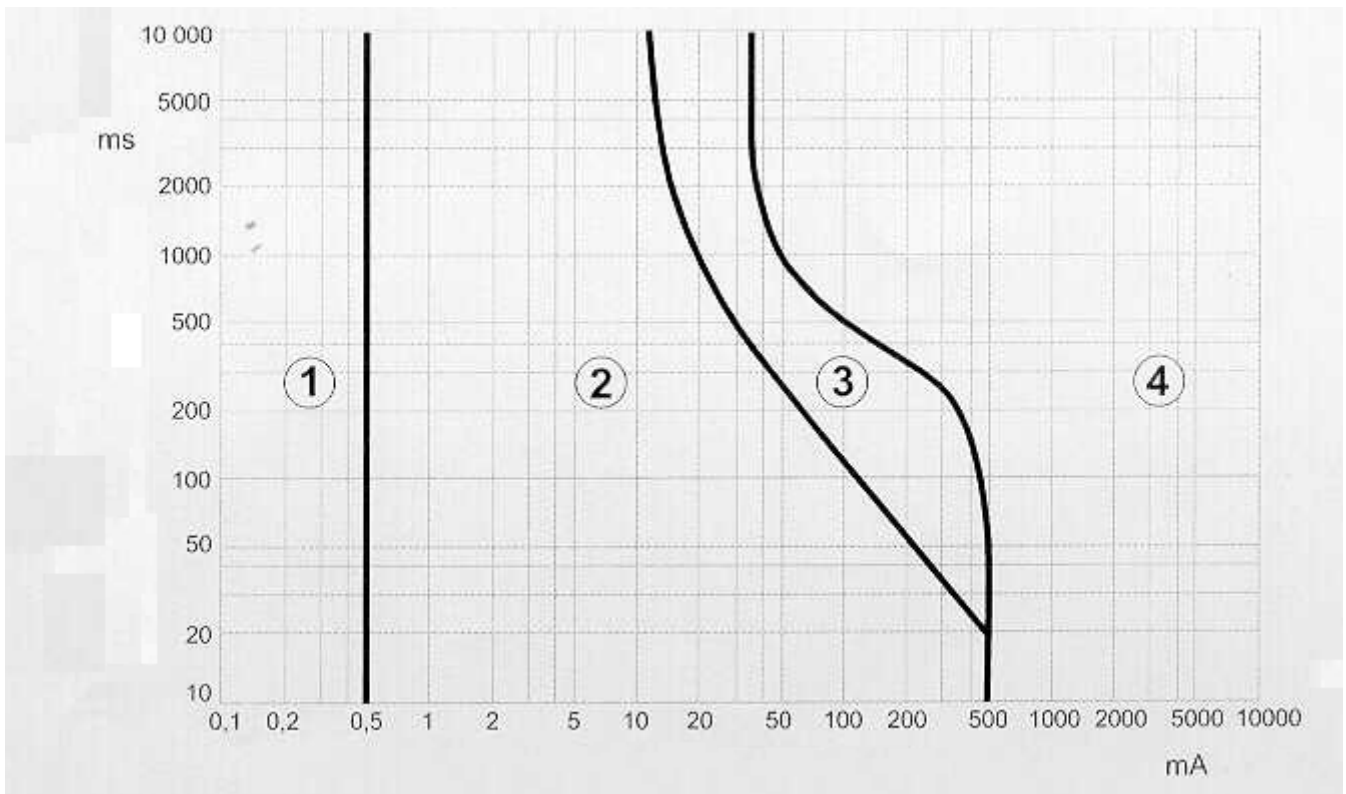
- Την Τάση (μέτρηση σε Volt, με σύμβολο V)
- Τη Συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος
- Την Ένταση του ρεύματος (Αμπέρ)
- Την επιφάνεια και το χρόνο επαφής με το ηλεκτροφόρο αντικείμενο
- Τη διαδρομή που ακολουθεί μέσα στο σώμα και συνεπώς το είδος των εσωτερικών οργάνων που πλήττει κατά μήκος αυτής της διαδρομής.

Λαμβάνοντας σαν σημείο αναφοράς το ηλεκτρικό ρεύμα τάσης 220 Volt και συχνότητας 50 Hz του δικτύου πόλεως της ΔΕΗ , μπορούμε να σχηματίσουμε τον ακόλουθο πίνακα :

- Έως 10 mA : Κανένας κίνδυνος
- Για τιμές έντασης πάνω από 10,5 mA για τις γυναίκες και 16,5 mA για τους άνδρες αρχίζει να εμφανίζεται απώλεια ελέγχου των μυών που πλήττονται από το ηλεκτρικό ρεύμα, με αποτέλεσμα το άτομο που έχει πάθει το ατύχημα να μην είναι πλέον σε θέση να απομακρυνθεί από το ηλεκτροφόρο αντικείμενο.
- Από 10mA ~ 50 mA : Πιθανές σοβαρές βιολογικές βλάβες.
- Πάνω από 50 mA : Πιθανότητα θανάτου.

Η περιοχή του σώματος που έχει τη μεγαλύτερη ευαισθησία στο ηλεκτρικό ρεύμα είναι ο θώρακας, που πλήττεται όταν το ηλεκτρικό ρεύμα ακολουθεί τη διαδρομή από το ένα χέρι στο άλλο, από το ένα χέρι στο αντίθετο πόδι και από το κεφάλι σε ένα πόδι.

Περιοχές επικινδυνότητας εναλλασσομένου ρεύματος



Επί του τετμημένου άξονα σημειώνεται το ρεύμα (ms).

Περιοχή 1)- συνήθως είναι κάτω από το όριο αντίληψης.

Περιοχή 2)- γενικά δεν υπάρχουν μη αναστρέψιμες φυσιολογικές συνέπειες.

Περιοχή 3)- παθοφυσιολογικές βλάβες, συνήθως ιάσιμες, η σοβαρότητα των οποίων αυξάνεται με την ένταση του ρεύματος και με τον χρόνο επαφής, όπως: μυϊκές συσπάσεις, δύσπνοια, άνοδος της αρτηριακής πίεσης, προσωρινή ανακοπή της καρδιάς, αλλά χωρίς ινιδισμό του μυοκαρδίου.

Περιοχή 4)- Πιθανός ινιδισμός του μυοκαρδίου, διακοπή της αναπνοής, ανακοπή της καρδιάς, εγκαύματα.

Είναι απαραίτητο να παρατηρήσουμε ότι το εύρος της περιοχής 4) ποικίλει ανάλογα με το είδος της διαδρομής του ηλεκτρικού ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα. Η περιοχή που σημειώνεται στον πίνακα αναφέρεται στη διαδρομή αριστερό χέρι-πόδια.

Ορισμός του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας εξαρτάται από την ηλεκτρική αντίσταση που αυτό παρουσιάζει:

Παράδειγμα: ένα ανθρώπινο σώμα που έχει αντίσταση 1000 Ohm, όταν δεχτεί μία τάση 220 Volt, θα διαπεραστεί από ηλεκτρικό ρεύμα ίσο με $I = 220/1000 = 220 \text{ mA}$.

Μία τέτοια τιμή έντασης ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να αποδειχτεί θανάσιμη σε περίπτωση που διέλθει μέσω της καρδιάς.

Στην πράξη, η ηλεκτρική αντίσταση που εμφανίζει το ανθρώπινο σώμα δεν είναι σταθερή, αλλά ποικίλει ανάλογα με τη διαδρομή του ρεύματος (π.χ. χέρι-χείρι, αριστερό χέρι-πόδι κ.λ.π.), την τάση, την κατάσταση του δέρματος (υγρό/ βρεμένο) και από άτομο σε άτομο.

Ενδεικτικές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης του σώματος (R_c) τις οποίες δεν υπερβαίνει το 50% του πληθυσμού *

Τάση (V)	R_c (ohm)	Ηλεκτρικό ρεύμα (mA)**
50	2625	19
100	1875	53
220	1350	163
700	1100	636

* Μέτρηση ανάμεσα στα δύο στεγνά χέρια, επιφάνεια των ηλεκτροδίων 50-100 cm².

** $Volt/R_c$.

Η επικινδυνότητα των διαφόρων διαδρομών που είναι δυνατό να ακολουθήσει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του σώματος ποικίλει: Για ίδια τάση επαφής, εκείνες που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες ακολουθούν τη σειρά:

Χέρια- θώρακας, αριστερό χέρι- θώρακας, δεξί χέρι- θώρακας, χέρια-πόδια.

Ευτυχώς στις περισσότερες περιπτώσεις η ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος είναι πιο υψηλή, διότι θα πρέπει να προσθέσουμε στην συνολική αντίσταση του σώματος, την αντίσταση των υποδημάτων και του δαπέδου.

Μπορεί να έχουμε ιδιαίτερα σοβαρές περιπτώσεις ηλεκτροπληξίας όταν ένα άτομο αγγίζει με το ένα χέρι ένα μεταλλικό αντικείμενο υπό τάση, ενώ ταυτόχρονα με γυμνό σώμα ακουμπάει μία εκτεταμένη μεταλλική μάζα που είναι σε σημαντική επαφή με το έδαφος (για παράδειγμα ένα μεταλλικό σωλήνα).

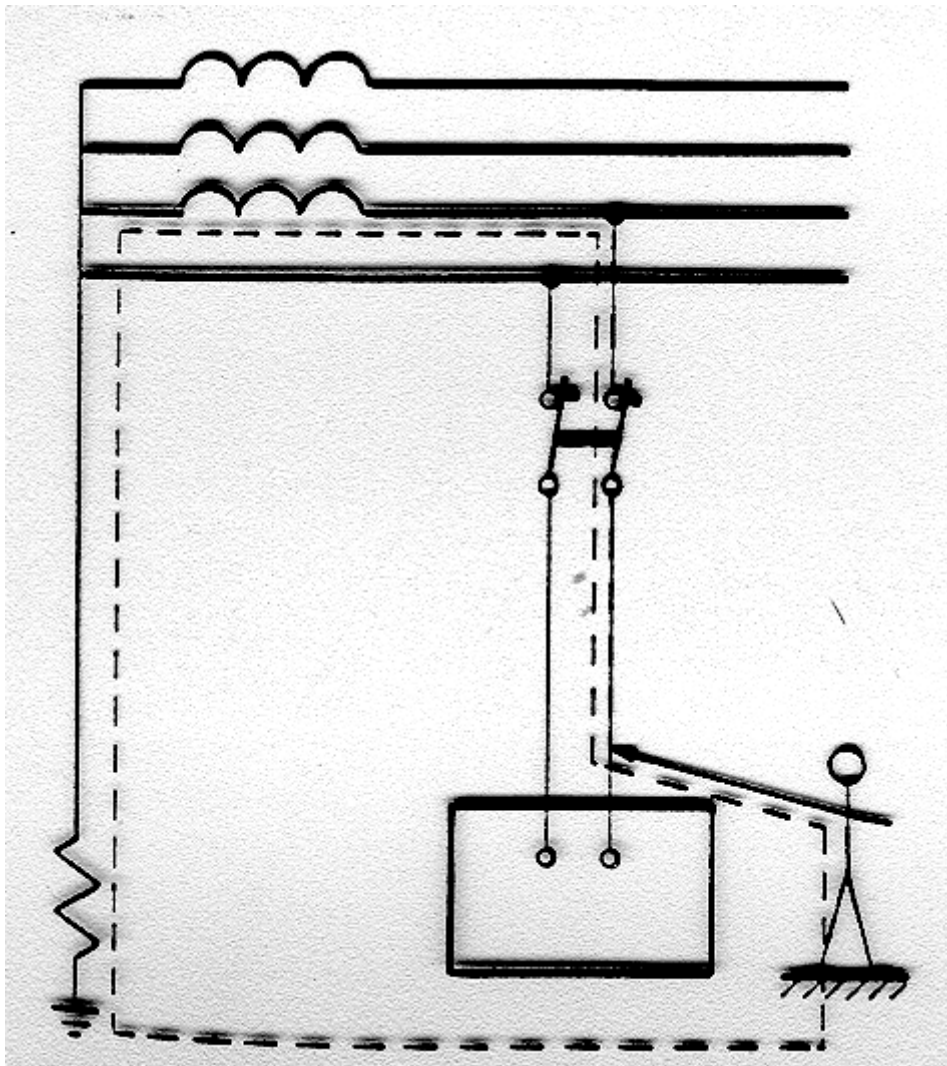
Σ' αυτή την περίπτωση η συνολική αντίσταση που συναντά το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς διαπερνά το ανθρώπινο σώμα παρουσιάζει πολύ χαμηλές τιμές.

Προστασία από την ηλεκτροπληξία

Η ηλεκτροπληξία μπορεί να συμβεί κατά την επαφή με:

- Μεταλλικό αντικείμενο που βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες υπό τάση (για παράδειγμα έναν ηλεκτροφόρο αγωγό).
- Μεταλλικό αντικείμενο που δεν αποτελεί τμήμα κάποιου ηλεκτρικού κυκλώματος, αλλά λόγω βλάβης συμβαίνει την δεδομένη στιγμή να βρίσκεται υπό τάση, (για παράδειγμα ο μεταλλικός σκελετός μιας μηχανής, έπειτα από φθορά της μόνωσης ενός αγωγού)

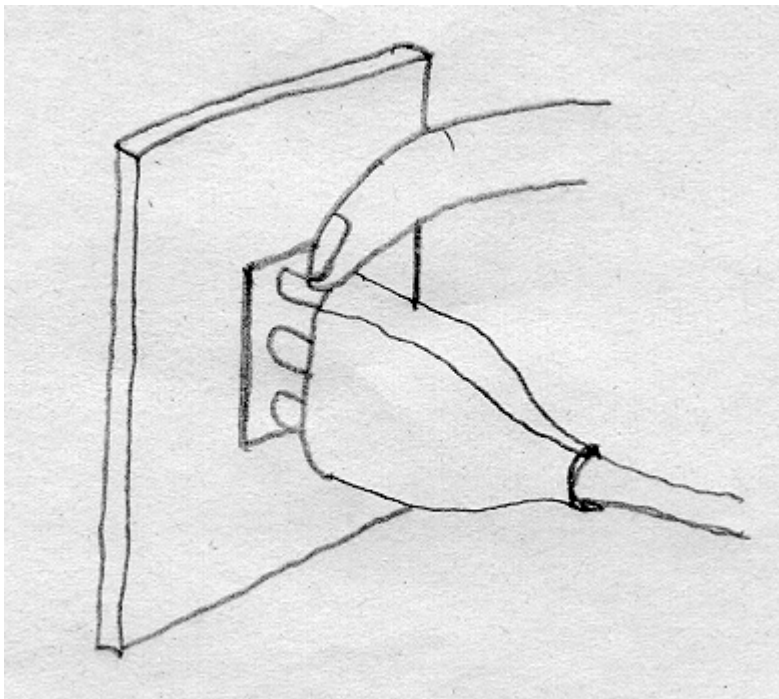
Στην πρώτη περίπτωση πρόκειται για άμεση επαφή, ενώ στη δεύτερη για έμμεση επαφή.



Ηλεκτροπληξία από άμεση επαφή,

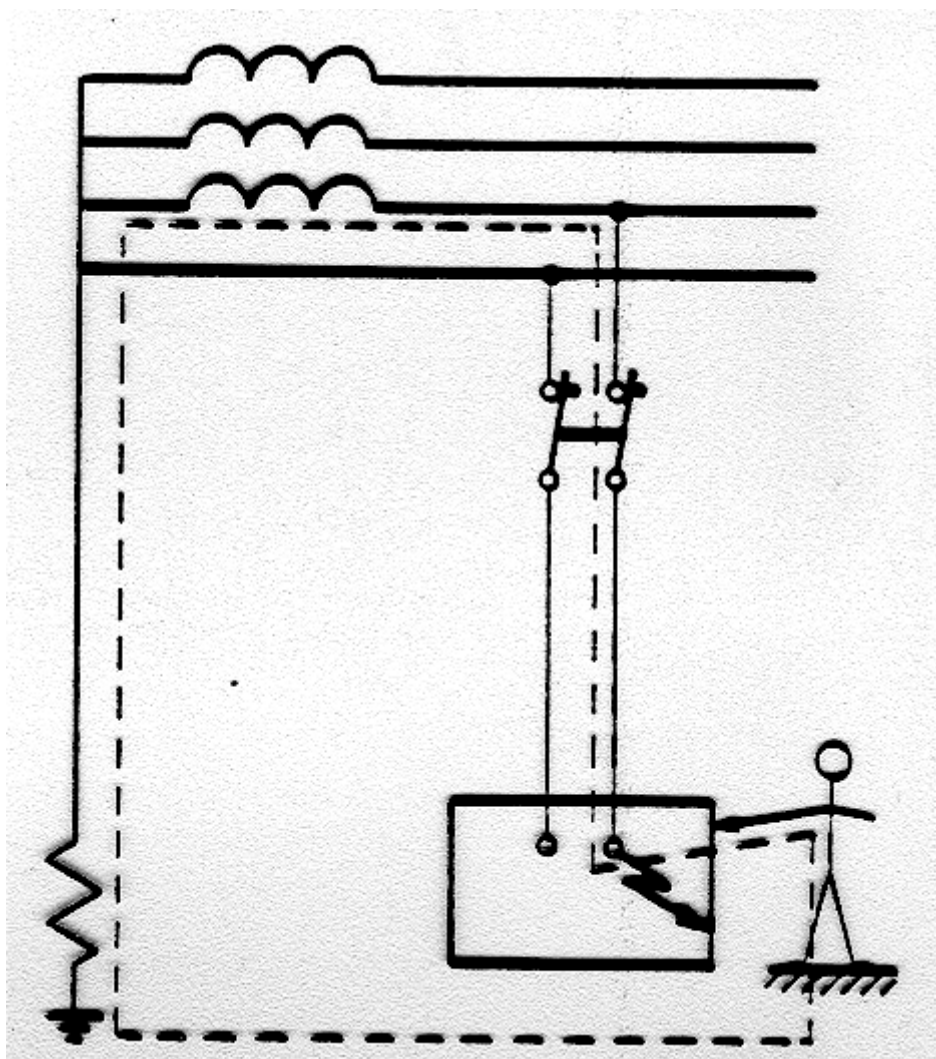
Προστασία από τις άμεσες επαφές:

- Απομόνωση των τμημάτων που βρίσκονται υπό τάση, έτσι ώστε να είναι προσιτά μόνο στο εκπαιδευμένο προσωπικό . Ειδικότερα τα τμήματα που βρίσκονται υπό τάση πρέπει να περικλείονται από κατάλληλα μονωτικά υλικά ή να βρίσκονται μέσα σε ηλεκτρικούς πίνακες οι οποίοι δεν είναι δυνατό να ανοιχθούν χωρίς τη βοήθεια εργαλείων και οι ρευματολήπτες πρέπει να είναι κατασκευασμένοι έτσι, ώστε να μην είναι δυνατό να αγγίξει κανείς τμήματα υπό τάση κατά τη διάρκεια της εισαγωγής στο ρευματοδότη (πρίζα).



Παράδειγμα ακατάλληλης πρίζας: Είναι δυνατό να αγγίξει κανείς τους αγωγούς κατά την εισαγωγή του φίς (ρευματολήπτη).

- Χρήση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων χαμηλής τάσεως (πχ 12, 24, 42 Volt).
- Η χρήση διαφορικού ρελέ υψηλής ευαισθησίας (Διακόπτης διαφυγής έντασης – ΔΔΕ, με οριακή ένταση λειτουργίας $< 30 \text{ mA}$) πρέπει να θεωρείται σαν συμπληρωματική προστασία.
- Μεγάλη σημασία έχει εξάλλου η εφαρμογή ενός κωδικού χρωμάτων για να διακρίνουμε τους αγωγούς , έτσι ώστε να είναι δυνατό να αναγνωρίσουμε τους αγωγούς φάσης, τον ουδέτερο και τον αγωγό προστασίας (γείωσης).



Ηλεκτροπληξία από έμμεση επαφή,

Προστασία από τις έμμεσες επαφές:

Το σύστημα που χρησιμοποιείται συνήθως στους ιδιωτικούς και βιομηχανικούς χώρους προβλέπει την ύπαρξη μίας εγκατάστασης γείωσης και μηχανισμών που διακόπτουν αυτόματα την τάση σε περίπτωση βλάβης εντός του χρόνου που ορίζεται από τους τεχνικούς κανονισμούς.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι πολύ συχνά η ύπαρξη της γείωσης και μόνο, χωρίς τη διακοπή του κυκλώματος σε περίπτωση βλάβης, δεν εμφανίζει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, διότι η αντίσταση γείωσης είναι δυνατό να παρουσιάζει υψηλές τιμές. Σε τέτοια περίπτωση η τάση επαφής στα γειωμένα μεταλλικά τμήματα της εγκατάστασης παραμένει υψηλή (μεγαλύτερη από 50 V) και δεν εξαλείφονται οι κίνδυνοι για τον άνθρωπο. Αντίθετα μπορεί να είναι πηγή περαιτέρω κινδύνου, για παράδειγμα στην περίπτωση που πολλοί χώροι εργασίας ή και κατοικίες έχουν κοινή εγκατάσταση γείωσης. Σ' αυτή την περίπτωση, μία βλάβη της ηλεκτρικής εγκατάστασης θα θέσει υπό τάση όλες τις μεταλλικές μάζες που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους, αν δεν υπάρχει κατάλληλο σύστημα διακοπής.

Μέθοδοι γείωσης προστασίας

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι:

- 1) Η ουδετέρωση: δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση των γειωτέων σωμάτων με τον ουδέτερο αγωγό ή άλλο γειωμένο αγωγό του δικτύου.
- 2) Η άμεση γείωση δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση των γειωτέων σωμάτων με γραμμή γείωσης που θα καταλήγει σε ηλεκτρόδιο γείωσης.

Μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα τους προηγούμενους ορισμούς χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους:

- 1) Το σύστημα έχει ένα σημείο απευθείας σύνδεσης με τη γη, ενώ οι μεταλλικές μάζες της εγκατάστασης συνδέονται σ' αυτό το σημείο μέσω ενός αγωγού προστασίας.
- 2) Το σύστημα έχει ένα σημείο απευθείας σύνδεσης με τη γη και οι μεταλλικές μάζες της εγκατάστασης συνδέονται μ' ένα σύστημα γείωσης ανεξάρτητο από ηλεκτρικής άποψης από τον ουδέτερο αγωγό και τη γείωση του δικτύου της ΔΕΗ.

Υπενθυμίζουμε ότι η επιλογή του είδους γείωσης, των ασφαλειών και των διακοπών, καθώς και η εγκατάστασή τους πρέπει να πραγματοποιείται μόνο από αρμόδιο και έμπειρο προσωπικό.

Η επιλογή του σωστού τύπου διακόπτη (εύτηκτου (ασφάλεια), μαγνητοθερμικού ή ρελέ (Διακόπτη Διαφυγής Έντασης)) που θέλουμε να εγκαταστήσουμε για να έχουμε ασφάλεια, θα γίνει χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους ηλεκτρικούς κανόνες λαμβάνοντας υπόψη:

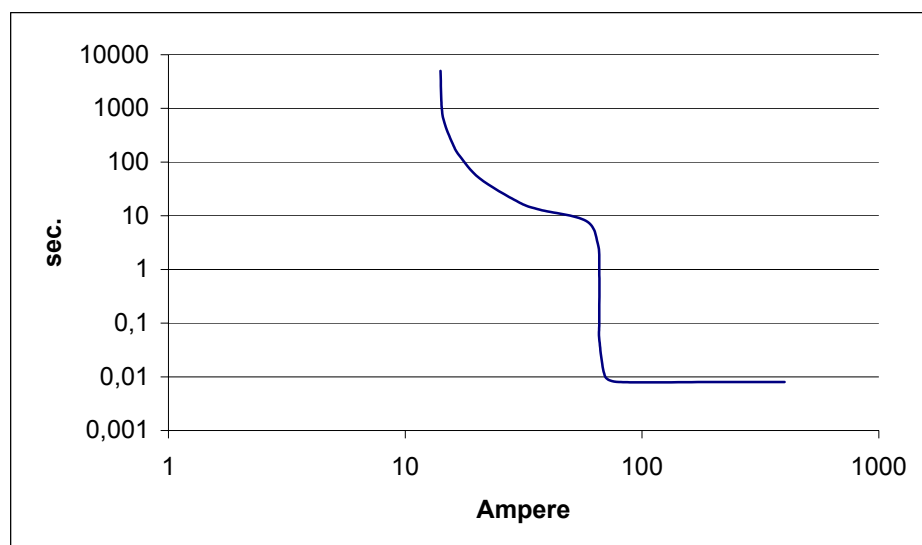
- Το είδος της υπάρχουσας εγκατάστασης γείωσης.
- Την τιμή της αντίστασης γείωσης.
- Την πιθανή χρήση ηλεκτρικών φορητών εργαλείων.
- Χώρους επικίνδυνους από ηλεκτρική άποψη, για παράδειγμα λόγω ύπαρξης νερού ή υγρασίας

Τα κυριότερα κριτήρια που υπεισέρχονται στην επιλογή του ανωτέρω διακόπτη είναι :

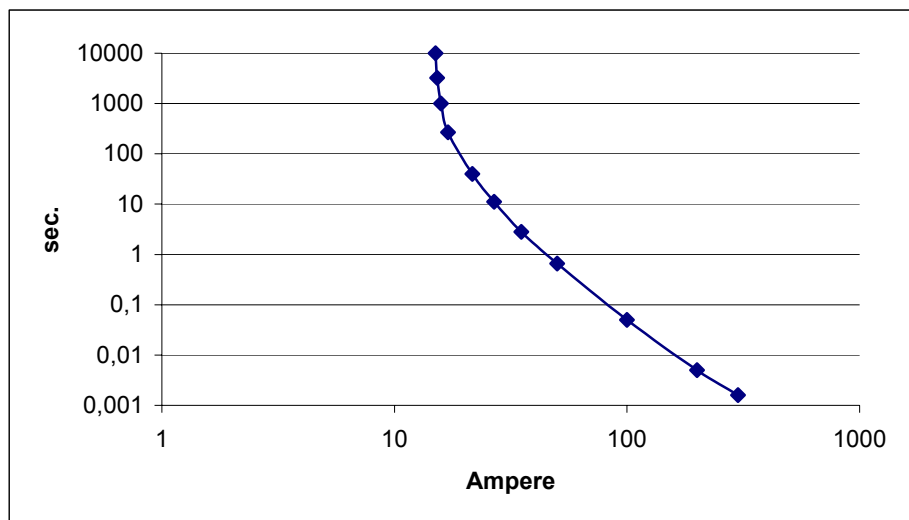
- 1) Ευαισθησία (το ελάχιστο του ρεύματος που είναι απαραίτητο για να επέμβει ο διακόπτης).
- 2) Το χρονικό διάστημα επέμβασης, σε συνάρτηση με το ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει στον διακόπτη ή την ασφάλεια.

Για να εξηγήσουμε καλύτερα τα δύο προηγούμενα σημεία θα χρησιμοποιήσουμε τις καμπύλες επέμβασης ενός μαγνητοθερμικού διακόπτη και μιας ασφάλειας (οι καμπύλες που εκθέτονται στη συνέχεια είναι μόνο ενδεικτικές, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν σημείο αναφοράς σε πραγματικές περιπτώσεις).

A) Χαρακτηριστική καμπύλη επέμβασης, έντασης – χρόνου ενός μαγνητοθερμικού διακόπτη 10 A.



B) Χαρακτηριστική καμπύλη επέμβασης, έντασης - χρόνου μιας ασφάλειας 10 A.



Στην περίπτωση που θα εφαρμοστεί το σύστημα άμεσης γείωσης, η μέγιστη επιτρεπομένη, για λόγους ασφαλείας, αντίσταση γείωσης θα είναι:

$$R = \frac{50 \text{ (Βολτ)}}{I \text{ (Αμπέρ)}}$$

Όπου I ένταση του ρεύματος, που μπορεί να προκαλέσει την αυτόματη διακοπή του κυκλώματος μέσα σε πέντε δευτερόλεπτα.

Στους πίνακες μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ακόμη και με ασφάλειες και διακόπτες 10 A, οι επιτρεπόμενες τιμές αντίστασης της γης είναι πολύ χαμηλές (κατώτερες από 2 Ω).

Χρησιμοποιώντας εξάλλου ασφάλειες ή διακόπτες μεγαλύτερης ονομαστικής έντασης ή σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η αντίσταση γείωσης είναι αυξημένη, δυνατό να έχουμε και περιστάσεις κατά τις οποίες η ασφάλεια δεν θα καεί (ο διακόπτης δεν θα λειτουργεί), συνεπώς η επικίνδυνη τάση και η επικίνδυνη διαρροή θα συνεχίζονται για πολύ καιρό.

Περαιτέρω προσασίες

Για να μειώσουμε περαιτέρω την πιθανότητα ηλεκτροπληξίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εκτός των άλλων:

- Συνδέσεις ισοδυναμικές, έτσι ώστε οι μεταλλικές μάζες που υπάρχουν στο χώρο, η εγκατάσταση γείωσης και οι μεταλλικοί σκελετοί των μηχανημάτων να βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό (να έχουν την ίδια τάση). Αυτό το τελευταίο μέτρο συνιστάται σε κάθε περίπτωση για να μειώσουμε την επικίνδυνη τάση στα διάφορα μηχανήματα σε περίπτωση βλάβης.
- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις με διπλή μόνωση (που συμβολίζονται μ' ένα διπλό τετράγωνο), προστασία ιδιαίτερα χρήσιμη για φορητά εργαλεία μικρών διαστάσεων (σε περίπτωση βλάβης, μια μεγάλη επιφάνεια του σώματος του εργαζομένου μπορεί να βρεθεί άμεσα σε επαφή μ' ένα μεταλλικό τμήμα υπό τάση).

Στους επικίνδυνους χώρους (πισίνες μπάνια), σε χώρους όπου οι εργαζόμενοι φέρουν σε επαφή μεγάλο μέρος του σώματός τους με υλικά που είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος, στους ιατρικούς χώρους (καθόσον οι νοσηλευόμενοι πιθανό να υποστούν βλάβες ακόμη και σε τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος κάτω των 0,5 mA), μπορεί να είναι απαραίτητο να τοποθετήσουμε:

- Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης.
- Μετασχηματιστές απομόνωσης (λόγος μετασχηματισμού 1:1).

Προφανώς αυτές οι σημειώσεις πρέπει να θεωρηθούν σαν μια πρώτη εκτίμηση των κινδύνων που συνεπάγεται η χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος και πρέπει να χρησιμοποιηθούν μαζί με συγκεκριμένους τεχνικούς κανόνες, χωρίς να θεωρούνται σαν μια ολοκληρωμένη πραγματεία επί του θέματος.

Βιβλιογραφία

Vito Carrescia, Fondamenti di sicurezza elettrica, Hoepli, 1991

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

- 1) Ένας εργαζόμενος κατά διάρκεια εργασιών συντήρησης αγγίζει χωρίς να το αντιληφθεί έναν αγωγό ρεύματος. Εάν ο χώρος προστατεύεται μόνο με ένα σύστημα άμεσης γείωσης, ο εργαζόμενος έχει αρκετή προστασία;
 - **ΟΧΙ**
- 2) Ένας χώρος εργασίας είναι εφοδιασμένος με σύστημα άμεσης γείωσης (αντίσταση 100 Ω) και ασφάλεια 20Α. Σε περίπτωση βλάβης ενός μηχανήματος ο εργαζόμενος έχει αρκετή προστασία;
 - **ΟΧΙ**
- 3) Ένας κανονικός χώρος εργασίας (πχ ένα γραφείο) είναι εφοδιασμένος με σύστημα άμεσης γείωσης (αντίσταση 40 Ω), ασφάλεια 20 Α, ρελέ ασφαλείας μεγάλης ευαισθησίας 30 mA. Σε περίπτωση βλάβης ενός μηχανήματος ο εργαζόμενος έχει αρκετή προστασία;
 - **ΝΑΙ**
- 4) Ένας εργαζόμενος εργάζεται στο εσωτερικό ενός χώρου πολύ υγρού με λακκούβες νερού και συχνά με μεγάλο μέρος του σώματός του σε επαφή με μέταλλο (π.χ. μια δεξαμενή). Τα ηλεκτρικά φορητά εργαλεία (220 V) που χρησιμοποιεί συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο, με το σύστημα γείωσης και με ένα ρελέ ασφαλείας 30 mA. Ο εργαζόμενος έχει αρκετή προστασία;
 - **ΟΧΙ**