



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διπλωματική εργασία:

**Προστασία από ηλεκτροπληξία στους χώρους υπηρεσιών
υγείας**

Παυλίτινα Νικολέττα

Επιβλέπων καθηγητής:

Ιωάννης Φ. Γκόνος

Αθήνα, Ιούνιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διπλωματική εργασία:

**Προστασία από ηλεκτροπληξία στους χώρους υπηρεσιών
υγείας**

Παυλίτινα Νικολέττα

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή:

Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ι. Φ. Γκόνοσ
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Α. Πολυκράτη
Μέλος Ε.ΔΙ.Π Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2015

.....
ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ ΠΑΥΛΙΤΙΝΑ

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

Copyright © Νικολέττα Παυλίτινα, 2015

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	10
Abstract.....	11
Ευχαριστίες.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ.....	14
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	14
1.1.1 Μορφές ηλεκτροπληξίας.....	14
1.1.2 Αγωγήμο ανθρώπινου σώματος.....	15
1.1.3 Χαρακτηριστική τάσης-έντασης ανθρώπινου δέρματος.....	15
1.1.4 Αντίσταση ανθρώπινου σώματος.....	16
1.2 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ.....	19
1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ.....	19
1.3.1 Θανατηφόρες και μη συνέπειες της ηλεκτροπληξίας στον άνθρωπο.....	21
1.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ.....	22
1.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ.....	26
1.5.1 Τι κάνουμε την ώρα που χτυπάει κάποιον ηλεκτρικό ρεύμα.....	26
1.5.2 Πρώτες Βοήθειες.....	27
1.5.2.1 Καρδιοαναπνευστική αναζωογόνηση.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	30
2.1 ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	30
2.2 ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	31
2.2.1 Επίσημοι κανονισμοί και τεχνικά πρότυπα.....	32
2.2.2 Τροφοδοσία νοσοκομείου.....	32
2.2.3 Αποφυγή κινδύνων σε περίπτωση διακοπής της τροφοδότησης.....	36
2.2.4 Προδιαγραφές ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων των κυρίων τμημάτων νοσοκομείων.....	37
2.2.4.1 Ηλεκτρικές παροχές.....	37
2.2.4.1.1 Μονάδα νοσηλείας.....	37
2.2.4.1.2 Μονάδα Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) ή Μονάδα Εγκαυμάτων (ΜΕ) ή Μονάδα Αυξημένης Φροντίδας (ΜΑΦ) ή Μονάδα Πρόωρων (ΜΠ).....	38
2.2.4.1.3 Χειρουργεία.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΠΡΟΤΥΠΑ.....	41
3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.....	41
3.1.1 Παραδείγματα σχετικών προτύπων.....	41
3.1.2 Πρότυπο IEC 60364-7-710.....	42
3.1.2.1 Ορισμοί σύμφωνα με το IEC 60364-7-710.....	42
3.1.2.2 Κατηγοριοποίηση χώρων βάσει του 3.1.2 Πρότυπου IEC 60364-7-710.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ.....	50
4.1 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ.....	50
4.1.1 Άμεση επαφή ανθρώπου φάσης.....	50
4.1.2 Έμμεση επαφή.....	51
4.1.2.1 Με αγωγό γείωσης.....	51
4.1.2.1.1 Αυτόματη διακοπή τροφοδοσίας.....	51

4.1.2.1.2	Ισοδυναμικές συνδέσεις (γειωμένες ισοδυναμικές επιφάνειες).....	53
4.1.2.2	Χωρίς αγωγό γείωσης.....	54
4.1.3	Ταυτόχρονη προστασία από άμεση και έμμεση επαφή.....	54
4.2	ΓΕΙΩΣΗ.....	56
4.2.1	Είδη γειώσεων.....	57
4.2.2	Συστήματα σύνδεσης γειώσεων.....	58
4.2.2.1	Συστήματα σύνδεσης γειώσεων TN (ουδετέρωσης).....	59
4.2.2.2	Συστήματα σύνδεσης γειώσεων TT	62
4.2.2.3	Συστήματα σύνδεσης γειώσεων IT	64
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : IEC 60364-7-710.....	66
5.1	ΚΑΝΟΝΕΣ ΒΑΣΕΙ IEC 60364-7-710.....	66
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ.....	71
6.1	ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 601-1 (EN 60601-1).....	71
6.1.1	Ταξινόμηση ηλεκτρικών ιατρικών συσκευών.....	71
6.2	ΡΕΥΜΑΤΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ.....	73
6.2.1	Τι είναι τα ρεύματα διαρροής.....	74
6.2.2	Τι προκαλεί τα ρεύματα διαρροής.....	74
6.2.3	Είδη ρευμάτων διαρροής.....	75
6.2.3.1	Ρεύμα διαρροής προς γη (Earth Leakage current).....	75
6.2.3.2	Ρεύμα διαρροής περιβλήματος (Enclosure Leakage Current)	76
6.2.3.3	Ρεύμα Διαρροής προς Ασθενή (Patient Leakage Current)	76
6.2.3.4	Βοηθητικό Ρεύμα Ασθενή (Patient Auxiliary Current)	77
6.3	ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	79
6.3.1	Μέσα μέτρησης	79
6.3.2	Παράμετροι.....	80
6.3.3	Έλεγχος ρευμάτων διαρροής.....	81
6.3.3.1	Ρεύμα διαρροής προς γη (Earth Leakage current).....	81
6.3.3.2	Ρεύμα διαρροής περιβλήματος (Enclosure Leakage Current).....	82
6.3.3.3	Ρεύμα Διαρροής προς Ασθενή (Patient Leakage Current).....	82
6.3.3.4	Βοηθητικό Ρεύμα Ασθενή (Patient Auxiliary Current)	83
6.3.4	Συμπληρωματικοί Έλεγχοι.....	84
6.3.4.1	Ρευματοδότης	84
6.3.4.2	Οπτικός έλεγχος.....	84
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ: ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....	85
7.1	Μακροπληξία και μικροπληξία.....	85
7.2	Μέθοδοι μείωσης του κινδύνου μικροπληξίας.....	85
7.2.1	Απομονωμένα κυκλώματα.....	85
7.2.1.1	Σημασία απομόνωσης ασθενών.....	86
7.2.1.2	Μετασχηματιστές απομόνωσης και ασφάλεια ασθενούς.....	88
7.2.1.2.1	Προστασία μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης.....	89
7.2.1.3	Επιτηρητής μόνωσης.....	90
7.2.2	Ασφαλές περιβάλλον ασθενούς.....	94
7.2.3	Κόμβος γείωσης και ισοδυναμικές συνδέσεις στο δωμάτιο του ασθενούς.....	97
7.2.3.1	Ο κόμβος γείωσης	97
7.2.3.2	Η γείωση αναφοράς του θαλάμου νοσηλείας	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΙΑΤΡΙΚΟ ΙΤ ΣΥΣΤΗΜΑ (IPS: ISOLATED POWER SYSTEM).....	103
8.1 ΙΤ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ IEC 60364-7-710	103
8.2 ΧΡΗΣΗ ΙΤ ΣΕ ΧΕΙΡΟΥΡΓΕΙΟ.....	104
8.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΤ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	104
8.3.1 Μείωση κινδύνου ηλεκτροπληξίας.....	104
8.3.2 Ασφαλής τροφοδότηση.....	107
8.3.3 Μείωση θορύβου.....	108
8.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΙΤ.....	108
8.4.1 Ιατρικοί μετασχηματιστές απομόνωσης.....	108
8.4.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών απομόνωσης σε ΙΤ σύστημα για ιατρική χρήση.....	112
8.4.1.2 Προστασία του μετασχηματιστή απομόνωσης έναντι υπερφορτώσεων και υπερθέρμανσης.....	112
8.4.2 Συσκευή επιτήρησης μόνωσης.....	113
8.4.3 Μονάδα αναγγελίας και ελέγχου.....	115
8.4.4 Ενημέρωση ιατρικού/τεχνικού προσωπικού.....	116
8.4.5 Τροφοδότηση αγείωτων δικτύων.....	117
8.4.6 Συστήματα πρόσθετης ασφάλειας.....	118
8.4.6.1 Λειτουργία.....	119
8.4.7 Σύστημα TN-S 5- πολικό.....	120
8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	124
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	125

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή των μέτρων προστασίας που χρησιμοποιούνται στους χώρους υγείας έναντι ηλεκτροπληξίας. Αρχικά, περιγράφεται η έννοια της ηλεκτροπληξίας και τονίζεται η σημασία πρόληψής της. Έπειτα, περιγράφεται ο ηλεκτρολογικός σχεδιασμός τους, καθώς και τα πρότυπα ασφαλείας που έχουν υιοθετηθεί από τις περισσότερες χώρες και την Ελλάδα. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται αναλυτικά τα μέτρα προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας, τα οποία επιβάλλονται από τα διεθνή πρότυπα, δίνοντας έμφαση στα συστήματα γειώσεων και το βιοϊατρικό εξοπλισμό, με στόχο την προστασία του ασθενούς από επικίνδυνα ρεύματα και τάσεις. Τέλος, περιγράφεται αναλυτικά το ιατρικό ΙΤ σύστημα (IPS: Isolated Power System) που χρησιμοποιείται σε χώρους ιδιάζουσας σημασίας και προσοχής, όπως τα χειρουργεία.

Λέξεις κλειδιά

Ηλεκτροπληξία, ρεύμα διαρροής, χώρος κατηγορίας 2, ιατρικό ΙΤ σύστημα, προστασία ασθενούς, αδιάλειπτη τροφοδοσία, κόμβος γείωσης, απομονωμένα κυκλώματα

Abstract

The scope of the present thesis is the description of the protective measures used in medical locations, against electric shock. Firstly, the concept of electric shock is being described and the importance of its prevention is being stressed. Afterwards, the electrical design of the medical locations is described, along with the safety standards that are adopted by most countries, Greece as well. Then, the protection measures imposed by the national standards are thoroughly presented, emphasizing on earthing systems and the biomedical equipment, with regard to the patient's protection against dangerous currents and voltages. Lastly, there is an analytical description of the medical IT system (IPS: Isolated Power System) used in locations of great importance and attention, like operating rooms.

Key Words

Electric shock, leakage current, medical IT system, protection of the patient, uninterrupted power source, ground node, isolated systems

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Γκόνο για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής, αλλά και για την πολύτιμη βοήθειά του, κατά τη διάρκεια εκπόνησής της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ

1.1 Ορισμός

Ως ηλεκτροπληξία ορίζεται ο σφοδρός κλονισμός του νευρικού συστήματος που προκαλεί η διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος στον οργανισμό. Εναλλακτικός ορισμός του φαινομένου είναι η δίοδος ηλεκτρικού ρεύματος (συνεχούς ή εναλλασσόμενου, υψηλής ή χαμηλής εντάσεως) από το εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος.

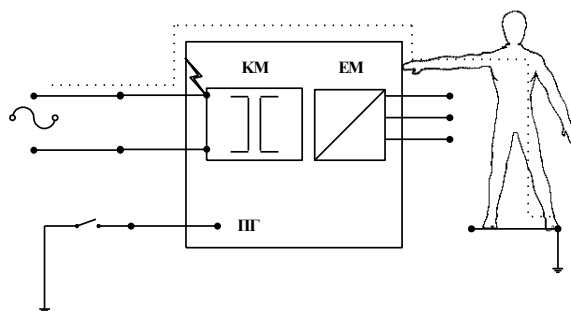
Η δίοδος αυτή όταν ξεπερνώντας ένα όριο έντασης του 1 mA μπορεί να προκαλέσει πόνο, σπασμούς και σε συγκριτικά μικρό χρονικό διάστημα ακόμα και θάνατο.

Όποιος και αν είναι ο χρησιμοποιηθέν ορισμός το συμπέρασμα που απορρέει είναι πως η ηλεκτροπληξία αποτελεί έναν παράγοντα κινδύνου για τον άνθρωπο, κάτι που καθιστά τη μέριμνα για πρόληψη και προστασία απαραίτητη.

1.1.1 Μορφές ηλεκτροπληξίας

Για την περιγραφή της επίδρασης της διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από το σώμα χρησιμοποιούνται δυο ιατρικοί όροι [Electrical Safety measurements on Physiotherapy Equipment, Aisling Walsh]:

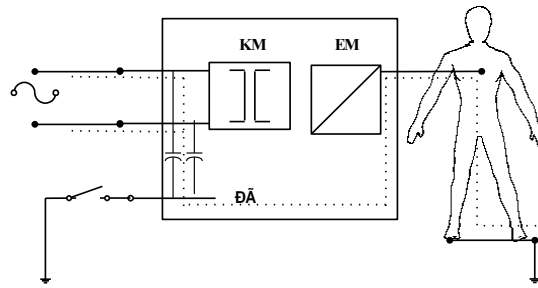
Μακροπληξία: Είναι η κυκλοφορία ρεύματος μέσα από το ανθρώπινο σώμα που συμβαίνει όταν παρουσιαστεί διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων του σώματος (π.χ. χέρι-χέρι). Οφείλεται σε σχετικά μεγάλα ρεύματα, τα οποία διαχωρίζονται προς διάφορες κατευθύνσεις μέσα στο σώμα και μόνο μια διαδρομή μπορεί να περιλαμβάνει τη θωρακική περιοχή και να φτάσει στον καρδιακό μυ, γι' αυτό και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για άτομα απολύτως υγιή όταν φτάνει εντάσεις όπως 40-60 mA.



Σχήμα 1.1 : Σχηματικό διάγραμμα μακροπληξίας

Πηγή: Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού

Μικροπληξία: Συμβαίνει όταν εφαρμοστεί μια διαφορά δυναμικού, ακόμα και πολύ μικρή, απευθείας στον καρδιακό μυ, είτε μέσω ενδοκαρδιακών αισθητήρων, καθετήρων ή ακόμα και χειρουργικών μαχαιριών λόγω αγωγιμότητας. Σε αυτή την περίπτωση όλο το ρεύμα διεγείρει την καρδιά με μεγαλύτερη ένταση στο σημείο εφαρμογής, αυξάνοντας τη πιθανότητα μαρμαρυγής. Το ρεύμα γίνεται επικίνδυνο όταν ξεπερνάει τα 10-60 μ A.



Σχήμα 1.2: Σχηματικό διάγραμμα μικροπληξίας

Πηγή: Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού

Σημείωση: Με τη χρήση του όρου ηλεκτροπληξία αναφερόμαστε κυρίως σε περιπτώσεις μακροπληξίας.

1.1.2 Αγώγιμο ανθρώπινου σώματος

Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται τόσο από καλούς όσο και κακούς αγωγούς του ηλεκτρισμού. Με εξαίρεση το δέρμα και τα οστά, η πλειονότητα των ιστών του σώματος είναι καλοί αγωγοί. Η κύρια αντίσταση του οργανισμού έναντι στον ηλεκτρισμό είναι το δέρμα.

1.1.3 Χαρακτηριστική τάσης-έντασης ανθρώπινου δέρματος

Η χαρακτηριστική τάσης-έντασης του ανθρώπινου δέρματος είναι μη γραμμική και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, γι' αυτό και δεν είναι εύκολη η αναπαράστασή της.

Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- ένταση
- διάρκεια,
- συχνότητα

του ηλεκτρικού ερεθίσματος

όπως επίσης :

- υγρασία δέρματος (ιδρώτας)
- θερμοκρασία
- ατομικές ιδιαιτερότητες (ανατομικές, νευρολογικές, ιατρικές κλπ.)

ενώ άλλος ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει σε αυτή τη μη γραμμικότητα είναι τα ασύμμετρα και χρονομεταβλητά χαρακτηριστικά της σύνθετης αντίστασης του δέρματος.

1.1.4 Αντίσταση ανθρώπινου σώματος

Η αντίσταση του σώματος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πυρήνας 500Ω που περιβάλλεται από την αντίσταση του δέρματος.

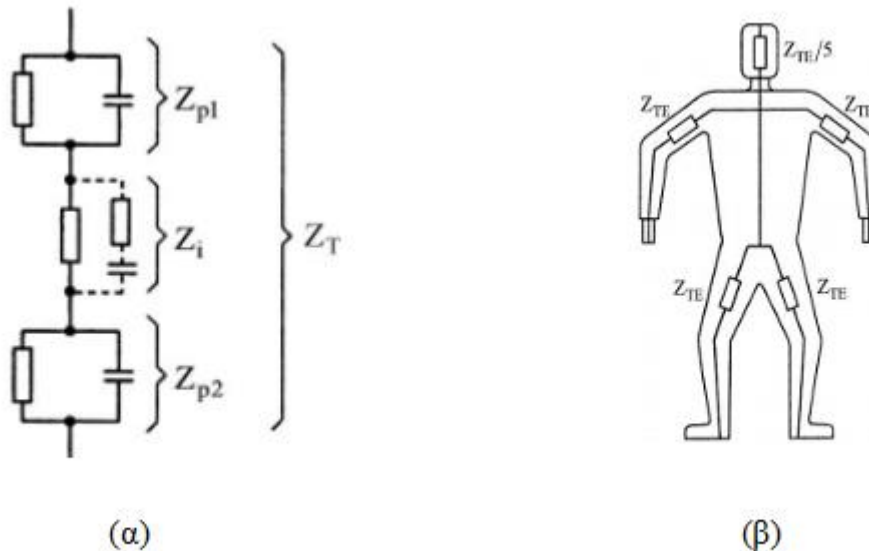
Η τιμή αυτής εξαρτάται κυρίως από την υγρασία του δέρματος. Η ηλεκτρική αντίσταση του ξηρού δέρματος κυμαίνεται από $10k\Omega$ - $100k\Omega$. Όσο αυξάνεται η υγρασία του δέρματος τόσο μειώνεται η ηλεκτρική του αντίσταση και η τιμή της μπορεί να πέσει κάτω από $1k\Omega$.

Εφόσον η αντίσταση του δέρματος είναι ένας παράγοντας που ποικίλει, δεν εξαρτάται μόνο από το άτομο αλλά και από τη θερμοκρασία, την υγρασία, το περιβάλλον, το στρες και άλλους παράγοντες.

Η σύνθετη αντίσταση του ανθρώπινου σώματος είναι κυρίως ωμική με πολύ μικρή τιμή χωρητικότητας.

Η τιμή της σύνθετης αυτής αντίστασης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Δύναμη και επιφάνεια επαφής του σώματος με τον αγωγό
- Δρόμος του ρεύματος μέσα από το σώμα
- Τάση επαφής: Η αντίσταση είναι μη γραμμική και μειώνεται με την αύξηση της τάσης
- Σωματική διάπλαση
- Κατάσταση της επιδερμίδας: το πάχος και η υγρασία της επιδερμίδας, όσο αυξάνεται το πάχος και η ξηρότητα του δέρματος τόσο αυξάνεται και η τιμή της αντίστασής του



Σχήμα 1.3 (α): Ισοδύναμο κύκλωμα ανθρώπινου σώματος όπου Z_{p1}, Z_{p2} η σύνθετη αντίσταση δέρματος, Z_i σύνθετη εσωτερική αντίσταση, Z_T συνολική σύνθετη αντίσταση

Σχήμα 1.3 (β): Σύνθεση της συνολικής σύνθετης αντίστασης του ανθρωπίνου σώματος από τις επιμέρους αντιστάσεις των χεριών και των ποδιών.

Διαδρομή ρεύματος	Τιμή αντίστασης σε Ω
χέρι – χέρι	1000
πόδι – πόδι	1000
χέρι – πόδι	750
χέρια – πόδια	500
χέρι – στήθος	450
χέρια – στήθος	230
χέρι – γλουτός	550
χέρια – γλουτός	300

Πίνακας 1.1 : προσεγγιστικές τιμές αντίστασης ανθρώπινου σώματος για τυχαίες διαδρομές του ρεύματος

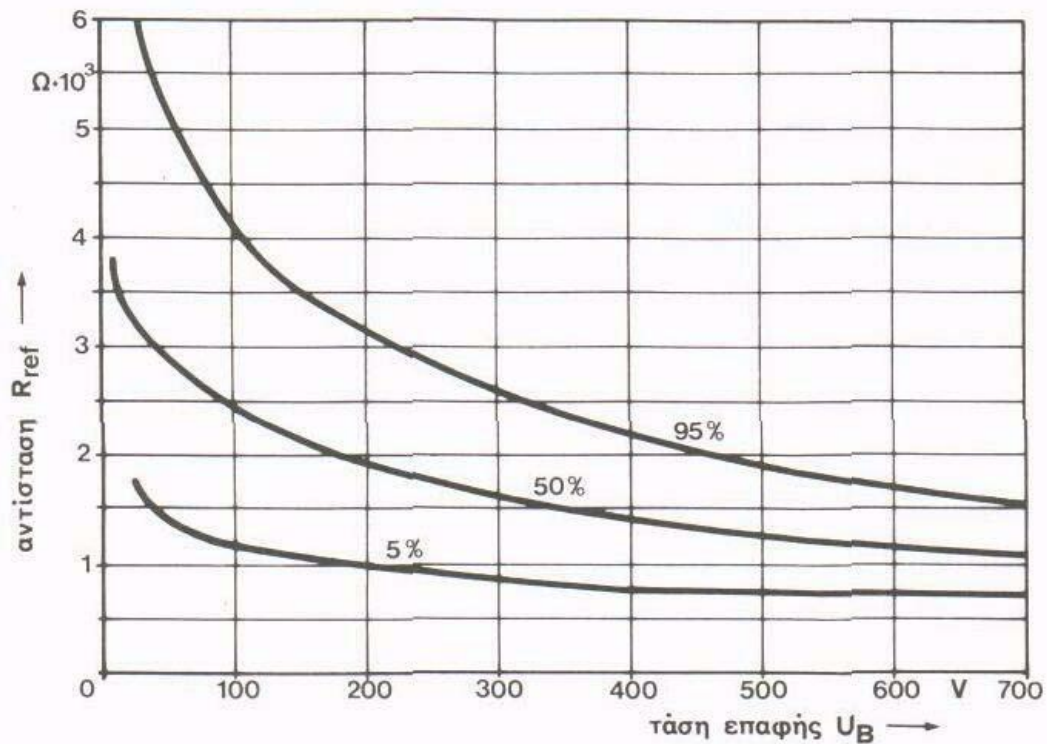
Πηγή: http://www.texnikosafaleias.gr/RTE/my_documents/my_files/84ELSHOCKsec.pdf

Συνθήκη σωματικής επαφής	Στεγνό (Ω)	Υγρό (Ω)
Επαφή με το δάκτυλο	40.000 – 1x10 ⁶	4.000 – 15.000
Κράτημα αγωγού με το χέρι	15.000 – 50.000	3.000 – 5.000
Σφίξιμο δακτύλου – αντίχειρα	10.000 – 30.000	2.000 – 5.000
Λαβή χεριού σε πένσα	5.000 – 10.000	1.000 – 3.000
Επαφή πλήρους παλάμης	3.000 – 8.000	1.000 – 2.000
Χέρι γύρω από σωλήνα 1,5 ιντσών	1.000 – 3.000	500 – 1500
Δύο χέρια γύρω από σωλήνα 1,5 ιντσών	500 – 1500	250 – 750
Χέρι βυθισμένο στο νερό	–	200 – 500
Πόδι βυθισμένο στο νερό	–	100 – 300

Πίνακας 1.2: χαρακτηριστικές τιμές της αντίστασης επαφής σε διάφορες συνθήκες

Πηγή: http://www.texnikosafaleias.gr/RTE/my_documents/my_files/84ELSHOCKsec.pdf

Στο παρακάτω σχήμα 4 απεικονίζονται τρεις καμπύλες που αντιστοιχούν σε διαφορετικά ποσοστά 5%, 50%, 95% του πλήθους των ανθρώπων που έγιναν οι μετρήσεις και δίνουν την αντίσταση του ανθρώπινου σώματος από το ένα χέρι στα δυο πόδια για διάφορες τάσεις.



Σχήμα 1.4: Αντίσταση του ανθρώπινου σώματος, R_{ref} , ως συνάρτηση της τάσης κατά IEC 64-342 (το δέρμα είναι υγρό)

Ακόμα, σύμφωνα με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission-IEC) δίνονται οι παρακάτω τιμές για τη συνολική αντίσταση του σώματος σε κύκλωμα από χέρι σε χέρι για στεγνό δέρμα, για ποσοστά 5%, 50%, 95% του πλήθους των ανθρώπων που έγιναν οι μετρήσεις.

Voltage	5%	50%	95%
25 V	1,750 Ω	3,250 Ω	6,100 Ω
100 V	1,200 Ω	1,875 Ω	3,200 Ω
220 V	1,000 Ω	1,350 Ω	2,125 Ω
1000 V	700 Ω	1,050 Ω	1,500 Ω

Πίνακας 1.3

Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_shock

1.2 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ

Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκληθεί εν γένει με τους παρακάτω τρόπους:

- Επαφή με ενεργό αγωγό
- Επαφή με φθαρμένο (λόγω φυσιολογικής φθοράς της μόνωσής του ή χτυπημένο) ηλεκτροφόρο καλώδιο
- Επαφή με ηλεκτρική συσκευή ή μηχανισμό που έχει βλάβη με αποτέλεσμα τη δημιουργία βραχυκυκλώματος ή διαρροής
- Εκφόρτωση στατικού ηλεκτρισμού (π.χ πυκνωτές ή ακόμα και κεραυνός)

1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ

Οι κύριες παρενέργειες του ηλεκτρικού ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό είναι τρεις:

i. Ηλεκτρόλυση

Κατά τη διέλευση συνεχούς ρεύματος από ένα μέσο, που περιέχει ιόντα προκαλείται ηλεκτρόλυση (διάσπαση μιας ουσίας με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος). Η ίδια αρχή ισχύει και στην περίπτωση που τοποθετηθούν πάνω στο δέρμα δύο ηλεκτρόδια και ανάμεσά τους περάσει ηλεκτρικό ρεύμα. Ως συνεχές ρεύμα θεωρείται τόσο το ρεύμα μιας κατεύθυνσης (DC) όσο και το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) συχνότητας μικρότερης του 0,1 Hz. Γενικά στον άνθρωπο δεν επιτρέπεται διόδος συνεχούς ρεύματος έντασης μεγαλύτερης των 10 μA μέσα από το δέρμα για λίγα λεπτά, αφού προκαλεί τη δημιουργία επώδυνων ελκών κάτω από τα ηλεκτρόδια, που αργούν να ιαθούν.

ii. Μετατροπή ρεύματος σε θερμότητα

Τα εναλλασσόμενα ρεύματα υψηλής συχνότητας δεν προκαλούν διεγέρσεις νεύρων και μυών, αλλά διέρχονται από το δέρμα και τους επιφανειακούς ιστούς και μετατρέπονται σε θερμότητα. Την ιδιότητα αυτή των υψίσυχνων εναλλασσόμενων ρευμάτων χρησιμοποιούν οι χειρουργικές διαθερμίες και οι διαθερμίες της φυσιοθεραπείας.

iii. Διέγερση νεύρων και μυών

Το νευρικό σύστημα του ανθρώπου είναι ένα μικρό ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί εξαιρετικά μικρής εντάσεως ρεύματα. Ένα ηλεκτρικό σοκ, ακόμα και μικρής εντάσεως, μπορεί να διαταράξει την ομαλή λειτουργία των νεύρων και των μυών, πόσο μάλλον της καρδιάς, η οποία μπορεί να χάσει το συγχρονισμό ή και το ρυθμό της. Τέτοια είδους αποτελέσματα μπορούν να προκληθούν ακόμα και από ρεύματα που δεν προκαλούν εμφανή θέρμανση των ιστών ή τραυματισμό.

Η διέγερση ενός αισθητικού νεύρου προκαλεί πόνο, ενώ η διέγερση ενός κινητικού νεύρου προκαλεί σύσπαση μυών. Ο κύριος κίνδυνος του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η διέγερση σκελετικών μυών και του μυοκαρδίου (άμεσα ή έμμεσα μετά από διέγερση κινητικών νεύρων).

Σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα της ηλεκτροπληξίας έχει εκτός από την ένταση του ρεύματος, ο δρόμος που ακολουθεί μέσα από το σώμα και η διάρκεια διόδου του ρεύματος. Για παράδειγμα, η δίοδος ρεύματος μεταξύ των δυο χεριών είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, καθώς ο δρόμος μπορεί να περνάει από την καρδιά. Έτσι, μπορεί να διαταραχθεί η λειτουργία της και να προκληθεί κολπική μαρμαρυγή ή ινιδισμός των κοιλιών (σειρά ταχύτατων, άτακτων και ανεπαρκών συσπάσεων των μυϊκών ινών του μυοκαρδίου). Ακόμα και ένα ρεύμα έντασης τόσο μικρό όσο τα 10 μA αν περάσει από την καρδιά είναι ικανό να προκαλέσει μαρμαρυγή. Ο ινιδισμός των κοιλιών είναι θανατηφόρος αν δεν αποδράμει μέσα σε λίγα λεπτά, ενώ η κολπική μαρμαρυγή μπορεί να παραμείνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ανάλογα με την ένταση του ρεύματος συχνότητας 50 Hz (παροχή Δ.Ε.Η –συχνότητα ενδιαφέροντος) που διέρχεται από το σώμα προκαλούνται και ανάλογης βαρύτητας φαινόμενα:

Γενικά:

- **1 mA :** όριο που το ρεύμα γίνεται αντιληπτό.
- **10-20 mA:** συσπάσεις μυών, αδυναμία απόσπασης από τον αγωγό σφάλματος.
- **50 mA:** έντονος πόνος, λιποθυμία, εξάντληση.
- **100 mA:** κοιλιακή μαρμαρυγή.

Πιο συγκεκριμένα:

- I. **0,5 mA - 1 mA:** Μόλις που γίνεται αντιληπτό και μπορεί να προκληθούν ασθενείς μυϊκές συσπάσεις, ίσως και κάποια α++++ντανακλαστική κίνηση φόβου. Ως ανώτερο ασφαλές όριο έντασης ρεύματος συνίσταται η ένταση του 1 mA.
- II. **1 mA - 5 mA:** Προκαλεί κλονισμό των νεύρων και πόνο.
- III. **5 mA - 15 mA:** Δημιουργεί συνεχείς, τετανικές (η ανώτερη δυνατή τιμή της) συσπάσεις των σκελετικών μυών που μπορούν να προκαλέσουν εκτίναξη του σώματος του ηλεκτροπληγέντα με αποτέλεσμα την πρόκληση κακώσεων ή δυσχέρεια απομάκρυνσης του από το ρευματοφόρο αγωγό. Αυτό συμβαίνει καθώς οι μύες που ενεργοποιούνται με τη διέλευση ρεύματος είναι τόσο οι μύες του πήχη που είναι υπεύθυνοι για το λύγισμα, αλλά και για το τέντωμα των δαχτύλων. Όμως οι μύες που είναι υπεύθυνοι για το λύγισμα είναι δυνατότεροι επομένως και επικρατούν με αποτέλεσμα το θύμα να μην μπορεί να απελευθερωθεί από τον αγωγό (βασική αρχή των όπλων ηλεκτροσόκ-tasers). Αν οι μυϊκές συσπάσεις είναι αρκετά ισχυρές μπορούν να προκαλέσουν και κατάγματα.

Τα 10 mA περίπου αποτελούν το λεγόμενο όριο απελευθέρωσης (let go threshold), στο οποίο το θύμα δεν μπορεί να αφήσει τον αγωγό καθώς δεν μπορεί να ελέγξει τους μύες του και αρχίζει να έχει προβλήματα στην αναπνοή. Πιο συγκεκριμένα 9 mA για τις γυναίκες και 15 mA για τους άντρες. Αυτό το κατώφλι αποτελεί κριτήριο στους κανονισμούς για τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

- IV. **15 mA - 100 mA**: Εμφανίζεται έντονος πόνος και αναπνευστική δυσχέρεια προκαλούμενη από τις τετανικές συσπάσεις των αναπνευστικών μυών. Μεταξύ 25 και 100 mA αυξάνει συνεχώς την πιθανότητα πρόκλησης αναπνευστικής παράλυσης και ινιδισμού των κοιλιών. Αυτά συνοδεύονται από ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και ελαφρά εγκαύματα ιστών.
- V. **100 mA - 500 mA**: Προκαλείται ινιδισμός των κοιλιών, που παραμένει και μετά το πέρας της επίδρασης του ηλεκτρικού ρεύματος, αναπνευστική παράλυση, εξαιρετικά ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και σοβαρά εγκαύματα
- VI. **> 500 mA**: Προκαλείται άμεση έναρξη λειτουργίας της καρδιάς μετά το πέρας της επίδρασης του ρεύματος. Στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται και η αρχή λειτουργίας του καρδιακού απινιδωτή. Γενικά το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι πιο επικίνδυνα από το συνεχές. Τα συνεχή ρεύματα προκαλούν κυρίως ηλεκτρολυτικές διαταραχές των ιστών. Οι περισσότεροι θάνατοι προκαλούνται από ινιδισμό των κοιλιών της καρδιάς (ventricular fibrillation- κοιλιακή μαρμαρυγή). Στην περίπτωση αυτή το μυοκάρδιο των κοιλιών σταματά να συσπάται ρυθμικά για την εξώθηση αίματος προς τις αρτηρίες και επικρατεί μια ασύγχρονη και ασυντόνιστη σύσπαση μικρών περιοχών του μυοκαρδίου των κοιλιών. Αν ο ινιδισμός των κοιλιών δεν αρθεί σύντομα, προκαλείται μη αναστρέψιμη βλάβη του εγκεφάλου από ισχαιμία (διακοπή παροχής αίματος), όπως επίσης προκαλείται και ισχαιμία του ίδιου του μυοκαρδίου. Ινιδισμός των κοιλιών που διαρκεί 3 έως 5 λεπτά, χωρίς να αντιμετωπισθεί προκαλεί θάνατο.

Το ελάχιστο ρεύμα που μπορεί να αντέξει ο ανθρώπινος οργανισμός χωρίς να προκληθεί κοιλιακή μαρμαρυγή δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{116}{\sqrt{t}}, t : 30ms \leq t \leq 3s$$

Σημείωση: Υπάρχει μια μικρή αναντιστοιχία ανάμεσα στο πρότυπο της IEEE 80-2000 [25] και στις μελέτες των Dalziel-Lee. Παρόλο που το πρότυπο αναφέρεται ρητά στη δημοσίευση [15], όπου σημειώνεται καθαρά ότι ο τύπος

$I = \frac{K}{\sqrt{t}}$ ισχύει για διάρκεια 8,3ms-5s, στο πρότυπο αναγράφεται ότι ο

συγκεκριμένος τύπος ισχύει για διάρκειες από 30ms-3s.

1.3.1 Θανατηφόρες και μη συνέπειες της ηλεκτροπληξίας στον άνθρωπο

Κύριος μηχανισμός θανάτου είναι οι αρρυθμίες, όπως η κοιλιακή μαρμαρυγή. Κατά την ηλεκτροπληξία είναι δυνατόν να παρατηρηθεί κοιλιακή ασυστολία. Μπορεί ακόμα να συμβεί και αναπνευστική ανακοπή ή ασφυξία από σπασμό του διαφράγματος. Τέλος, ο θάνατος μπορεί να προέλθει από την εκτίναξη του θύματος από το ηλεκτρικό ρεύμα. Συνήθως, αναζητούνται κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις, κακώσεις του θώρακα και της κοιλίας, της σπονδυλικής στήλης, κατάγματα και ρήξεις μυών και τενόντων λόγω του τετανικού σπασμού. Συχνά ο τετανικός σπασμός

των δακτύλων εμποδίζει το θύμα να αποσύρει τα άκρα του από την πηγή του ρεύματος αυξάνοντας το χρόνο διέλευσης.

Στα σημεία εισόδου και εξόδου του ρεύματος από το σώμα παρατηρούνται θερμικά εγκαύματα. Πολλές φορές η έκταση της βλάβης στο δέρμα είναι μικρή και επομένως παραπλανητική, αφού ενδέχεται να υπάρχουν εκτεταμένες νεκρώσεις μυών. Οι μύες και τα νεύρα έχουν χαμηλή αντίσταση και γι' αυτό το ρεύμα εκλεκτικά περνά μέσα από αυτά. Κατά τη διέλευση του ρεύματος παράγεται και θερμότητα (φαινόμενο Joule) αλλά και αντίστοιχες θερμικές βλάβες.

Σε περίπτωση που το θύμα επιβιώσει συνήθως παρουσιάζει απώλεια συνείδησης, δεν προσανατολίζεται στο χρόνο και τον τόπο, παρουσιάζει σπασμούς, είναι επιθετικός. Τα κατάγματα των οστών, τα εξάρθρωματα, οι κακώσεις της σπονδυλικής στήλης και του νωτιαίου μυελού είναι συνηθισμένα. Επίσης είναι συχνή η εμφάνιση ημιπληγίας ή παραπληγίας και η πάρεση περιφερικών νεύρων. Όταν αναρρώσει το θύμα, υποφέρει από επίμονες νευροπάθειες. Ακόμα είναι δυνατόν να παρατηρηθεί καταρράκτης και απώλεια ακοής λόγω της διάτρησης του τυμπάνου. Από την καταστροφή των μυών απελευθερώνεται μυοσφαιρίνη και κάλιο (ραβδομύλυση). Η μυοσφαιρίνη αποφράσσει τα ουροφόρα σωληνάκια και μπορεί να εκδηλωθεί οξεία νεφρική ανεπάρκεια. Η υπερκαλιαιμία (αυξημένη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη κάλιο) μπορεί να πυροδοτήσει καρδιακές αρρυθμίες.

1.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ

Οι βασικότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το αποτέλεσμα της ηλεκτροπληξίας είναι:

- Τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής πηγής (ρεύμα, τάση και συχνότητα). Συνήθως όσο μεγαλύτερη είναι η τάση τόσο πιο σοβαρή είναι η βλάβη των ιστών. Η καλή γείωση ελαττώνει την ένταση του ρεύματος που περνά από το ανθρώπινο σώμα. Το συνεχές ρεύμα είναι λιγότερο επικίνδυνο από το εναλλασσόμενο, αλλά προκαλεί βαρύτερα εγκαύματα.

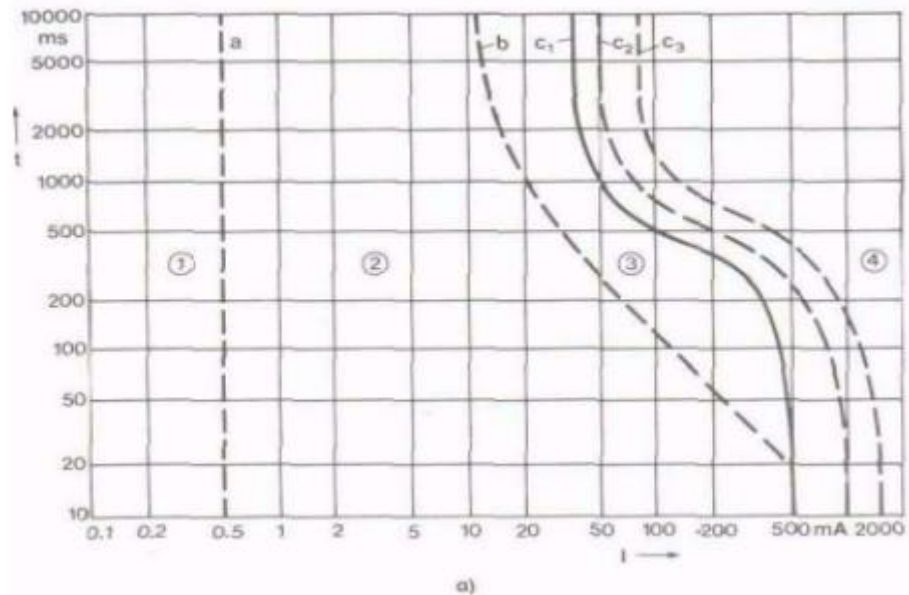
Αναλυτικότερα :

Επίδραση ρεύματος:

i. Εναλλασσόμενο ρεύμα

Η επίδραση της ροής εναλλασσόμενου ρεύματος διαμέσου του ανθρώπινου σώματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του συνεχούς ρεύματος και εξαρτάται από την τιμή της έντασης του ρεύματος και τη συχνότητα. Στο παρακάτω διάγραμμα *Σχήμα 5* παρουσιάζονται 4 περιοχές επιδράσεων του ρεύματος στον οργανισμό. Είναι φανερό ότι κάτω από 0,5 mA το ρεύμα δε γίνεται αντιληπτό (περιοχή 1), όσο κι αν αυξάνεται ο χρόνος. Στην περιοχή 2 το ρεύμα γίνεται μεν αντιληπτό αλλά συνήθως δεν προκαλεί φυσιοπαθολογικές ζημιές. Στην περιοχή 3 έχουμε κίνδυνο 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 προκαλεί μαρμαρυγή με διάφορες πιθανότητες που δίνονται

από τις καμπύλες C1, C2, C3. Η καμπύλη που χωρίζει τις περιοχές 2 και 3 μπορεί να θεωρηθεί ως όριο κινδύνου.



Σχήμα 1.5: Επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος 15-100 Hz σε ανθρώπους, ανεξαρτήτως ηλικίας και βάρους. Ο δρόμος ρεύματος είναι από το αριστερό χέρι προς τα δύο πόδια. Το ρεύμα που αντιστοιχεί σ' αυτό το δρόμο λέγεται ρεύμα αναφοράς, I_{ref} .

Ζώνη 1: Συνήθως κανένα αίσθημα.

Ζώνη 2: Συνήθως κανένας φυσιολογικός κίνδυνος.

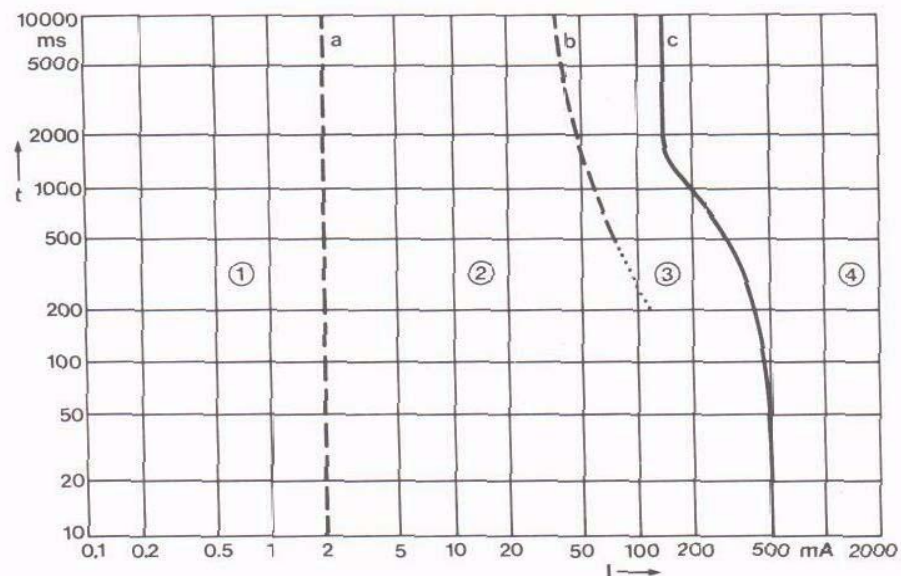
Ζώνη 3: Συνήθως κανένας κίνδυνος μαρμαρυγής.

Ζώνη 4: Πιθανότητα μαρμαρυγής $c1 = 0\%$, $c2 = 5\%$, $c3 = 50\%$

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/KYKLOS%20SEMINARION%20MIKRIS%20DIARKIAS/SHMEIWSEIS/YGEIA%20KAI%20ASFALEIA%20STH%20BIOMHXANIA/5%27%20CB%25%20CA%24%20DI%20CF%20%20CB%27%20CE%29%20C1.pdf

ii. Συνεχές ρεύμα

Υπάρχουν 4 περιοχές (ζώνες) επίδρασης του συνεχούς ρεύματος στον άνθρωπο, σύμφωνα με το Σχήμα 6. 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 οι 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.

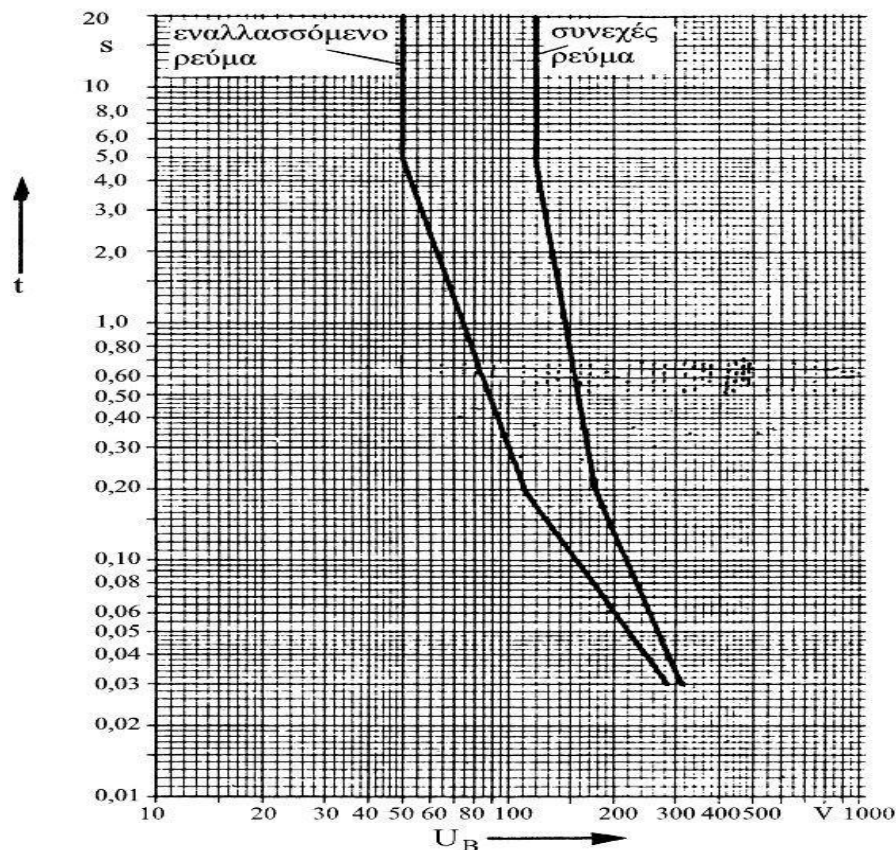


Σχήμα 1.6 : Επίδραση συνεχούς ρεύματος σε ανθρώπους ανεξαρτήτως ηλικίας και βάρους. Ο δρόμος του ρεύματος είναι από το αριστερό χέρι στα δύο πόδια

Πηγή: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTH TES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/KYKLOS%20SEMINARION%20MIKRIS%20DIARKIAS/SHMEIWSEIS/YGEIA%20KAI%20ASFALEIA%20STH%20BIOMHXANIA/5%C7%CB%C5%CA%D4%D1%CF%D0%CB%C7%CE%C9%CI.pdf

Σύγκριση

Συγκρίνοντας τα δυο σχήματα είναι φανερό ότι το συνεχές ρεύμα είναι πιο ακίνδυνο απ' ότι ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, με τιμή μεγίστου ίση με αυτή του συνεχούς. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.7: Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη διάρκεια ρεύματος για δεδομένη τάση επαφής.

Πηγή: [http://civil.teipir.gr/web/uploads/ANAKOINOSEIS%20KATHI GITON/HLEKTROLOGIKES 3X12.pdf](http://civil.teipir.gr/web/uploads/ANAKOINOSEIS%20KATHI%20GITON/HLEKTROLOGIKES%203X12.pdf)

Επίδραση συχνότητας:

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.

Γενικά:

Το πώς επηρεάζει το εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα εξαρτάται σημαντικά από τη συχνότητα του. Σε χαμηλές συχνότητες όπως 50-60 Hz είναι πολύ πιο επικίνδυνα από τα υψίσυγα AC ρεύματα. Επίσης τα AC ρεύματα είναι 3-5 φορές πιο επικίνδυνα από τα συνεχή DC ρεύματα. Το χαμηλής συχνότητας AC ρεύμα προκαλεί παρατεταμένη σύσπαση μυών (τέτανος), που μπορεί να παγώσει το χέρι στην πηγή ρεύματος σε παρατεταμένη έκθεση στο ρεύμα. Το DC ρεύμα είναι πιο

πιθανό να προκαλέσει μια σπασμωδική σύσπαση, που συχνά σπρώχνει το θύμα μακριά από την πηγή ρεύματος.

- Η αντίσταση που παρουσιάζει το σώμα στη ροή ρεύματος κατά τη διάρκεια της ηλεκτροπληξίας. Η αγωγιμότητα των ιστών είναι ανάλογη της περιεκτικότητάς τους σε νερό. Η αγωγιμότητα ελαττώνεται σε φθίνουσα πορεία στα νεύρα, στο αίμα, στους ιστούς, στους μύες στο δέρμα, στους τένοντες, στο λίπος, και στα οστά. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του δέρματος τόσο μεγαλύτερο είναι το έγκραυμα. Το βρεγμένο δέρμα έχει καλύτερη αγωγιμότητα από το ξηρό.
- Η διαδρομή του ρεύματος μέσα από το σώμα, δηλαδή αν έχει περάσει μέσα από ζωτικά όργανα όπως η καρδιά ή ο εγκέφαλος
- Ο χρόνος διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Ανάλογα με τη βλάβη μπορεί να μοιάζει με τραύμα από πυροβόλο όπλο με οπή εισόδου και εξόδου, με εγκαύματα από βολταϊκό τόξο (στο οποίο αναπτύσσεται θερμοκρασία μέχρι 2500° C) και με εγκαύματα από ανάφλεξη ρούχων του θύματος σε αποστάσεις μέχρι και τρία μέτρα από το σημείο έναρξης του ηλεκτρικού τόξου (αυτοσυντηρούμενης ηλεκτρικής εκκένωσης υψηλής τάσης)
- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος που συμβαίνει το σφάλμα

1.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ

Για την αντιμετώπιση ενός περιστατικού ηλεκτροπληξίας είναι καλό να πραγματοποιούνται οι παρακάτω ενέργειες:

- Διασφάλιση ότι η παροχή ρεύματος έχει σταματήσει
- Απομάκρυνση θύματος από την πηγή ρεύματος
- Αναζήτηση ζωτικών σημείων του θύματος, εξασφάλιση βατότητας της αναπνευστικής οδού, και ακινησίας της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης
- Αν δεν υπάρχει σφυγμός παροχή καρδιοαναπνευστικής αναζωογόνησης μέχρι την έλευση εξειδικευμένου προσωπικού (ασθενοφόρο, νοσοκόμοι, τραυματιοφορείς)

1.5.1 Τι κάνουμε την ώρα που χτυπάει κάποιον ηλεκτρικό ρεύμα

Σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας ενός ατόμου, πρώτη ενέργεια είναι η διακοπή του ρεύματος από το γενικό διακόπτη ή απομάκρυνση του ατόμου από την επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα με προσοχή για να μην κινδυνεύει και αυτός που προσπαθεί να βοηθήσει το θύμα. Η επαφή με τον παθόντα δεν πρέπει να γίνεται με γυμνά και βρεγμένα χέρια αλλά με την παρεμβολή μονωτικού υλικού π.χ. ξύλο.

Το θύμα λόγω μυϊκού σπασμού που προκαλείται εκσφενδονίζεται μακριά από το σημείο επαφής, αν όμως παραμείνει σε επαφή με την πηγή δεν πρέπει ποτέ να επιχειρείται το πλησίασμά του, διότι η ηλεκτρική εκκένωση μπορεί να φτάσει σε μεγάλη απόσταση. Το σωστό είναι να ειδοποιούνται οι αρχές για τη διακοπή του ρεύματος και κατόπιν να δοθούν οι πρώτες βοήθειες. Το θύμα της ηλεκτροπληξίας

μεταφέρεται στη συνέχεια στο νοσοκομείο για τη διενέργεια εργαστηριακών εξετάσεων.

Σε εξωτερικούς χώρους

Αν η ηλεκτροπληξία οφείλεται σε ρεύμα υψηλής τάσης, δεν μπορούμε να πλησιάσουμε το θύμα σε απόσταση τουλάχιστον 20 m, λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται. Η μόνη λύση είναι η διακοπή του ρεύματος από τη ΔΕΗ. Δεν πλησιάζουμε ηλεκτροφόρα καλώδια ή κολώνες της ΔΕΗ που έχουν πέσει.

1.5.2 Πρώτες Βοήθειες

Πριν προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε πράξη ή ενέργεια καρδιακής και αναπνευστικής αναζωογόνησης, θα πρέπει να έχουμε εξασφαλίσει την ατομική μας ασφάλεια. Δεν κάνουμε τίποτε αν δεν έχουμε μετακινηθεί από κάποιο επικίνδυνο χώρο(π.χ. δρόμος ταχείας κυκλοφορίας, πυρκαγιά, άμεσος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας κτλ.).

1.5.2.1 Καρδιοαναπνευστική Αναζωογόνηση

A (Airway)

- Μετακινούμε το θύμα με την πλάτη να βρίσκεται σε επίπεδη και ανελαστική επιφάνεια. Αν υπάρχει υποψία αυχενικής κάκωσης δεν προβαίνουμε σε καμία μετακίνηση.
- Προκαλούμε ερέθισμα και ταρακουνώντας του ελαφριά τους ώμους, τον ρωτάμε αν είναι καλά. Αν δεν υπάρχει απάντηση, ταυτόχρονα με το ένα χέρι ανασηκώνουμε το πηγούνι του και με το άλλο γέρνουμε το κεφάλι του προς τα πίσω.



B (Breathing)

- Βλέπουμε, ακούμε, αισθανόμαστε αν το θύμα αναπνέει. Αν δεν υπάρχει αναπνοή κλείνουμε τη μύτη του και προχωρούμε σε αναπνοή στόμα με στόμα, προσέχοντας να μη διαφεύγει αέρας προς τα έξω.
- Δε χρειάζεται να δώσουμε ιδιαίτερα μεγάλη ποσότητα αέρα: 400-500 ml είναι συνήθως αρκετά.
- Δίνουμε 2 αναπνοές και ελέγχουμε αν υπάρχει έκπτυξη (επέκταση) του θώρακα. Αν δεν υπάρχει τότε μάλλον έχουμε απόφραξη αεραγωγού.



C (Circulation)

- Ελέγχουμε αν υπάρχει σφυγμός ψηλαφώντας την καρωτίδα του θύματος.



- Δεν καθυστερούμε πάνω από 5 με 10 s στην πράξη αυτή.
- Αν δεν υπάρχει σφυγμός αρχίζουμε μαλάξεις (συμπιέσεις) του θώρακα με συχνότητα 80 με 100 το λεπτό



- Αν είμαστε μόνοι κάνουμε 15 μαλάξεις και δίνουμε 2 αναπνοές. Αν έχουμε βοηθό δίνουμε για 5 μαλάξεις 1 αναπνοή.
- Με κάθε συμπίεση ο θώρακας πρέπει να υποχωρεί 3 με 5 cm περίπου.
- Η θέση του σώματός μας πρέπει να είναι σωστή.

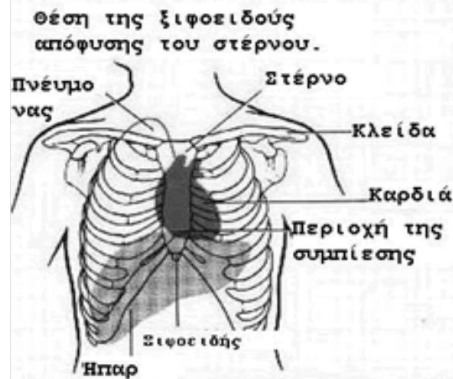


Κάθε λεπτό ελέγχουμε αν υπάρχει σφυγμός και αναπνοή

Συνεχίζουμε μέχρι :

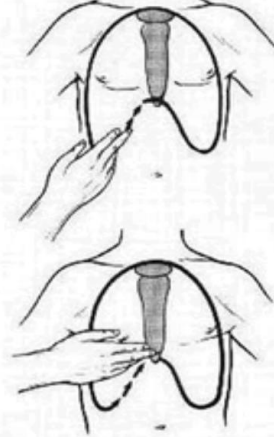
- Να συνέλθει το θύμα.
- Να έρθει εκπαιδευμένο προσωπικό και να αναλάβει την ευθύνη.
- Να υπάρχουν εμφανή σημεία θανάτου ή να μας δοθεί εντολή από ιατρικό προσωπικό να σταματήσουμε.
- Να εξαντληθούμε.

ΟΡΘΗ ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΧΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΡΠΑ



Θέση της ξιφοειδούς απόφυσης του στήρνου.
 Προσοχή στην θέση των χεριών. Καμηλή θέση μπορεί να προκαλέσει μεγάλη βλάβη στο ήπαρ.

Ε βρίσκοντας την ξιφοειδή απόφυση...



ΚΑΡΠΑ ΜΕ ΕΝΑ ΔΙΑΣΩΣΤΗ



15 συμπίεσεις/δύο αναπνοές
 Τουλάχιστον 80 μαλλάξεις το λεπτό

ΚΑΡΠΑ ΜΕ ΔΥΟ ΔΙΑΣΩΣΤΕΣ



5 συμπίεσεις με συχνότητα 60 ανά λεπτό.
 Δεν διακόπτονται οι μαλλάξεις.
 1 αναπνοή κάθε 5 συμπίεσεις.

Πηγή: http://3gym-kozan.koz.sch.gr/pdf/Electricity_danger_TsaridouGeorgia_TzalazidisKostas.pdf

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

2.1 ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Οι χώροι υπηρεσιών υγείας αποτελούν ιδιαίζουσες περιπτώσεις όσον αφορά τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Είναι χώροι υψηλής επικινδυνότητας και γι ' αυτό το λόγο απαιτείται ένα υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας σε σχέση με τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις. Εφόσον οι χώροι αυτοί είναι ιδιαίτεροι, καθίσταται αναγκαία η εξέταση των απαιτήσεων του κάθε χώρου ξεχωριστά. Η ασφάλεια αυτή επιτυγχάνεται εξασφαλίζοντας τη σωστή λειτουργία και τον έλεγχο της ηλεκτρικής εγκατάστασης και των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται.

Οι λόγοι που καθιστούν τους ιατρικούς χώρους, χώρους ιδιαίτερης προσοχής αφορούν κύρια τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, η οποία έχει βάλει για τα καλά τη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος στις διαδικασίες που υποβάλλεται ο ασθενής, αλλά και η ίδια η ευάλωτη κατάσταση υγείας των ασθενών (είτε λόγω των ηλεκτρικών συσκευών, είτε λόγω εφαρμογής του στον ασθενή ως θεραπεία).

Πιο συγκεκριμένα:

Απαιτείται η συνεχής λειτουργία και ο έλεγχος των εγκαταστάσεων επειδή:

- Λειτουργίες του ανθρωπίνου οργανισμού υποστηρίζονται ή αντικαθίστανται προσωρινά ή συνεχόμενα από ηλεκτρικά ιατρικά μηχανήματα
- Ηλεκτρικές και Μαγνητικές παρεμβολές, π.χ. από το ηλεκτρικό σύστημα, μπορεί να εκθέσουν τους ασθενείς σε κίνδυνο ή μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία των ηλεκτρικών ιατρικών συσκευών.
- Η εντατική παρακολούθηση απαιτεί την ταυτόχρονη εφαρμογή διάφορων ηλεκτρικών ιατρικών συσκευών
- Οι μακροπρόθεσμες καταγραφές των στοιχείων των ασθενών χάνονται σε περίπτωση διακοπών ρεύματος.

Επίσης, οι ασθενείς είναι πιο ευάλωτοι και επιρρεπείς σε φαινόμενα ηλεκτροπληξίας αφού:

- Η δυνατότητα αντίδρασης των ασθενών σε πιθανούς κινδύνους είναι μειωμένη ή αδύνατη.
- Ο στατικός ηλεκτρισμός που μπορεί να δημιουργηθεί ιδιαίτερα στους χώρους νάρκωσης και στα χειρουργεία. Οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις στο ηλεκτροστατικό πεδίο των χώρων αυτών, μπορεί να προκαλέσουν ανωμαλίες λειτουργίας ή βλάβες σε κυκλώματα ηλεκτρονικών συσκευών, καθώς και έκρηξη ή ανάφλεξη, όταν συνυπάρχουν με εύφλεκτα μείγματα αερίων. Έχει επίσης, διαπιστωθεί ότι ο στατικός ηλεκτρισμός μπορεί να προκαλέσει στάση της καρδιάς, όταν εφαρμοστεί σε βηματικό καθετήρα. Για να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιούνται αντιστατικά δάπεδα και ειδικός κλιματισμός ενώ αποφεύγεται η χρήση υλικών που ευνοούν τη δημιουργία ηλεκτροστατικών φορέων.
- Ειδικά οι ασθενείς στις ΜΕΘ έχουν χαμηλότερη αντίσταση από τους υγιείς ανθρώπους. Αυτό οφείλεται :

- στη μειωμένη αντίσταση του δέρματός τους στα σημεία σύνδεσης των ηλεκτροδίων ηλεκτροϊατρικών διατάξεων μέτρησης.
- στην αυξημένη ηλεκτρική ευαισθησία εξαιτίας της λήψης φαρμάκων και άλλων κλινικών παραγόντων(βάρος του σώματος, αυξημένη θερμοκρασία κλπ.).
- στη χρήση καθετήρων ή ενδοφλέβιων υγρών που μπορεί να λειτουργήσουν ως παρακαμπτήριες διαδρομές του ρεύματος στο δέρμα.

Εφόσον η αντίσταση των ασθενών στη ΜΕΘ, αυξάνεται ο κίνδυνος που διατρέχουν να υποστούν κοιλιακή μαρμαρυγή με χαμηλότερη τιμή έντασης ηλεκτρικού ρεύματος. Η προστασία του ασθενούς από διαρροές ρεύματος που μπορούν να εκδηλωθούν στις διάφορες ηλεκτροϊατρικές συσκευές με τις οποίες αυτός έρχεται σε επαφή, επιτυγχάνεται μέσω ειδικών κυκλωμάτων προστασίας των συσκευών αυτών καθώς και από το δίκτυο γειώσεων του χώρου νοσηλείας. Τα μέτρα προστασίας γενικότερα και οι διάφοροι κανονισμοί ασφαλείας παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

2.2 ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Τα νοσοκομεία και οι ιατρικοί χώροι αποτελούν ειδικές κτιριακές εγκαταστάσεις. Ο εξοπλισμός τους είναι περίπλοκος, ενώ η λειτουργία τους χωρίς ώρες χαμηλής κατανάλωσης και η άμεση χρήση ηλεκτρικών συσκευών στον άνθρωπο ξεχωρίζουν τους ιατρικούς χώρους από τα περισσότερα κτίρια. Γι' αυτούς τους λόγους, τα νοσοκομεία έχουν πολύ μεγάλες ηλεκτρικές απαιτήσεις όσον αφορά την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους.

Οι ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της ιατρικής μηχανικής έχουν αυξήσει ραγδαία και τις απαιτήσεις ασφαλείας από τον ηλεκτρισμό.

Οι χώροι ιατρικών εφαρμογών και πράξεων είναι εκείνοι στους οποίους πρέπει να δίνεται προτεραιότητα όσον αφορά την ηλεκτρική ασφάλεια.

Συγκεκριμένα:

- Ηλεκτρικές και Μαγνητικές Παρεμβολές προερχόμενες από το ηλεκτρικό δίκτυο ή και από ηλεκτρομαγνητικές πηγές του εξωτερικού περιβάλλοντος εκθέτουν τους ασθενείς σε κινδύνους αλλά και απορυθμίζουν τις λειτουργίες ηλεκτρικών ιατρικών συσκευών.
- Οι χειρουργικές επεμβάσεις δεν μπορούν να διακοπούν η να επαναληφθούν.
- Η εντατική φροντίδα απαιτεί ταυτόχρονη και συγχρονισμένη λειτουργία πολλών και διαφορετικών ηλεκτρικών οργάνων.
- Οι επιτρεπόμενες εντάσεις των ρευμάτων διαρροής δυνατόν να υπερβούν τις μέγιστες κρίσιμες τιμές.
- Μακράς περιόδου καταγεγραμμένα βιολογικά στοιχεία του ασθενούς χάνονται στην περίπτωση βλάβης- διακοπής της ηλεκτρικής ισχύος

2.2.1 Επίσημοι κανονισμοί και τεχνικά πρότυπα

Αυτή η ιδιαιτερότητα των νοσοκομείων έχει οδηγήσει στη δημιουργία προτύπων με θέμα αποκλειστικά τα νοσοκομεία. Ένα τέτοιο πρότυπο είναι το IEC 60364-7-710, που αφορά τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις ιατρικών εφαρμογών ώστε να εξασφαλισθεί η ασφάλεια των ασθενών και του Ιατρικού – Νοσηλευτικού προσωπικού.

Έχουν δημιουργηθεί διεθνή τεχνικά πρότυπα ασφαλείας τόσο για τις δομικές και μηχανικές προδιαγραφές των δωματίων και των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής τροφοδοσίας και των απαιτήσεων ασφαλείας, αλλά και των ηλεκτρικών ιατρικών συσκευών. Ανάλογα με τη χώρα που εφαρμόζονται παρουσιάζονται κάποιες μικρές διαφορές μεταξύ των εθνικών προτύπων ασφαλείας. Παρόλα αυτά όλα τα πρότυπα επικεντρώνονται στα εξής σημαντικά σημεία:

- Προστασία του ασθενή, καθώς και του γιατρού και του προσωπικού, όταν χρησιμοποιούν ηλεκτρομηχανικές συσκευές.
- Ασφάλεια τροφοδοσίας για ζωτικής σημασίας ηλεκτροφόρες συσκευές.
- Γενική προστασία των ασθενών με διαφορετικούς βαθμούς μετακίνησης π.χ. περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στη χώρα μας μελετώνται, υπολογίζονται και κατασκευάζονται σύμφωνα με τις αρχές του προτύπου ΕΛΟΤ HD384. Για τα θέματα που δεν καλύπτονται από το πρότυπο αυτό ισχύουν οι Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί όπως αυτοί καθορίζονται από IEC (International Electrotechnical Commission) και τη CENELEC (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique).

2.2.2 Τροφοδοσία νοσοκομείου

Το σύστημα τροφοδοσίας και διανομής ενός νοσοκομείου καθορίζεται από παράγοντες όπως η τοπολογία των λειτουργικών μονάδων, οι απαιτήσεις του ιατρικού εξοπλισμού και η προβλεπόμενη ισχύς για το κτίριο.

Υπό κανονικές συνθήκες τα νοσοκομεία εξυπηρετούνται από το δίκτυο μέσης τάσης εταιρείας παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως π.χ. της ΔΕΗ. Σε περίπτωση διακοπής της παροχής από την εταιρεία ή για περίπτωση βλάβης της εγκατάστασης του Υποσταθμού (αστοχία ενός μετασχηματιστή ή σφάλμα μιας φάσης ή μείωση της τάσης του δικτύου της εταιρείας κάτω από την αποδεκτή στάθμη του 10%) προβλέπεται η τροφοδοσία των κρίσιμων καταναλώσεων μέσω ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

Εκτός από τις πηγές ενέργειας, προβλέπεται και ένα σύστημα αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS), με συστοιχία μπαταριών που καλύπτει τα κρίσιμα φορτία ιατρικού εξοπλισμού. (κανονισμός VDE 0107).

Κτιριακές εγκαταστάσεις όπως αυτές των νοσοκομείων απαιτούν επιπλέον διατάξεις όσον αφορά τις ηλεκτρικές υποδομές τους.

Τέτοιες διατάξεις είναι:

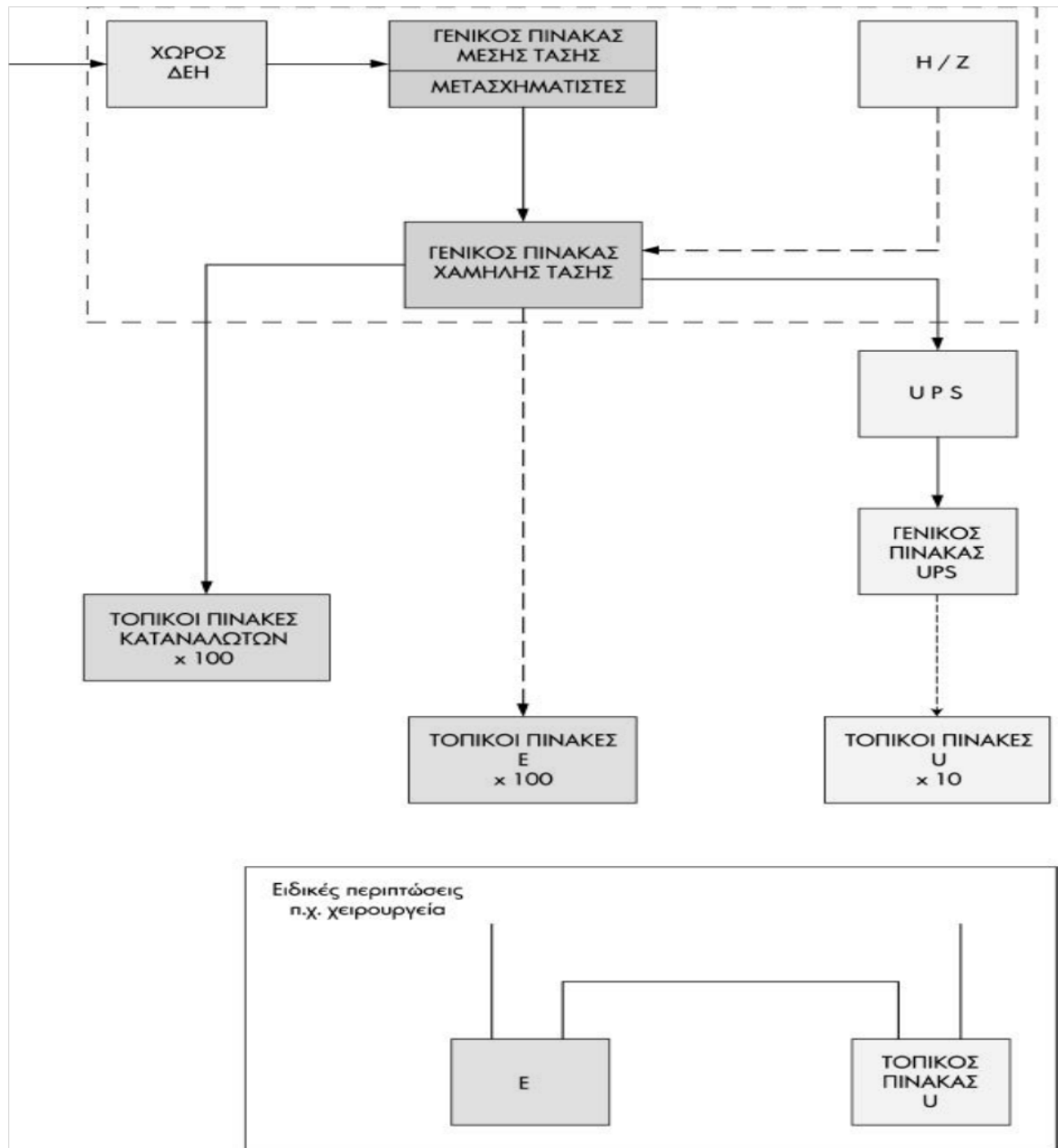
- Υποβιβασμός μέσης τάσης (ηλεκτρικός υποσταθμός με μετασχηματιστές)
- Κεντρικό γενικό πίνακα χαμηλής τάσης
- Εφεδρική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη Η/Ζ)

- Άμεση τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος (UPS)
- Γειώσεις και γειώσεις αλεξικέραυνων
- Πίνακες διανομής ρεύματος για επιμέρους τμήματα
- Τροφοδότηση ρεύματος με ειδικά όργανα ελέγχου για ειδικές εγκαταστάσεις όπως:
 - Κεντρικής θέρμανσης
 - Κλιματισμού
 - Συστήματα ασφαλείας
 - Ανελκυστήρες κ.α..

Η εξασφάλιση συνεχούς λειτουργίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, όπως τα νοσοκομεία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και επιπλέον μέτρα προστασίας, γεγονός που καθιστά τα νοσοκομεία χώρους αυξημένου ενδιαφέροντος.

Η αναγκαιότητα για αδιάλειπτη παροχή σε κάποια φορτία του νοσοκομείου (κρίσιμα φορτία) καθιστά την ύπαρξη ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (H/Z) απαραίτητη. Στα νοσοκομεία εγκαθίστανται συνήθως δυο ισχυρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (ντιζελογεννήτριες), με ισχύ από 500 kW έως μερικά MW συνήθως. Τα H/Z πρέπει να μπορούν να υπερφορτίζονται κατά 10%, επί μια ώρα ανά 12 ώρες λειτουργίας υπό πλήρες φορτίο και να αποδίδουν ισχύ με συντελεστή ισχύος 0,80 σε παραγόμενο ηλεκτρικό τριφασικό ρεύμα (φασική 230 V, πολική 400 V, 50 Hz και ουδέτερο). Τα μισά περίπου φορτία είναι φορτία ανάγκης για αυτό και είναι συνδεδεμένα έτσι ώστε σε περίπτωση πτώσης της τάσης, μέχρι την αποκατάσταση του σφάλματος να τροφοδοτούνται από το H/Z. Έτσι σε κάθε τμήμα του νοσοκομείου υπάρχουν δυο δίκτυα διανομής, ένα για τα κανονικά φορτία και ένα για τα φορτία ανάγκης.

Πρακτικά τα κρίσιμα ιατρικά φορτία τροφοδοτούνται από τη ΔΕΗ. Αν γίνει διακοπή ρεύματος, μέσα σε χρόνο μικρότερο των 0,5 s γίνεται αυτόματη μεταγωγή στο σύστημα μπαταριών του UPS, μέχρι να τροφοδοτηθεί το δίκτυο από τα H/Z. αν και τα H/Z υποστούν βλάβη, το UPS τροφοδοτεί μέχρι να εξαντληθούν οι μπαταρίες του. Σε περίπτωση βλάβης του UPS, τα κρίσιμα φορτία τροφοδοτούνται απευθείας από το δίκτυο ανάγκης.



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα ηλεκτρικής εγκατάστασης

Πηγή: « Ειδικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Α' Τεύχος», Δημητρόπουλος Βασίλειος, Βαρβατσουλάκης Μιχαήλ, Κουτουλάκος Χρήστος, Γεωργιάκης Θεόδωρος, Αθήνα 2001

Κριτήρια τροφοδοσίας

- Μέγεθος και διάταξη των επιμέρους κτιρίων
- Επεκτατική ή συγκεντρωτική κατασκευή
- Συσκευές που εγκαθίστανται στις λειτουργικές μονάδες
- Τοπική θέρμανση ή ψύξη του τρόπου θέρμανσης π.χ. ηλεκτρική θέρμανση
- Χρήση εσωτερικής κουζίνας και πλυντηρίου ή χρήση εξωτερικών εγκαταστάσεων

Τροφοδοσία ασφαλείας

Οι κανονισμοί αυτοί περιλαμβάνουν πολλές ειδικές απαιτήσεις για την αξιόπιστη τροφοδοσία του σημαντικού ηλεκτρικού εξοπλισμού που είναι απαραίτητος σε ένα νοσοκομείο. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου DIN VDE 0107, θα πρέπει να παρέχεται μια τροφοδοσία ασφαλείας, ανεξάρτητη από την κεντρική τροφοδοσία και η οποία τροφοδοτείται αυτόματα μέσα σε 15 s αν η κεντρική τροφοδοσία παρουσιάσει βλάβη:

- Φωτισμός ασφαλείας σε εξόδους κινδύνου, σε αίθουσες που χρησιμοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς, καθώς και σε περιοχές λειτουργίας και εργασίας κρίσιμες για να εξασφαλιστεί ότι το νοσοκομείο λειτουργεί κανονικά
- Ανελκυστήρες πυρόσβεσης και οι απαραίτητοι ανελκυστήρες φορείων
- Συστήματα εξαερισμού για εξαγωγή καπνού
- Συστήματα ειδοποίησης και αποστολής μηνυμάτων
- Συστήματα πυρόσβεσης
- Ιατρικός εξοπλισμός

Ιδιαίτερα:

- Λαμπτήρες χειρουργείου και παρόμοια στοιχεία φωτισμού
- Ηλεκτρικές διατάξεις σε αίθουσες κατηγορίας χρήσης 2 *(σελ. 41)
- Ηλεκτρικός εξοπλισμός για τροφοδοσία αερίων για ιατρικούς σκοπούς, συμπεριλαμβανομένου του συμπιεσμένου αέρα, τροφοδοσία κενού αέρος και αναισθητική συσκευή εξαγωγής αερίου.

Εφεδρική τροφοδοσία

Για την εξασφάλιση της συνεχούς και κανονικής λειτουργίας του νοσοκομείου θα πρέπει να υποστηρίζεται μια εφεδρική τροφοδοσία, η οποία είναι ανεξάρτητη από τη γενική τροφοδοσία.

Τροφοδοτούνται:

- Εξοπλισμός αποστείρωσης
- Εσωτερικά συστήματα, ειδικότερα τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού, τροφοδοσίας και απόρριψης
- Συστήματα ψύξης
- Εξοπλισμός τροφοδοσίας
- Άλλοι σημαντικοί ανελκυστήρες και εξοπλισμός

Ο χρόνος μεταγωγής θα πρέπει να είναι μικρότερος των 15 s, ενώ συνίσταται η παροχή μιας δεύτερης ανεξάρτητης εφεδρικής τροφοδοσίας για τα φορτία αυτά.

2.2.3 Αποφυγή κινδύνων σε περίπτωση διακοπής της τροφοδότησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα νοσοκομεία διαθέτουν τουλάχιστον δυο ανεξάρτητες ηλεκτρικές πηγές τροφοδοσίας στη διάθεσή τους (π.χ. δημόσιο δίκτυο, γεννήτριες, UPS). Έτσι ένα σφάλμα στο δημόσιο δίκτυο ή στους αγωγούς τροφοδότησης του αγείωτου δικτύου δεν οδηγεί σε διακοπή λειτουργίας των κρίσιμων ιατρικών συσκευών.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-7-710-3.13, σε ιατρικούς χώρους το δίκτυο τροφοδότησης θα πρέπει να σχεδιασθεί και να εγκατασταθεί έτσι ώστε να κάνει την αυτόματη μεταγωγή από το κύριο κύκλωμα τροφοδότησης στο εφεδρικό συνεχίζοντας έτσι την τροφοδότηση των κρίσιμων φορτίων. Ενώ σύμφωνα με την παράγραφο 556.5.2.1.1 σε ιατρικούς χώρους απαιτείται μια εναλλακτική πηγή τροφοδότησης για συσκευές ασφαλείας, η οποία σε περίπτωση διακοπής της κύριας πηγής, θα ενεργοποιείται και θα τροφοδοτεί τις ηλεκτρικές συσκευές για συγκεκριμένο χρόνο και μέσα σε συγκεκριμένο χρόνο μεταγωγής. Οι χώροι των κατηγοριών 1 και 2 έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε χρόνους μεταγωγής και διάρκειας διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδότησης.

Παραδείγματα τροφοδοτούμενου εξοπλισμού και χρόνου μεταγωγής

$\leq 0,5$ s:

- Σκιαλυτικές λυχνίες σε χειρουργεία
- Άλλος χρήσιμος φωτισμός με χρόνο διακοπής τουλάχιστον 3 ωρών

≤ 15 s:

- Φωτισμός ασφαλείας
- Ιατρικές συσκευές σε ιατρικούς χώρους κατηγορίας 2
- Εξοπλισμός της τροφοδότησης με ιατρικά αέρια
- Πυρανίχνευση

≥ 15 s:

- εξοπλισμός χρήσιμος για τη λειτουργία του νοσοκομείου:
 - αποστείρωσης
 - εστίασης
 - συστημάτων ψύξης κ.τ.λ.

Σύμφωνα με την παράγραφο 710.556.5.2.2.1 σε περίπτωση σφάλματος στην τροφοδότηση σε μια ή περισσότερες γραμμές τροφοδοσίας στον πίνακα διανομής, η τροφοδοσία ασφαλείας πρέπει να τροφοδοτεί:

- φωτισμό σε χειρουργικά τραπέζια
- άλλο κρίσιμο φωτισμό π.χ. ενδοσκόπια
- κρίσιμο ιατρικό εξοπλισμό υποστήριξης ζωής για τουλάχιστον 3 ώρες

Η τροφοδοσία πρέπει να αποκατασταθεί μέσα σε ένα διάστημα μικρότερο των 0,5 s. Η διάρκεια των 3 ωρών μπορεί να μειωθεί σε 1 ώρα, σε περίπτωση εγκατάστασης πηγής τροφοδοσίας σύμφωνα με την παράγραφο 710.556.5.2.2.2, η οποία θα τροφοδοτεί τον κρίσιμο φωτισμό.

Ο εξοπλισμός σύμφωνα με τις 710.556.7.5 και 710.556.8 πρέπει να συνδέεται μέσα σε ένα διάστημα 15 s σε παροχή ασφαλείας, ικανή να παρέχει ενέργεια για τουλάχιστον 24 ώρες, όταν η τάση μιας ή περισσότερων γραμμών στον κεντρικό πίνακα τροφοδοσίας για τις παροχές ασφαλείας πέσει κάτω από το 10% της ονομαστικής τιμής της παροχής και για διάρκεια μεγαλύτερη των 3 s. Εξοπλισμός όπως:

- οδοί διαφυγής
- φωτισμός ενδείξεων εξόδων κινδύνου
- θέσεις διατάξεων διακοπής και ελέγχου των μονάδων έκτακτης ανάγκης και για τους πίνακες κεντρικής διανομής τόσο της κεντρικής τροφοδοσίας, όσο και της παροχής ασφαλείας
- δωμάτια όπου παρέχονται βασικές/σημαντικές υπηρεσίες (όσον αφορά τη φροντίδα ασθενών)
- δωμάτια κατηγορίας 1, σε κάθε δωμάτιο πρέπει να τροφοδοτείται τουλάχιστον ένας φωτισμός από την παροχή ασφαλείας
- δωμάτια κατηγορίας 2, τουλάχιστον το 50% του φωτισμού πρέπει να τροφοδοτείται από την παροχή ασφαλείας

Το διάστημα των 24 ωρών μπορεί να μειωθεί σε 3 ώρες αν οι ιατρικές απαιτήσεις και η χρήση της τοποθεσίας, συμπεριλαμβανομένης κάθε θεραπείας, μπορούν να ολοκληρωθούν και αν το κτίριο μπορεί να εκκενωθεί μέσα σε 24 ώρες.

2.2.4 Προδιαγραφές ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων των κυρίων τμημάτων νοσοκομείων

Στα νοσοκομεία πρέπει να τηρούνται όπως έχει ήδη αναφερθεί συγκεκριμένες προδιαγραφές στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις των κύριων τμημάτων των νοσοκομείων. Τέτοιες προδιαγραφές αφορούν τον κλιματισμό, τα ιατρικά αέρια, τις κονσόλες κάθε χώρου και τα ηλεκτρικά ισχυρά και ασθενή ρεύματα.

Παρακάτω δίνονται μερικά παραδείγματα σχετικά με τα ισχυρά ρεύματα στα νοσοκομεία. Συγκεκριμένα καθορίζονται πλήρως οι παροχές από τις πηγές τροφοδοσίας σε κάθε χώρο, ώστε σε όλα τα νοσοκομεία να ακολουθείτε ο ίδιος ηλεκτρικός σχεδιασμός. Έτσι αναλυτικά έχουμε:

2.2.4.1 Ηλεκτρικές παροχές

2.2.4.1.1 Μονάδα νοσηλείας

Για την τροφοδοσία θα τοποθετούνται 2 πίνακες με παροχή ο πρώτος από ΔΕΗ και ο δεύτερος από ΔΕΗ – ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (HZ).

Ο πίνακας από ΔΕΗ-HZ θα τροφοδοτεί:

- Το φωτιστικό του άμεσου φωτισμού και 1 ρευματοδότη σε κάθε κονσόλα κλίνης σε θαλάμους κλινών
- Το 30 % των φωτιστικών οροφής σε διαδρόμους, αποθήκη, χώρο ακαθάρτων και καθιστικό με ελάχιστο αριθμό φωτιστικών σε χώρο 1.
- Τα επίτοιχα φωτιστικά πάνω από τους καθρέφτες των νιπτήρων σε WC
- Το 50% των φωτιστικών οροφής σε καθένα από τους υπόλοιπους χώρους, με ελάχιστο αριθμό φωτιστικών σε χώρο 1.
- Το 50% των ρευματοδοτών:
 - Της κλίνης και της θέσης γραφείου σε εξεταστήριο
 - Κάθε θέσης γραφείου σε γραφεία.
 - Κάθε θέσης εργασίας σε πάγκους εργασίας.
 - Σε καθένα από τους υπόλοιπους χώρους με ελάχιστο αριθμό ρευματοδοτών σε χώρο 1.
- Τους ρευματοδότες των FCU,TV και ψυγείων

Οι καταναλώσεις θα τροφοδοτούνται μέσω διακοπών διαρροής κατά ομάδες έως 6 παροχών (ανάλογα με τα φορτία κάθε παροχής).

Για τις γραμμές σε φωτιστικά θα προβλέπονται ιδιαίτεροι διακόπτες διαρροής.

Οι ρευματοδότες των FCU θα τροφοδοτούνται από ιδιαίτερες γραμμές.

Για υπολογισμούς φορτίων πινάκων κίνησης θα λαμβάνεται συντελεστής ταυτοχρονισμού φορτίων 0,6 και ισχύς ρευματοδότη γενικής χρήσης 0,2 kW.

2.2.4.1.2 Μονάδα εντατικής θεραπείας (ΜΕΘ) ή Μονάδα Εγκυμάτων (ΜΕ) ή Μονάδα αυξημένης Φροντίδας (ΜΑΦ) ή Μονάδα Πρόωρων (ΜΠ)

Για την τροφοδότηση των φορτίων θα τοποθετούνται 2 πίνακες με παροχή, ο πρώτος από ΔΕΗ- ΗΖ και ο δεύτερος από σύστημα αδιάλειπτης παροχής (UPS).

Ο πίνακας από UPS θα τροφοδοτεί:

- Το 30% των φωτιστικών οροφής σε κάθε χώρο κλινών (θερμοκοιτίδων).
- Το 50% των ρευματοδοτών:
 - Σε κάθε κονσόλα κλίνης (θερμοκοιτίδα)
 - Στην εποπτεία ασθενών (πρόωρων)

Γενικά οι καταναλώσεις θα τροφοδοτούνται μέσω διακοπών διαρροής κατά ομάδες έως 6 παροχών ανάλογα με τα φορτία κάθε παροχής.

Ειδικά όμως θα τροφοδοτούνται μέσω μετασχηματιστή (Μ/Σ) 230V/230V:

- Οι ρευματοδότες των χώρων κλινών (θερμοκοιτίδων)
 - Στις κονσόλες κλινών (θερμοκοιτίδα)
 - Στην εποπτεία ασθενών (πρόωρων)
- Τα φωτιστικά στις κονσόλες των κλινών.

Για τις γραμμές σε φωτιστικά θα προβλέπονται ιδιαίτεροι διακόπτες διαρροής.

Θα τροφοδοτούνται από ιδιαίτερη γραμμή:

- Κάθε 4 ρευματοδότες κονσόλας κλίνης (θερμοκοιτίδας)

- Οι ρευματοδότες της εποπτείας ασθενών χώρου κλινών (θερμοκοιτίδων) που θα τροφοδοτούνται από πίνακα από:
 - ΔΕΗ-HZ
 - UPS

Ο πίνακας ενδείξεων της κάθε συσκευής ελέγχου μόνωσης Μ/Σ 230V/230V, θα τοποθετείται στο χώρο που τροφοδοτεί ο Μ/Σ.

Το UPS θα έχει δυνατότητα λειτουργίας επί μιάμιση ώρα (υπό πλήρες φορτίο).

Για υπολογισμό φορτίων πινάκων κίνησης θα λαμβάνεται συντελεστής ταυτοχρονισμού φορτίων 0.6 και ισχύς:

- Ρευματοδότη:
 - Κονσόλας κλίνης 0.15 kW
 - Κονσόλας θερμοκοιτίδων 0.3 kW
 - Εποπτείας ασθενών (προώρων) χώρου κλινών (θερμοκοιτίδων) 0.3 kW
 - Κλιβάνου 3 kW
 - Γενικής χρήσης 0.2 kW
- Συσκευή ελέγχου μόνωσης 0.2 kW

2.2.4.1.3 Χειρουργεία

Για την τροφοδότηση των φορτίων θα προβλέπονται πίνακες με παροχή από ΔΕΗ-HZ και από UPS.

Θα τοποθετούνται πίνακες:

- Από ΔΕΗ-HZ:
 - 1 για κάθε αίθουσα επεμβάσεων και τους βοηθητικούς χώρους της (εκτός ανάνηψης για την περίπτωση που στους βοηθητικούς χώρους περιλαμβάνεται και η ανάνηψη)
 - 1 για την ανάνηψη
 - 1 για τους υπόλοιπους χώρους
- Από UPS:
 - 1 για κάθε αίθουσα επεμβάσεων που θα τροφοδοτεί:
 - Τους ρευματοδότες των στηλών οροφής
 - Τη σκιαλιτική λυχνία
 - 1 για την ανάνηψη που θα τροφοδοτεί:
 - Το 30% των φωτιστικών οροφής
 - Το 50% των ρευματοδοτών:
 - Σε κάθε κονσόλα κλίνης
 - Στην εποπτεία ασθενών

Γενικά οι καταναλώσεις θα τροφοδοτούνται μέσω διακοπών διαρροής κατά ομάδες έως 6 παροχών (ανάλογα με τα φορτία κάθε παροχής).

Ειδικά όμως θα τροφοδοτούνται μέσω Μ/Σ 230V/230V:

- Οι ρευματοδότες:
 - Των αιθουσών επεμβάσεων (περιλαμβάνονται και οι ρευματοδότες στις στήλες οροφής), εκτός του τριφασικού
 - Των χώρων προνάρκωσης
- Οι σκιαλιτικές λυχνίες

- Οι ρευματοδότες ανάληψης:
 - Στις κονσόλες των κλινών
 - Στην εποπτεία ασθενών

Για τις γραμμές σε φωτιστικά προβλέπονται ιδιαίτεροι διακόπτες διαρροής.

Θα τροφοδοτούνται από ιδιαίτερη γραμμή:

- Κάθε 4 ρευματοδότες:
 - Στήλης οροφής σ αίθουσα επεμβάσεων
 - Κονσόλα κλίνης ανάληψης
- Οι ρευματοδότες της εποπτείας ασθενών ανάληψης που θα τροφοδοτούνται από τον πίνακα από:
 - ΔΕΗ-HZ
 - UPS

Ο πίνακας ενδείξεων τα κάθε συσκευής ελέγχου μόνωσης Μ/Σ 230V/230V, θα τοποθετείται στο χώρο που θα τροφοδοτεί ο Μ/Σ.

Το UPS θα έχει τη δυνατότητα λειτουργίας επί μιάμιση ώρα (υπό πλήρες φορτίο).

Για υπολογισμούς φορτίων πινάκων κίνησης θα λαμβάνεται συντελεστής ταυτοχρονισμού φορτίων 0.6 και ισχύς:

- Ρευματοδότη:
 - Τριφασικού 2.5 kW
 - Αίθουσα επεμβάσεων 0.4 kW
 - Κονσόλα κλίνης ανάληψης 0.3 kW
 - Εποπτείας ασθενών ανάληψης 0.3 kW
 - Γενικής χρήσης 0.2 kW

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΠΡΟΤΥΠΑ (STANDARDS)

3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Στους ιατρικούς χώρους, όπου ο ασθενής μπορεί να υποβάλλεται σε χρήση ιατρικών ηλεκτρικών συσκευών είναι απαραίτητη η διασφάλιση της προστασίας του προσωπικού, αλλά κυρίως των ασθενών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ασφάλεια μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ασφάλειας της εγκατάστασης και της σωστής λειτουργίας και συντήρησης των ιατρικών συσκευών που συνδέονται σ' αυτή. Η χρήση των συσκευών στους ασθενείς που χρειάζονται εντατική παρακολούθηση και φροντίδα καθιστά απαραίτητη την αξιοπιστία και ασφάλεια των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, ώστε να βελτιώνεται η ασφάλεια και η συνοχή της παροχής.

Για την εξασφάλιση της προστασίας των ασθενών και του ιατρικού προσωπικού έχουν δημιουργηθεί κάποιοι κανόνες (πρότυπα), τα οποία θέτουν τα ασφαλή όρια λειτουργίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συσκευών.

Ένα τέτοιο πρότυπο που θέτει τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι το IEC 60364-7-710, ενώ όσον αφορά τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό το πρότυπο IEC 60601. Βάσει αυτών των προτύπων κατασκευάζονται και ελέγχονται όσο το δυνατόν καλύτερα.

3.1.1 Παραδείγματα σχετικών προτύπων

Τέτοια πρότυπα πιο συγκεκριμένα είναι:

IEC 60364-7-710: 2002 Electrical installations of buildings – Part 7-710: Requirements for special installations or locations – Medical locations

IEC 60364-4-41: 2005, Electrical installations of buildings – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock

IEC 60364-5-55: 2009, Electrical installations of buildings – Part 5-55: Selection and erection of electrical equipment – Other equipment

IEC 60601-1: 2005, Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance

IEC 60601-1-1: 2000, Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for safety – Collateral standard: Safety requirements for medical electrical systems

IEC 60617-11 (Data Base), Graphical symbols for diagrams – Part 11: Architectural and topographical installation plans and diagrams

IEC 61082-1:2006, Preparation of documents used in electrotechnology – Part 1: General requirements

IEC 61557-8:2007, Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000 V a.c. and 1500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems

IEC 61558-2-15:1999, Safety of power transformers, power supply units and similar - Part 2-15: Particular requirements for isolating transformers for the supply of medical locations

Εν γένει, η σχετική με τα ηλεκτρικά ιατρικά μηχανήματα σειρά προτύπων είναι η IEC 60601.

3.1.2 Πρότυπο IEC 60364-7-710

3.1.2.1 Ορισμοί σύμφωνα με το IEC 60364-7-710

Το IEC 60364-7-710 πρότυπο εφαρμόζεται σε νοσοκομεία , κλινικές, ιατρικά και οδοντιατρικά χειρουργεία, χώρους φυσικοθεραπείας, κέντρα ομορφιάς και κτηνιατρικά χειρουργεία. Επίσης, σε ιατρικούς χώρους που μπορεί να βρίσκονται μη ιατρικούς χώρους, π.χ. σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, γραφεία ή κατοικίες.

Σύμφωνα με αυτό δίνονται κάποιοι ορισμοί που εξυπηρετούν τους σκοπούς αυτής της εργασίας. :

Ιατρικός χώρος:

Χώρος που προορίζεται για διάγνωση, θεραπεία, παρακολούθηση και φροντίδα ασθενών

Οι ιατρικοί χώροι είναι ένα περιβάλλον με πολύ μεγαλύτερο ηλεκτρικό κίνδυνο από τους κανονικούς χώρους, επειδή οι ασθενείς μπορεί να βρίσκονται σε συνθήκες αυξημένης ευαισθησίας, ενώ πολύ συχνή είναι και η χρήση ηλεκτρομηχανικών συσκευών. Γι' αυτό το λόγο, πρέπει να υιοθετούνται συγκεκριμένες τεχνικές για τα ηλεκτρικά συστήματα, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη ασφάλεια για τους ασθενείς.

Τύπος χώρου	Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση επαφής
Ιατρικός χώρος	25V
Κανονικά δωμάτια	50 V

Πίνακας 3.1

Ασθενής

Άτομο που υποβάλλεται σε ιατρική ή οδοντιατρική διάγνωση ή θεραπεία. Ασθενής σύμφωνα με το IEC 60364-7-710 θεωρείται και άτομο που υπόκειται σε αισθητική εγχείρηση.

Ιατρικός ηλεκτρικός εξοπλισμός:

Ηλεκτρικός εξοπλισμός με όχι παραπάνω από μια σύνδεση σε παροχή ρεύματος, για τη διάγνωση, θεραπεία, και παρακολούθηση του ασθενή κάτω από ιατρική επίβλεψη, όπως επίσης διατηρεί φυσική ή ηλεκτρική επαφή με τον ασθενή και μπορεί να μεταφέρει ή ανιχνεύει ενέργεια από και προς τον ασθενή.

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα που ορίζονται από τον κατασκευαστή ως απαραίτητα για τη φυσιολογική χρήση του εξοπλισμού.

Ιατρικό ηλεκτρικό σύστημα

Συνδυασμός στοιχείων εξοπλισμού, τουλάχιστον ένα από τα οποία είναι στοιχείο ιατρικού ηλεκτρικού εξοπλισμού λειτουργικά συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός φορητού πολύπριζου. Το σύστημα περιλαμβάνει όσα στοιχεία χρειάζεται για να λειτουργεί και καθορίζονται από τον κατασκευαστή.

Εφαρμοζόμενα μέρη / Πρόσθετο μέλος

Ένα κομμάτι του ιατρικού ηλεκτρικού εξοπλισμού που υπό κανονικές συνθήκες

- Έρχεται αναγκαστικά σε φυσική επαφή με τον ασθενή για να λειτουργήσει η συσκευή
- Μπορεί να έρθει σε επαφή με τον ασθενή
- Πρέπει να έρθει σε επαφή με τον ασθενή

Το εφαρμοζόμενο μέρος μπορεί να είναι ένα ηλεκτρόδιο εξωτερικά ή εσωτερικά εφαρμοζόμενο στο σώμα ή μια επιφάνεια της συσκευής, που για λειτουργικούς λόγους, πρέπει να έρθει σε επαφή με τον ασθενή.

Όσον αφορά τον τύπο του εφαρμοζόμενου μέρους, οι ιατρικές ηλεκτρικές συσκευές χωρίζονται σε συσκευές με μέρη τύπου CF, BF, B (θα αναλυθεί παρακάτω) ταξινομημένες κατά φθίνουσα σειρά ασφαλείας.

Ξένο αγώγιμο μέρος

Ένα αγώγιμο μέρος που δεν είναι μέρος του ηλεκτρικού συστήματος, το οποίο μπορεί να εισάγει ένα δυναμικό, γενικά το δυναμικό της γης.

Παραδείγματα από ξένα αγώγιμα μέρη περιλαμβάνουν μεταλλικούς αγωγούς για το φυσικό αέριο, το νερό, για θέρμανση και για ιατρικά αέρια, το χειρουργικό τραπέζι, αγωγούς κλιματισμού και τα μεταλλικά στοιχεία του κυκλώματος όπως μεταλλικά κουφώματα που εκτείνονται εκτός των εγκαταστάσεων ή οι δομές που υποστηρίζουν τις γυψοσανίδες των τοίχων. Τα μεταλλικά στοιχεία που υπάρχουν στις εγκαταστάσεις θεωρούνται ως ξένα αγώγιμα μέρη όταν παρουσιάζουν αντίσταση προς τη γη:

$R < 0.5 \text{ M}\Omega$ σε ιατρικούς χώρους κατηγορίας 2 όπου υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας (μικροπληξία) (για παράδειγμα τα χειρουργεία)

$R < 200 \Omega$ σε κατηγορίας 1 και κατηγορίας 2 ιατρικούς χώρους όπου δεν υπάρχει κίνδυνος μικροπληξίας, αλλά μόνο μακροπληξίας

$R < 1000 \Omega$ σε κανονικά δωμάτια

Περιβάλλον ασθενούς:

Κάθε μέρος όπου μπορεί να προκύψει ακούσια ή εκούσια επαφή μεταξύ του ασθενούς και κάποιου μέρους του συστήματος ή ασθενούς και άλλων ατόμων σε επαφή σε στοιχεία του συστήματος

Κύριος πίνακας διανομής

Είναι ο κεντρικός πίνακας του κτιρίου, που ικανοποιεί όλες τις λειτουργίες της κεντρικής ηλεκτρικής διανομής του κτιρίου (ή συγκροτήματος κτιρίων) , όπου μετράται η πτώση τάσης για το χειρισμό των λειτουργιών ασφαλείας.

Γενικά: Είναι ο πίνακας που τροφοδοτείται από τον κεντρικό πίνακα χαμηλής τάσης, ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτεί τους επιμέρους πίνακες.

Ιατρικό IT σύστημα:

Ηλεκτρικό απομονωμένο σύστημα το οποίο έχει ειδικές απαιτήσεις για ιατρικές εφαρμογές.

Ηλεκτρικό σύστημα με σκοπό την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε ιατρικούς χώρους της ομάδας 2.

Γενικά: Το IT σύστημα αποτελείται από ένα μετασχηματιστή απομόνωσης και μια συσκευή για μόνιμη παρακολούθηση της αντίστασης μόνωσης της γης.

Ο μετασχηματιστής απομόνωσης παρέχει δυο βασικές λειτουργίες:

- Τη διασφάλιση της συνέχειας της λειτουργίας σε περίπτωση ενός σφάλματος
- Τη μείωση της τάσης την οποία μπορεί να υποστεί ο ασθενής μέσα στα όρια ασφαλείας, άρα και το ρεύμα στο οποίο μπορεί να εκτεθεί ο ασθενής

Μια δεύτερη έμμεση επαφή θα ισοδυναμεί με βραχυκύκλωμα, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση των συσκευών προστασίας και ένα σοβαρό κίνδυνο για τον ασθενή. Γι' αυτό μια συσκευή παρακολούθησης της μόνωσης πρέπει να συνδέεται με το μετασχηματιστή απομόνωσης. Αυτή η συσκευή θα ανιχνεύει όποια τυχόν μείωση της μόνωσης και θα γνωστοποιεί το πρώτο σφάλμα.

Άλλοι χρήσιμοι όροι που χρησιμοποιούνται και πρέπει να οριστούν είναι:

Ισοδυναμικός κόμβος

Η λειτουργία της ισοδυναμικής μπάρας σύνδεσης είναι η γαλβανική διασύνδεση όλων των αγωγίων και εξωτερικών αγωγίων μερών που μπορεί να εισέλθουν στο περιβάλλον του ασθενή. Με αυτό τον τρόπο, αν υπάρξει σφάλμα σε ένα αγωγίμο μέρος, όλα τα αγωγίμα μέρη θα έχουν το ίδιο δυναμικό. Έτσι ο ασθενής που μπορεί να βρίσκεται σε επαφή με αυτά δε βρίσκεται σε κίνδυνο. Ο κόμβος μπορεί να υλοποιηθεί με μια τερματική ή με μια χάλκινη μπάρα με πολλαπλές οπές (μια για κάθε συνδεδεμένο αγωγό) και βρίσκεται στο εσωτερικό του τοίχου ή κατευθείαν έξω από τη εγκατάσταση. Οι γενικοί κανόνες ισχύουν στους ιατρικούς

χώρους της ομάδας 0, γι' αυτό και δεν απαιτείται ισοδυναμική μπάρα εκτός από τα μπάνια και τους λουτήρες (ντούζ).

Στοιχεία που συνδέονται στον κόμβο:

- Αγωγή και ξένα αγωγή μέρη του περιβάλλοντος του ασθενή ή που μπορούν να εισαχθούν κατά τη χρήση τους, ακόμα και αυτά που είναι εγκατεστημένα σε ύψος πάνω από 2.5 m, όπως τα αγωγή μέρη μιας σκιαλυτικής λυχνίας
- Οι αγωγοί προστασίας μιας συσκευής
- Οι επαφές γείωσης από όλους τους ρευματοδότες της εγκατάστασης , οι οποίες μπορεί να παρέχουν ισχύ σε συσκευές που μπορεί να εισέλθουν στο περιβάλλον
- Τα σιδερένια στοιχεία του οπλισμένου σκυροδέματος των εγκαταστάσεων, όταν αυτό είναι δυνατό
- Κάθε μεταλλικό πλέγμα που τοποθετείται ανάμεσα στα τυλίγματα του ιατρικού μετασχηματιστή απομόνωσης
- Όποιο μεταλλικό πλέγμα που μπορεί να μειώσει τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία
- Οποιοδήποτε αγωγή πλέγμα βρίσκεται κάτω από το δάπεδο
- Μη ηλεκτρικά και σταθερά χειρουργικά τραπέζια εκτός κι αν αυτά δεν πρόκειται να είναι μονωμένα από τη γείωση

Στοιχεία που δε συνδέονται:

- Μεταλλικά έπιπλα
- Μεταλλικά μέρη των επίπλων

Συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση

Το IEC 60364-7-710 προβλέπει την εφαρμογή των κύριων ισοδυναμικών συνδέσεων στη βάση του κάθε κτιρίου, προκειμένου να διασφαλιστεί η ισοδυναμικότητα όλων των εξωτερικών αγωγίων μέρων που εισέρχονται στο κτίριο και τις συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις σε χώρους με αυξημένο ηλεκτρικό κίνδυνο. Τέτοιοι χώροι ανήκουν στις ομάδες 1 και 2, επειδή οι διαφορές δυναμικού μεταξύ των αγωγίων μερών και των εξωτερικών αγωγίων μέρων και ως εκ τούτου, τα ρεύματα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν έναν ασθενή σε επαφή με τέτοια μέρη, περιορίζονται στο μέγιστο με τις πρόσθετες ισοδυναμικές συνδέσεις. Κάθε χώρος για ιατρική χρήση πρέπει να είναι εξοπλισμένος με τη δική του μπάρα ισοδυναμικής σύνδεσης, με την οποία συνδέονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές και όλα τα μεταλλικά μέρη που μπορούν να κλείσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα γείωσης, έτσι ώστε σε περίπτωση έμμεσης επαφής με μια συσκευή, όλα τα αγωγή μέρη και τα ξένα αγωγή μέρη να έχουν σχεδόν το ίδιο δυναμικό ακαριαία. Για τους χώρους της ομάδας 2, η μπάρα ισοδυναμικής σύνδεσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0.2 Ω.

Ταξινόμηση ιατρικών εφαρμογών

Οι ιατρικές εφαρμογές ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το αν:

- Οι ιατρικές εφαρμογές είναι ζωτικής σημασίας για τον ασθενή
- Χρησιμοποιούνται ιατρικά ηλεκτρικά όργανα

- Μας ενδιαφέρει μια απροειδοποίητη διακοπή της παροχής ρεύματος
- Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των χώρων κατηγορίας 1 για εντάσεις ρεύματος έως 32 A, πρέπει να χρησιμοποιούνται διακόπτες διαρροής της έντασης Δ.Δ.Ε, RCDs < 30 mA (πρόσθετη προστασία).
- Να λαμβάνεται μέριμνα εξασφάλισης, σε περίπτωση λειτουργίας πολλών ιατρικών οργάνων συνδεδεμένων στο ίδιο ηλεκτρικό κύκλωμα, να μην συμβαίνει ανεπιθύμητη πτώση στον Δ.Δ.Ε (RCDs).
- Στις ιατρικές εφαρμογές των κατηγοριών 1 και 2, που απαιτούνται Δ.Δ.Ε, (RCDs), μόνο οι τύποι A και B θα επιλέγονται, ανάλογα με το μέγιστο ρεύμα διαρροής που επιτρέπεται να διέλθει στο κύκλωμα.

Προτείνεται στα ηλεκτρικά δίκτυα TN-S να ελέγχεται το επίπεδο μόνωσής τους σε όλα τα ενεργά στοιχεία τους.

3.1.2.2 Κατηγοριοποίηση χώρων βάσει του Προτύπου IEC 60364-7-710

Σύμφωνα με το IEC 60364-7-710 οι ιατρικοί χώροι κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Κατηγορία 0:

Ιατρικός χώρος που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν εφαρμοζόμενα μέρη (πρόσθετα μέλη)

Σε αυτούς τους χώρους δε χρειάζεται να λαμβάνονται επιπλέον μέτρα από τις γενικές προδιαγραφές.

Για παράδειγμα εξωτερικά ιατρεία και αίθουσες μασάζ όπου δεν υπάρχουν ηλεκτρικές συσκευές.

Κατηγορία 1:

Ιατρικός χώρος που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν εφαρμοζόμενα μέρη εξωτερικά ή διεισδυτικά (υποδόρια) σε κάποιο μέρος του σώματος, εκτός της καρδιακής χώρας.

Κατηγορία 2:

Ιατρικοί χώροι που χρησιμοποιούνται εφαρμοζόμενα μέρη σε εφαρμογές όπως ενδοκαρδιακές εφαρμογές, χειρουργεία και ζωτικής σημασίας θεραπείες, όπου ασυνέχεια της παροχής μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή.

Για παράδειγμα χώροι που χρησιμοποιούνται καθετήρες, αίθουσες γύψου, αίθουσες προετοιμασίας χειρουργείου.

Σημείωση: Στους χώρους κατηγορίας 1 και 2, λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας έναντι άμεσης και έμμεσης επαφής με ενεργούς αγωγούς του συστήματος.

Άμεση επαφή

Με τον όρο άμεση επαφή, έχουμε όταν ένα άτομο ακουμπά έναν ενεργό αγωγό του ηλεκτρικού συστήματος.

Έμμεση επαφή

Έμμεση επαφή έχουμε όταν ένα άτομο ακουμπά ένα αγώγιμο κομμάτι (μέταλλο) που υπό κανονικές συνθήκες δε διαρρέεται από ρεύμα, αλλά έχει γίνει ενεργό εξαιτίας ενός σφάλματος στην ηλεκτρική μόνωση.

Παραδείγματα ιατρικών χώρων ταξινομημένων ανάλογα με την κατηγορία που ανήκουν εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Ιατρικές εφαρμογές	Ταξινόμηση χώρου		
	0	1	2
Massage room	✓	✓	
Κλίνες ασθενών		✓	
Delivery room		✓	
ECG,EEG,EHG		✓	
Ενδοσκοπήσεις		✓	
Εξετάσεις και θεραπεία		✓	
Ουρολογία		✓	
Ακτινολογική διάγνωση/θεραπεία		✓	
Υδροθεραπεία		✓	
Φυσιοθεραπεία		✓	
Αναισθησία			✓
Χειρουργικές επεμβάσεις			✓
Προετοιμασία χειρουργικών επεμβάσεων			✓
Ανάληψη		✓	✓
Αίθουσα γύψου		✓	✓
Μονάδα Εντατικής Θεραπείας		✓	✓
Αίθουσα καρδιακών καθετηριασμών			✓
Αίθουσες αιμοδιάλυσης		✓	
Αγγειογραφικές επεμβάσεις			✓

Μαγνητικός τομογράφος(MRI)		✓	
Πυρηνική ιατρική		✓	
Μονάδα πρόωρων βρεφών			✓

Πίνακας 3.2

Πηγή: IEC 60364-7-710 Annex B

Κάθε ιατρικός χώρος έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού ανάλογα με την κατηγορία που ανήκει πρέπει να δίνεται και αντίστοιχη σημασία στην προστασία του ασθενή από έναν πιθανό κίνδυνο.

Έτσι σε κάθε χώρο εξετάζεται αν μια διακοπή της παροχής μπορεί να είναι αποδεκτή ή όχι, αν η ζωή του ασθενή θα τεθεί σε κίνδυνο, ανάλογα με τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών που βρίσκονται στον κάθε χώρο και ποια μέτρα προστασίας θα πρέπει να λαμβάνονται σε κάθε χώρο.

Μια συνοπτική παρουσίαση γίνεται στους παρακάτω πίνακες:

	Εγκυμονεί κινδύνους για τον ασθενή;			Μπορεί η εξέταση/θεραπεία να επαναληφθεί ή να διακοπεί;	
Ταξινόμηση χώρων	Διακοπή τροφοδοσίας	βραχυκύκλωμα	Βλάβη παροχής	βραχυκύκλωμα	Βλάβη παροχής
Κατηγορία 0		όχι	όχι	ναι	Ναι
Κατηγορία 1		όχι	όχι	ναι	Ναι
Κατηγορία 2		ναι	όχι	όχι	Ναι

Πίνακας 3.3

Ταξινόμηση χώρων	Ηλεκτρική διακοπή	Χώροι εξέτασης και θεραπείας	Ηλεκτρικά όργανα	Μέτρα προστασίας	Παραδείγματα
Κατηγορία 0	Σε βραχυκύκλωμα Βλάβη κύριας παροχής	Διακοπή/επανάληψη μπορεί να είναι ανεκτή	Δε χρησιμοποιούνται	Πρότυπο: IEC 60364-4-410 σύστημα εξίσωσης δυναμικού Εφεδρικός φωτισμός ασφαλείας (SV)	Χώροι: -Γραφείων -Συσκέψεων -massage
Κατηγορία 1	Βραχυκύκλωμα ή βλάβη γείωσης Βλάβη κύριας παροχής	Διακοπή/επανάληψη μπορεί να είναι επιτρεπτή	Εξωτερικά Εσωτερικά: οπουδήποτε εκτός της καρδιάς	Επιπλέον: Διπλή μόνωση SELV-PELV-FELV ΔΔΕ (RCD) IT σύστημα με έλεγχο μόνωσης Σύστημα εξίσωσης δυναμικού Εφεδρικός φωτισμός ασφαλείας (SV)	Φυσιοθεραπείας Υδροθεραπείας Dialysis rooms
Κατηγορία 2	Ανεπίτρεπτη σε: πρώτο σφάλμα ως προς τη γη βλάβη της κύριας παροχής	Διακοπή/επανάληψη δεν είναι επιτρεπτή	χρήση ηλ/κων οργάνων για ενδοκαρδιακές επεμβάσεις	Επιπλέον: σύστημα μονωμένης ηλ/κής ισχύος με έλεγχο της μόνωσης για κυκλώματα παροχής οργάνων που υποστηρίζουν τη ζωή του ασθενή Φωτισμός/ρευματοδότες: αδιάλειπτη λειτουργία	Χειρουργικές αίθουσες Μονάδα εντατικής θεραπείας Χώροι επέμβασης με καθετήρα στην καρδιά

Πίνακας 3.4

ΚΕΦΑΚΑΙΟ 4^Ο : ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ

4.1 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ

Τα μεταλλικά μέρη και το περίβλημα των ηλεκτρικών συσκευών και εγκαταστάσεων δεν εμφανίζουν πτώση τάσης υπό κανονικές συνθήκες. Σε περίπτωση όμως που καταστραφεί η μόνωση τους, αυτά θα εμφανίσουν μια διαφορά δυναμικού με τη γη. Αυτή η διαφορά δυναμικού αποτελεί κίνδυνο, καθώς αυξάνει την πιθανότητα πρόκλησης ηλεκτροπληξίας.

Καταστροφή της μόνωσης των αγωγών προκαλεί εμφάνιση τάσης σε σημεία της εγκατάστασης, όπου δεν έπρεπε να υπάρχει. Τέτοιες τάσεις είναι αυτές που εμφανίζονται στα μεταλλικά περιβλήματα ηλεκτρικών συσκευών, οι οποίες είναι επικίνδυνες κατά την επαφή και υπεύθυνες για ηλεκτροπληξία. Αυτές οι τάσεις ονομάζονται τάσεις επαφής.

Ως τυχαίες τάσεις επαφής ονομάζονται οι τάσεις που με τις οποίες μπορεί να έρθουμε σε επαφή από απροσεξία, είτε με επαφή με αγωγούς που πρέπει να βρίσκονται υπό τάση ή έχει καταστραφεί η μόνωσή τους (ο αγωγός γείωσης δεν προστατεύει από τις τυχαίες τάσεις επαφής).

Η σχεδίαση της προστασίας αποσκοπεί στο να εξασφαλίσει ότι δε θα υπάρξουν επικίνδυνες τάσεις επαφής για τον άνθρωπο και ότι τα ρεύματα στα διάφορα στοιχεία της ηλεκτρικής εγκατάστασης θα κρατηθούν μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

Οι μέθοδοι προστασίας που χρησιμοποιούμε με στόχο την πρόληψη της ηλεκτροπληξίας διαφέρουν ανάλογα με το αν το ανθρώπινο σώμα έρχεται σε **άμεση** ή **έμμεση επαφή** με τη συσκευή ή την εγκατάσταση. Έτσι τα μέτρα προστασίας που παίρνουμε χωρίζονται σε δύο πιο γενικές κατηγορίες:

4.1.1 Άμεση επαφή ανθρώπου φάσης

Μέτρα που χρησιμοποιούνται ώστε να μην προκύψει ηλεκτροπληξία είναι τα εξής:

Πλήρης προστασία:

- Κάλυμμα
- Μόνωση
- Περίβλημα: το υπό προστασία μέρος του κυκλώματος περιφράσσεται ώστε να μην μπορεί κανείς να έρθει σε επαφή με τα υπό τάση στοιχεία

Μερική προστασία:

- Απόσταση
- Εμπόδια
- Χωροθέτηση σε απρόσιτη θέση

Στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί επαφή με το ανθρώπινο σώμα, το φαινόμενο της ηλεκτροπληξίας μπορεί να αποφευχθεί με τη **διάταξη διαφορικού ρεύματος (RCD)**, η οποία χρησιμοποιείται μόνο σαν πρόσθετο μέτρο προστασίας και δεν αντικαθιστά κάποιο από τα παραπάνω.

Σημείωση: Σε ιατρικούς χώρους η χρήση της απόστασης και των εμποδίων δεν επιτρέπεται.

4.1.2 Έμμεση επαφή

Η έμμεση επαφή μπορεί να προκύψει είτε λόγω καταστροφής της μόνωσης είτε λόγω σφάλματος στην εγκατάσταση, όπου προκύπτει διαρροή ρεύματος προς στο έδαφος.

Διακρίνονται 3 τάσεις σε περίπτωση σφάλματος:

- Τάση σφάλματος: τάση του μεταλλικού περιβλήματος μιας συσκευής ως προς το σημείο αναφοράς δυναμικού
- Τάση επαφής: τάση που εφαρμόζεται στο ανθρώπινο σώμα
- Βηματική τάση: τάση μεταξύ των ποδιών του ανθρώπινου σώματος για βήμα ενός μέτρου

Για να αποφευχθεί πλήρως το φαινόμενο της ηλεκτροπληξίας σε αυτή την περίπτωση εφαρμόζουμε τις παρακάτω μεθόδους:

- Αυτόματη διακοπή τροφοδοσίας
- Ισοδυναμικές Συνδέσεις
- Διπλή Μόνωση
- Μη αγώγιμοι χώροι
- Αγείωτες Ισοδυναμικές Συνδέσεις
- Ηλεκτρικός Διαχωρισμός

Αναλυτικότερα:

Για να μη συμβεί αλλά και αν συμβεί έμμεση επαφή:

4.1.2.1 Με αγωγό γείωσης

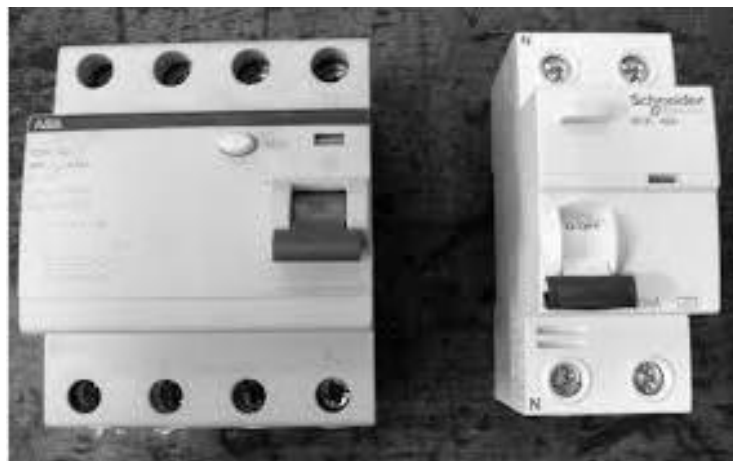
4.1.2.1.1 Αυτόματη διακοπή τροφοδοσίας

- Προστασία με άμεση γείωση (TT*):
Αγώγιμη σύνδεση μεταλλικών μερών μιας συσκευής με το ηλεκτρόδιο γείωσης μέσω του αγωγού γείωσης
- Προστασία με γείωση μέσω του ουδέτερου ή ουδετέρωση (TN*):
Αγώγιμη σύνδεση των μεταλλικών μερών των συσκευών με τον ουδέτερο αγωγό του δικτύου τροφοδοσίας της εγκατάστασης
- Προστασία μέσω διακοπών διαφυγής (τάσεως ή εντάσεως):
Επιτυγχάνεται η απόξεση του τμήματος της εγκατάστασης στο οποίο παρουσιάζεται τάση επαφής μεγαλύτερη από 50 V, σε πολύ μικρό χρόνο, ενώ η αντίσταση γείωσης μπορεί να είναι πολύ υψηλή.
Σήμερα στην πράξη δε χρησιμοποιούνται διακόπτες διαφυγής τάσης επειδή δεν είναι αξιόπιστοι και χρησιμοποιούνται σπάνια, αλλά μόνο διακόπτες διαφυγής έντασης, οι οποίοι ονομάζονται ρελέ προστασίας ή διαφυγής ή

αντιηλεκτροπληξιακοί διακόπτες ή αυτόματοι διαφορικοί διακόπτες. Οι διακόπτες διαφυγής τάσης διακόπτη αποκλείει τη διατήρηση της τάσης μεταξύ του μεταλλικού περιβλήματος των συσκευών ή μηχανημάτων με τη γη, ενώ διακόπτει την τροφοδοσία σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. 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). Οι διακόπτες διαφυγής έντασης χρησιμοποιούνται συνήθως παράλληλα με την ουδετέρωση ή με την άμεση γείωση. Κατασκευάζονται ως διπολικοί (για μονοφασικές παροχές) ή τετραπολικοί (για τριφασικές παροχές) και για ονομαστικά ρεύματα φορτίου 25, 40, 63, 80, 100 A, με πιο εφαρμοσμένο αυτόν τον 40 A.

Ο Διακόπτης Διαρροής Έντασης (Δ.Δ.Ε στα 30 mA) εγκαθίσταται στο γενικό πίνακα (π.χ. μιας οικίας) πριν από οποιαδήποτε κατανάλωση, ως μερική ασφάλεια, αμέσως μετά από το γενικό διακόπτη ή τη γενική ασφάλεια. Η ύπαρξη του είναι υποχρεωτική με υπουργική απόφαση (Υ.Α. Φ Α'50/12081/642/2006 (ΦΕΚ 1222/Β'5.9.2006) Θέματα Ασφάλειας των Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (Ε.Η.Ε.). Καθιέρωση υποχρέωσης εγκατάστασης διατάξεων διαφορικού ρεύματος και κατασκευής θεμελιακής γείωσης).

Η λειτουργία του βασίζεται στο διαφορικό μετασχηματιστή. Το μαγνητικό πεδίο στο διαφορικό μετασχηματιστή είναι μηδενικό αν δεν υπάρχει διαρροή ρεύματος. Αν υπάρχει διαρροή πάνω από 30 mA τότε ενεργοποιείται το ρελέ από το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται, κόβοντας το ρεύμα σε λιγότερο από 30 ms. Οι κατασκευαστές πλέον φτιάχνουν τα ρελέ με μεγαλύτερη ευαισθησία για να είναι σίγουροι για έγκαιρη ενεργοποίηση.



Σχήμα 4.1: Τριφασικό (4X40) και μονοφασικό (2X40) αντιηλεκτροπληξιακά ρελέ τύπου AC*

Πηγή: <http://greekelectrician.blogspot.gr/2011/12/blog-post.html>

*4X40: 4 επί 40 A είναι για τριφασική κατανάλωση μέχρι 40 A ανά φάση και

2X40: είναι για μονοφασική κατανάλωση μέχρι 40 A

Στην αγορά κυκλοφορούν και ρελέ διαρροής έντασης με ευαισθησία στα 300 mA, όμως αυτά δεν είναι κατά της ηλεκτροπληξίας και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως τέτοια. Υπάρχουν τρεις τύποι διατάξεων AC, A και B.

* Οι όροι TT και TN θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο αναλυτικά

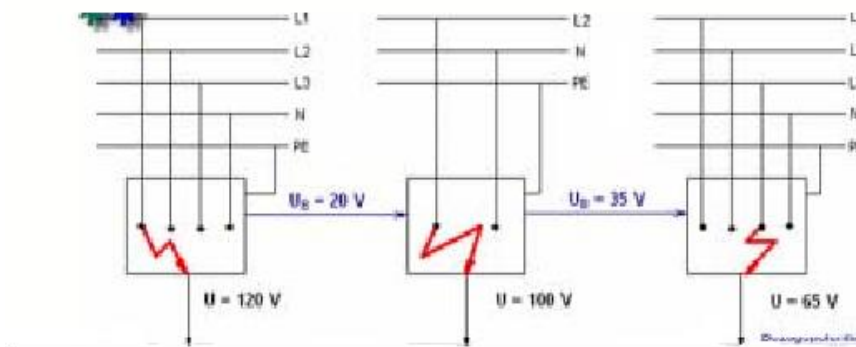
4.1.2.1.2 Ισοδυναμικές συνδέσεις (γειωμένες ισοδυναμικές επιφάνειες)

Σταθερή σύνδεση μεταλλικών τμημάτων μεταξύ τους ώστε να έχουν το ίδιο δυναμικό και άρα να μην προκαλείται διέλευση ρεύματος.

Σε κάθε κτίριο πρέπει να γίνεται μια κύρια ισοδυναμική σύνδεση. Σε αυτή πρέπει να συνδέονται:

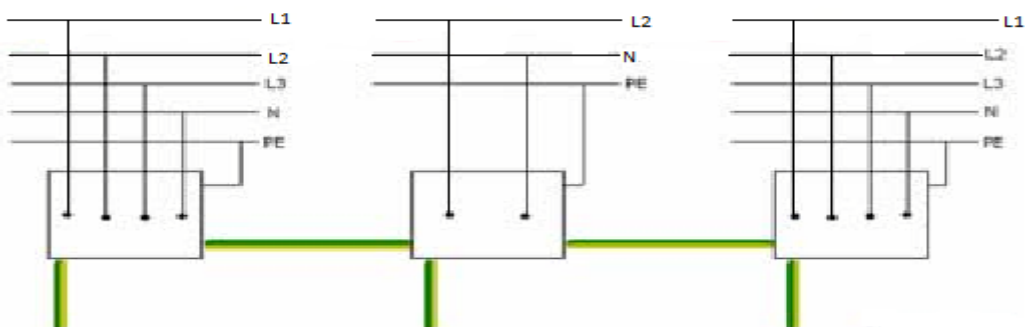
- Ο κύριος αγωγός προστασίας (PE)
- Ο κύριος αγωγός γείωσης
- Οι μεταλλικές σωληνώσεις παροχών (π.χ. νερού, αερίου)
- Οι μεταλλικές σωληνώσεις θέρμανσης και κλιματισμού
- Τα μεταλλικά στοιχεία κατασκευής του κτιρίου
- Ο μεταλλικός οπλισμός σκυροδέματος (αν αυτό είναι εφικτό)

Η λειτουργία της ισοδυναμικής σύνδεσης περιγράφεται από τα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 4.2

Πηγή: <http://www.eetemher.gr/bio/Sarrhs.pdf>



Σχήμα 4.3: Κοινή σύνδεση αγωγών προστασίας και μεταλλικών στοιχείων

Πηγή: <http://www.eetemher.gr/bio/Sarrhs.pdf>

Οι κύριες και συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις μειώνουν δραστικά τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

4.1.2.2 Χωρίς αγωγό γείωσης

- Διπλή μόνωση :
Εφαρμόζεται σε μεγάλη έκταση σε οικιακές συσκευές και ηλεκτρικά εργαλεία. Πρέπει να αντέχει τουλάχιστον σε διπλάσια τάση δοκιμής από ότι η απλή μόνωση λειτουργίας
- Μη αγώγιμοι χώροι
- Αγείωτες ισοδυναμικές συνδέσεις
- Ηλεκτρικός διαχωρισμός
 - Μετασχηματιστής απομόνωσης

Τα μέτρα της διπλής μόνωσης, των μη αγώγιμων χώρων και των αγείωτων ισοδυναμικών συνδέσεων, σε συγκεκριμένα τμήματα της εγκατάστασης ή όπου υπάρχει επιτήρηση από ειδικευμένο προσωπικό

Εάν συμβεί έμμεση επαφή:

4.1.3 Ταυτόχρονη προστασία από άμεση και έμμεση επαφή

Πώς επιτυγχάνεται:

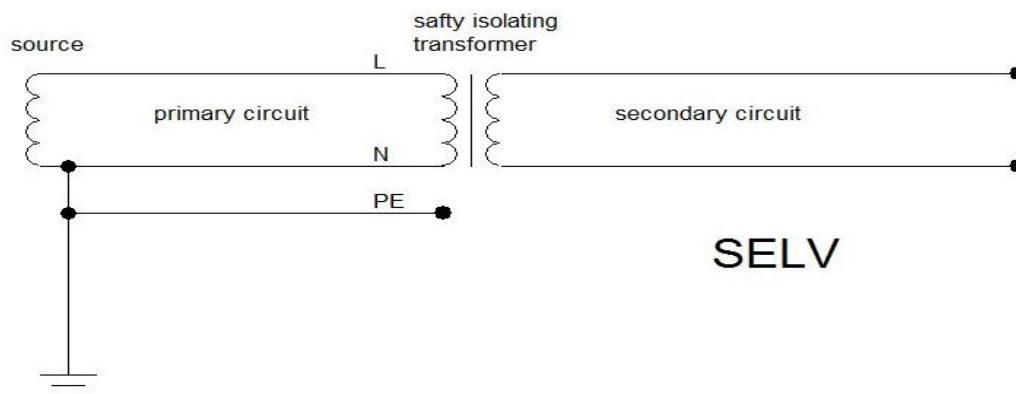
Με χρήση πολύ χαμηλής τάσης:

- Πολύ χαμηλή τάση ασφαλείας (SELV): Αγείωτο κύκλωμα χωρίς επαφή με άλλα κυκλώματα
- Πολύ χαμηλή τάση προστασίας (PELV): Γειωμένο κύκλωμα χωρίς επαφή με άλλα κυκλώματα

Ειδικότερα:

Ένα μέτρο που χρησιμοποιείται συγχρόνως για προστασία από άμεση και έμμεση επαφή είναι η χρήση υπερχαμηλών τάσεων. Αυτές οι χαμηλές τάσεις συμβολίζονται με τα αρχικά SELV ή PELV.

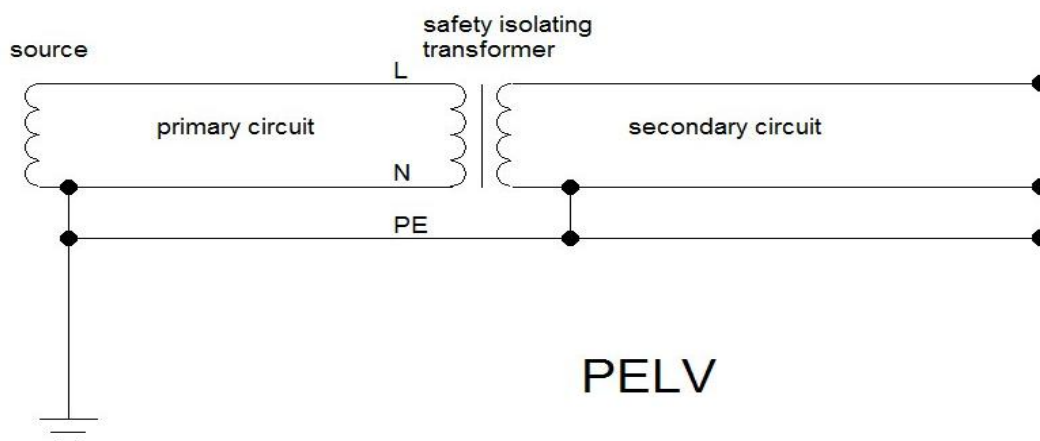
SELV: Safety Extra Low Voltage, πολύ χαμηλή τάση το κύκλωμα της οποίας δεν έχει καμία σύνδεση με τη γη



Σχήμα 4.4

Πηγή: http://www.aboutelectricity.co.uk/photogallery.php?photo_id=21

PELV: Protection Extra Low Voltage, πολύ χαμηλή τάση με ένα σημείο της πηγής ή του κυκλώματος συνδεδεμένο με τη γη



Σχήμα 4.5

Πηγή: http://www.aboutelectricity.co.uk/photogallery.php?photo_id=22

Πηγές οι οποίες μπορούν να παρέχουν SELV ή PELV είναι οι εξής:

- ✓ Ένας μετασχηματιστής απομόνωσης
- ✓ Μια πηγή που παρέχει ένα βαθμό ασφαλείας, ισοδύναμο προς εκείνον που παρέχεται π.χ. από ένα ζεύγος κινητήρα- γεννήτριας, εφόσον ο διαχωρισμός των τυλιγμάτων τους είναι ισοδύναμος με εκείνον του μετασχηματιστή απομόνωσης
- ✓ Μια ηλεκτροχημική πηγή (π.χ. συστοιχία ηλεκτρικών συσσωρευτών), που είναι ανεξάρτητη από ηλεκτρική τροφοδότηση, ή που έχει προστασία με ηλεκτρικό διαχωρισμό προς τα κυκλώματα υψηλότερης τάσης
- ✓ Άλλες πηγές ανεξάρτητες από οποιαδήποτε ηλεκτρική τροφοδότηση (π.χ. γεννήτρια κινούμενη από μηχανή εσωτερικής καύσης)

Σύμφωνα με το IEC (International Electrotechnical Commission) ορίζεται ένα σύστημα SELV ως ένα ηλεκτρικό σύστημα στο οποίο η τάση δεν μπορεί να υπερβεί την ELV (έξτρα χαμηλή τάση υπό κανονικές συνθήκες και υπό συνθήκες απλής βλάβης, συμπεριλαμβανομένων των γειώσεων σε άλλα κυκλώματα, 50Vrms-120Vdc). Γενικά ένα κύκλωμα SELV πρέπει να διαθέτει προστατευτικό διαχωρισμού (διπλή μόνωση, ενισχυμένη μόνωση) από όλα τα κυκλώματα (δηλαδή όλα τα κυκλώματα που θα μπορούσαν να φέρουν υψηλότερες τάσεις) εκτός από SELV και PELV, καθώς και απλό διαχωρισμό από τα άλλα συστήματα SELV-PELV, από τα υπόλοιπα συστήματα και από τη γη.

Η ασφάλεια από ένα κύκλωμα SELV παρέχεται από :

- ✓ Τη χαμηλή τάση
- ✓ Το χαμηλό κίνδυνο τυχαίας επαφής με υψηλότερη τάση
- ✓ Την έλλειψη διαδρομής επιστροφής μέσω γης, που θα μπορούσε να πάρει το ρεύμα σε περίπτωση επαφής με το ανθρώπινο σώμα

Ο σχεδιασμός ενός κυκλώματος SELV περιλαμβάνει συνήθως ένα μετασχηματιστή απομόνωσης, με τις εγγυημένες ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των αγωγών και των εμποδίων ηλεκτρικής μόνωσης. Οι ηλεκτρικές συνδέσεις ενός τέτοιου κυκλώματος πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μην έρχονται σε επαφή με αγωγούς άλλων κυκλωμάτων.

Επιπλέον βάσει IEC ένα σύστημα PELV ορίζεται ως ένα ηλεκτρικό σύστημα στο οποίο η τάση δεν μπορεί να ξεπεράσει την ELV κάτω από κανονικές συνθήκες και κάτω από συνθήκες ενός σφάλματος, εκτός από σφάλματα ως προς γη σε άλλα κυκλώματα.

Ένα κύκλωμα PELV χρειάζεται μόνο προστατευτικό διαχωρισμό από άλλα κυκλώματα, εκτός από τα SELV-PELV (όλα τα κυκλώματα που μπορεί να έχουν υψηλότερες τάσεις), άλλα μπορεί να έχουν συνδέσεις με άλλα PELV συστήματα και τη γη.

Σε αντίθεση με ένα κύκλωμα SELV, ένα PELV κύκλωμα μπορεί να έχει μια σύνδεση με τη γη. Σε ένα τέτοιο κύκλωμα, όπως ακριβώς στα SELV, απαιτείται ένα σχέδιο που εγγυάται χαμηλό επίπεδο κινδύνου από τυχαία επαφή με υψηλότερη τάση. Για ένα μετασχηματιστή αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το πρωτεύων και το δευτερεύων τύλιγμα πρέπει να διαχωρίζονται από ένα επιπλέον εμπόδιο μόνωσης, ή από μια αγωγή “ασπίδα” με μια προστατευτική σύνδεση γείωσης.

Κατά τη χρήση αυτών των τάσεων σε χώρους υγείας η εφαρμοζόμενη τάση δεν πρέπει να ξεπερνά τα 25 Vrms ac ή τα 60V dc. Σημαντική κρίνεται σε αυτή την περίπτωση η προστασία με μόνωση των ενεργών μερών και με αγωγή γείωσης περιβλήματος, κυρίως σε ιατρικούς χώρους όπου χρησιμοποιούνται πρόσθετα μέλη εξωτερικά του σώματος ή υποδορίως, ή σε χώρους επείγουσας ιατρικής (π.χ χειρουργεία).

4.2 ΓΕΙΩΣΗ

Γείωση ονομάζεται η αγωγήμη σύνδεση όλων των μεταλλικών μερών των ηλεκτρικών συσκευών και ηλεκτρικών καταναλώσεων με τη γη. Είναι το βασικό μέτρο προστασίας, που έχει σκοπό να προφυλάξει την εγκατάσταση από διαρροές

ρευμάτων και το προσωπικό από επικίνδυνες τάσεις επαφής, που προέρχονται από την καταστροφή της μόνωσης των αγωγών.

Η γείωση συμβολίζεται με τη συντομογραφία PE (Protective Earth) και το χρώμα του αγωγού γείωσης σε μια εγκατάσταση εσωτερική ή σε καλώδιο φορητών συσκευών, είναι το κιτρινοπράσινο.

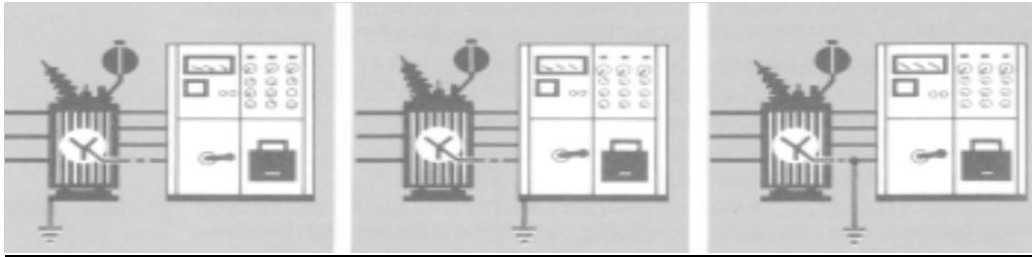
4.2.1 Είδη γειώσεων

Ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν διακρίνονται τρία είδη γειώσεων:

- Γείωση λειτουργίας: είναι η γείωση ενός τμήματος της εγκατάστασης που ανήκει στο κύκλωμα λειτουργίας, όπως είναι ο ουδέτερος των γεννητριών, των μετασχηματιστών ή άλλων στοιχείων μιας εγκατάστασης ή ενός δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, που συνδέονται σε αστέρα. Η γείωση λειτουργίας εκτός από την αντίσταση του ηλεκτροδίου γειώσεως μπορεί να περιλαμβάνει και πρόσθετες ωμικές αντιστάσεις, επαγωγικές ή χωρητικές αντιστάσεις, οι οποίες βοηθούν στον περιορισμό του ρεύματος βραχυκυκλώματος
- Γείωση ασφαλείας (συστήματος αντικεραυνικής προστασίας): είναι η γείωση ενός μεταλλικού πλαισίου του κτιρίου, μέσα στο οποίο υπάρχει η ηλεκτρική εγκατάσταση, με σκοπό τη διοχέτευση μεγάλων ρευμάτων, προς τη γη, που προέρχονται από την πτώση κεραυνών. Για τον ίδιο σκοπό τέτοια γείωση ασφαλείας εφαρμόζεται και σε εκτεθειμένες μεταλλικές κατασκευές και σε πυλώνες στήριξης γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Γείωση προστασίας: είναι η γείωση μεταλλικών τμημάτων της εγκατάστασης που δεν ανήκουν στο κύκλωμα λειτουργίας της, όπως τα μεταλλικά περιβλήματα των ηλεκτρικών συσκευών ή των ηλεκτρικών καταναλώσεων και τα οποία κανονικά δεν πρέπει να βρίσκονται υπό τάση. Η γείωση προστασίας αποσκοπεί στην προστασία των ανθρώπων από επικίνδυνες τάσεις επαφής, που μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία ή πυρκαγιά.

Η κατασκευή της εξαρτάται από δυο παράγοντες:

- Από την τάση που κινδυνεύουν να βρεθούν τα μεταλλικά τμήματα κοντά στην εγκατάσταση. Γι' αυτό έχουμε τη γείωση προστασίας μέσης τάσης που συνδέονται τα μεταλλικά μέρη με ονομαστική τάση $>1\text{kV}$ και της χαμηλής τάσης με ονομαστική τάση $<1\text{kV}$.
- Από το είδος του χώρου



Σχήμα 4.6: Τα τρία συστήματα γειώσεων:

A. Γείωση προστασίας μέσης τάσης

B. Γείωση προστασίας χαμηλής τάσης

Γ. Γείωση λειτουργίας (ουδέτερου) χαμηλής τάσης

Πηγή: http://users.sch.gr/nchatzigeo/Biblia/Biomhx_egkatas_ypost.pdf

Συνήθως στις εγκαταστάσεις, τα τρία είδη των γειώσεων συνυπάρχουν. Τα δίκτυα των γειώσεων μπορεί να είναι κοινά (ή με κοινά ηλεκτρόδια γείωσης) και για τις τρεις γειώσεις. Επίσης είναι σημαντικό όσο αυτό είναι δυνατόν, οι γειώσεις να απολήξουν στο ίδιο ηλεκτρόδιο ή στην ίδια εγκατάσταση γείωσης σε ένα κτίριο.

4.2.2 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων

Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα σύνδεσης γείωσης που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις των χώρων υπηρεσιών υγείας, κυρίως των νοσοκομείων είναι τριών οικογενειών, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384, το IT, το TN και το TT.

Τα δίκτυα διανομής χαρακτηρίζονται με γράμματα. Το πρώτο γράμμα δείχνει το τι συμβαίνει με το ουδέτερο σημείο του Μ/Σ διανομής, το δεύτερο γράμμα δείχνει τι συμβαίνει με τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη των συσκευών. Πρόσθετα γράμματα δίνουν πληροφορίες για τις τυχόν ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης.

Συγκεκριμένα:

Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για τα συστήματα αυτά είναι ο εξής:

Το πρώτο γράμμα αφορά τη σχέση του συστήματος τροφοδότησης με τη γη

- ✓ T= άμεση σύνδεση του ουδέτερου με τη γη
- ✓ I= κανένα ενεργό μέρος συνδεδεμένο με τη γη (απομόνωση)

Το δεύτερο γράμμα αφορά τη σχέση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών της εγκατάστασης προς τη γη:

- ✓ T= άμεση σύνδεση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών με τη γη,
- ✓ N= άμεση σύνδεση των αγωγίμων μερών με τον ουδέτερο του συστήματος τροφοδότησης (ουδετέρωση)

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμος ουδέτερος, μπορεί να συνδέεται με τη γη ένα άλλο σημείο (γειωμένο αγωγό) του συστήματος τροφοδότησης.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι τα TN, TN-S, TN-C, TN-C-S, IT, TT.

Τα γράμματα των συμβολισμών προκύπτουν από τους εξής γαλλικούς όρους:

T= Terre (γη)	N=Neutral (ουδέτερος)
I=Isole(μονωμένος)	S=Securite (ασφάλεια)
C=Combine (συνδυασμός)	

4.2.2.1 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων TN (ουδετέρωσης)

Τα συστήματα τροφοδότησης στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα TN έχουν τον ουδέτερο άμεσα γειωμένο, ενώ τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με τον ουδέτερο μέσω αγωγών προστασίας. Ο αγωγός που συνδέει τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη του καταναλωτή είναι η γείωση προστασίας (PE-Protective Earth).

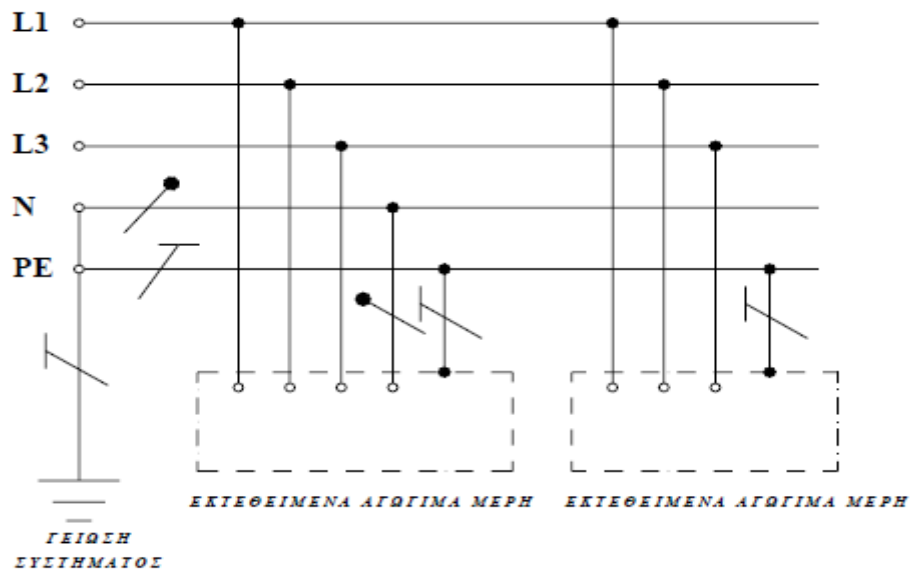
Με άλλα λόγια, το βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι ότι το μεταλλικό περίβλημα των συσκευών της εγκατάστασης συνδέεται με αγωγίμη σύνδεση με τον ουδέτερο της εγκατάστασης.

Σε περίπτωση βλάβης στη μόνωση της συσκευής, κλείνει κύκλωμα μέσω του ουδετέρου και το σφάλμα επιστρέφει στη γη. Ο βρόχος σφάλματος (ο αγωγίμος δρόμος που κυκλοφορεί το ρεύμα σφάλματος) αποτελείται αποκλειστικά από αγωγούς (ενεργοί αγωγοί και αγωγός προστασίας). Έτσι κάθε ρεύμα πλήρους (δηλ. χωρίς αντίσταση) σφάλματος μεταξύ φάσης και ενός εκτεθειμένου αγωγίμου μέρους ή ενός αγωγού προστασίας γίνεται ρεύμα στερεού βραχυκυκλώματος (ιδανικού: μηδενική αντίσταση μεταξύ των σημείων βραχυκύκλωσης) μεταξύ φάσης και ουδετέρου.

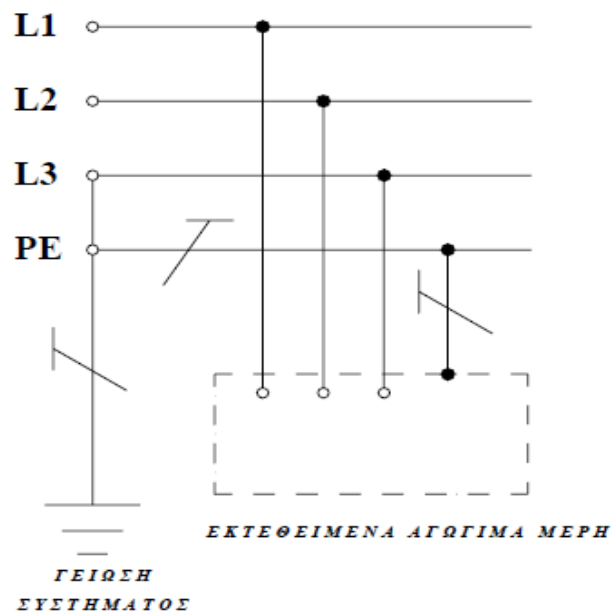
Για το λόγο αυτό τα συστήματα ουδετέρωσης εφαρμόζονται μόνο αν οι εγκαταστάσεις τηρούν τις ακόλουθες συνθήκες:

1. Σε περίπτωση στερεού βραχυκυκλώματος πρέπει να πραγματοποιηθεί διακοπή της τροφοδότησης εντός 5 sec
2. Η αγωγιμότητα του ουδετέρου πρέπει να είναι η ίδια με αυτή των αγωγών φάσεων σε όλη την εγκατάσταση για διατομές αγωγού έως 16 mm² ή 50 mm² για εναέριες γραμμές διανομής.
3. Ο ουδέτερος αγωγός γειώνεται στους υποσταθμούς διανομής, στα τέρματα των εναέριων γραμμών και κάθε 300 m, στα εναέρια και υπόγεια δίκτυα σε κάθε παροχέτευση.
4. Η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10ΜΩ.
5. Πρέπει να εξασφαλίζεται η συνέχεια του ουδετέρου και να μην διακόπτεται με αυτόματους διακόπτες, διακόπτες φορτίου, αποζεύκτες και ασφάλειες.

Στην Ελλάδα εξασφαλίζονται οι προϋποθέσεις αυτές στις περισσότερες περιοχές στη χώρα όπου οι εγκαταστάσεις του δικτύου διανομής είναι νεότερες. Στο κέντρο της Αθήνας, του Πειραιά και σε μερικές περιοχές της Θεσσαλονίκης εφαρμόζεται το σύστημα άμεσης γείωσης, διότι δεν εξασφαλίζονται οι παραπάνω συνθήκες, όπως η συνέχεια του ουδετέρου.



Χωριστοί ουδέτερος και αγωγός προστασίας σε όλο το σύστημα



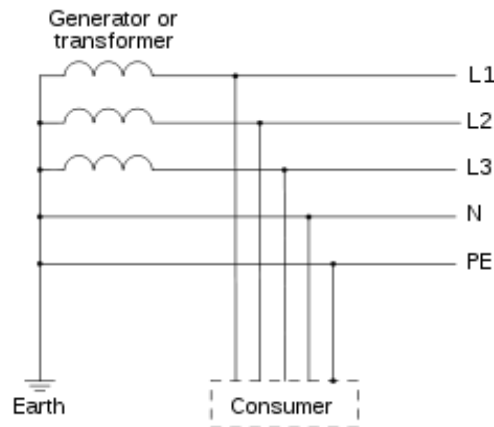
Χωριστοί γειωμένος αγωγός φάσης και αγωγός προστασίας σε όλο το σύστημα

Σχήμα 4.7 : TN σύστημα γείωσης

Πηγή: Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384

Τρεις παραλλαγές των συστημάτων TN είναι:

- ✓ TN-S: Ο ουδέτερος και ο αγωγός γείωσης είναι χωριστοί αγωγοί σε όλη την έκταση του δικτύου, που συνδέονται μόνο κοντά στην πηγή με τη γη. Η μορφή αυτή του δικτύου είναι πλέον συνηθισμένη σε οικιακούς και βιομηχανικούς καταναλωτές

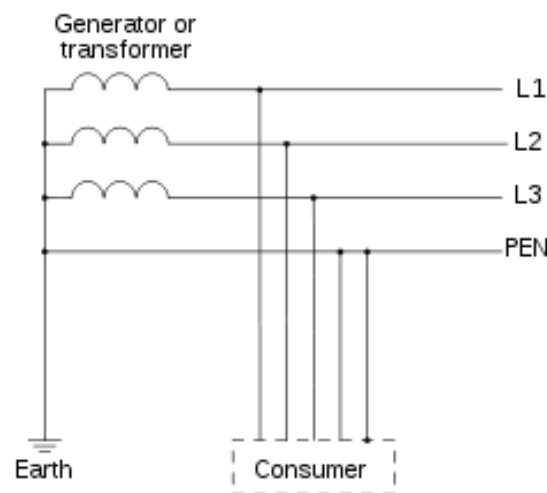


TN-S: ξεχωριστοί αγωγοί γείωσης και ουδέτερου από το μετ/στή στη συσκευή κατανάλωσης – δεν συνδέονται σε κανένα σημείο μετά τον κεντρικό πίνακα χαμηλής τάσης του κτηρίου.

Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

- ✓ TN-C: Υπάρχει ένας αγωγός που λειτουργεί τόσο ως αγωγός γείωσης όσο και ως ουδέτερος (ο ουδέτερος ταυτίζεται με τον αγωγό προστασίας). Εμφανίζεται στο κομμάτι μεταξύ του υποσταθμού και του σημείου εισόδου του κτιρίου, ενώ μέσα στο κτίριο χρησιμοποιούνται χωριστοί αγωγοί γείωσης και ουδέτερου. Η μορφή αυτή του δικτύου συναντάται σε εγκαταστάσεις υψηλής ισχύος με διατομές ουδέτερου μεγαλύτερες των 10mm².

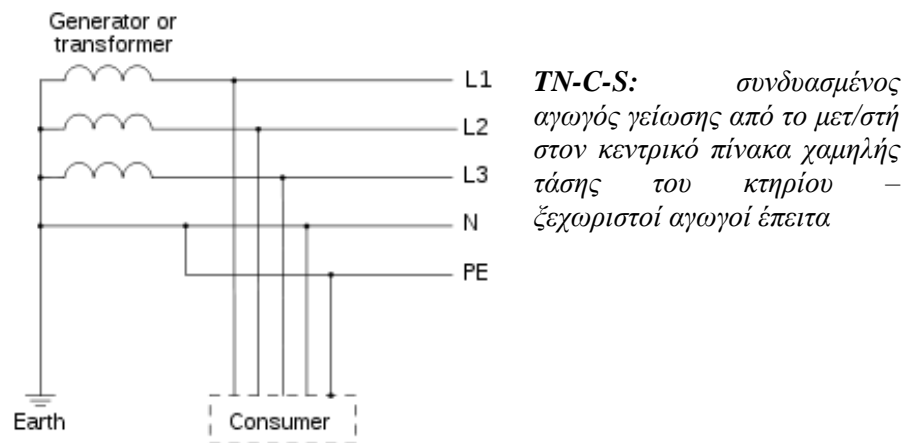
Υποσημείωση: Στο Ηνωμένο Βασίλειο, αυτό το σύστημα είναι γνωστό ως πολλαπλή γείωση προστασίας PME -protective multiple earthing- λόγω της πρακτικής τα σύνδεσης του συνδυασμένου αγωγού με την επιφάνεια της γης σε πολλές θέσεις, για τη μείωση του κινδύνου προβληματικών ουδετέρων)



TN-C: συνδυασμένος αγωγός γείωσης και ουδέτερου

Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

- ✓ TN-C-S: Ο συνδυασμένος αγωγός του παραπάνω δικτύου χρησιμοποιείται σε ένα κομμάτι του συστήματος και έπειτα χωρίζεται σε ουδέτερο και αγωγό γείωσης. Η μορφή του δικτύου συναντάται κυρίως σε μεγάλα κτίρια και βιομηχανίες.



Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

4.2.2.2 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων TT

Με το χαρακτηρισμό TT προσδιορίζονται τα δίκτυα με άμεση γείωση. Τα συστήματα αυτά έχουν τον ουδέτερο άμεσα συνδεδεμένο προς τη γη, ενώ τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με ηλεκτρόδια γείωσης ηλεκτρικά ανεξάρτητα από τη γείωση του συστήματος τροφοδότησης. Συνεπώς, άμεση γείωση είναι η απευθείας αγωγή σύνδεση των συσκευών με το ηλεκτρόδιο της γείωσης και όχι η σύνδεσή τους με τον ουδέτερο.

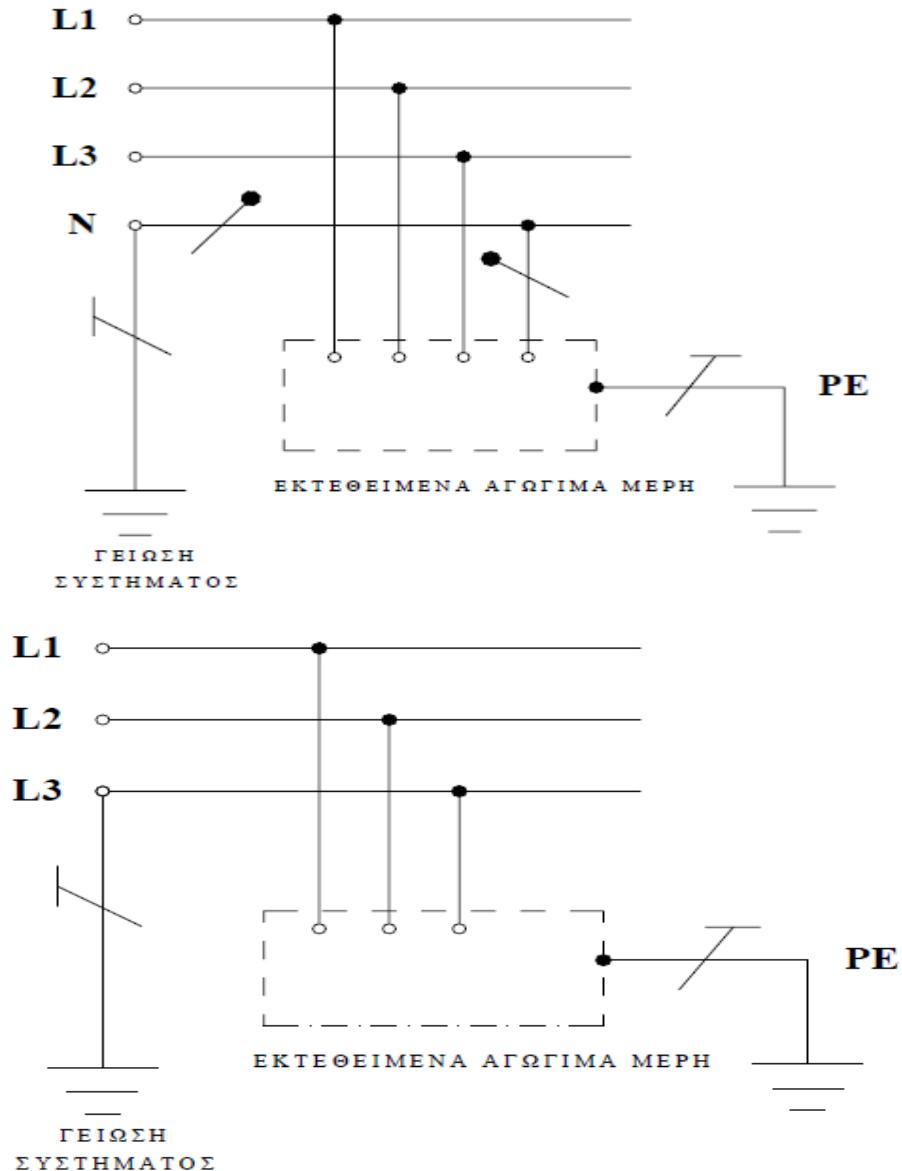
Όλα τα μεταλλικά στοιχεία που είναι προσβάσιμα στον άνθρωπο και προστατεύονται από κοινή διάταξη προστασίας πρέπει να συνδέονται στο ίδιο ηλεκτρόδιο γείωσης για να έχουν το ίδιο δυναμικό. Έτσι σε περίπτωση σφάλματος δεν πρέπει να εμφανίζεται τάση επαφής ικανή να προκαλέσει ηλεκτροπληξία.

Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση σφάλματος της μόνωσης μεταξύ μιας φάσης και ενός εκτεθειμένου αγωγίμου μέρους ή του αγωγού προστασίας, ο βρόχος σφάλματος εκτός από τους αγωγούς περιλαμβάνει και ένα μέρος της διαδρομής εντός της γης. Επειδή παρεμβάλλονται οι αντιστάσεις γείωσης το ρεύμα σφάλματος μεταξύ φάσης και εκτεθειμένων αγωγίμων μερών είναι μικρότερο από το ρεύμα ενός στερεού βραχυκυκλώματος, αλλά μπορεί να έχει τέτοια τιμή, ώστε να είναι δυνατή η εμφάνιση επικίνδυνων τάσεων επαφής.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του TT είναι το γεγονός ότι δεν προσβάλλεται από θορύβους υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων, που προέρχονται από τον ουδέτερο αγωγό εξαιτίας του ηλεκτρικού εξοπλισμού που συνδέεται σ' αυτόν. Γι' αυτό το TT προτιμάται σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές.

Αυτή η μορφή δικτύου χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη έκταση στο κέντρο της Αθήνας, του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης. Το δίκτυο ύδρευσης χρησιμοποιήθηκε σαν ηλεκτρόδιο γείωσης διότι παλιότερα κατασκευαζόταν αποκλειστικά από μεταλλικές σωληνώσεις. Έτσι, όλες οι εγκαταστάσεις συνδέονταν στο δίκτυο ύδρευσης για να γειωθούν. Σήμερα όμως, τμήματα του δικτύου ύδρευσης αποτελούνται από πλαστικές σωληνώσεις με αποτέλεσμα να διακόπτεται η συνέχεια του δικτύου γείωσης.

Στα δίκτυα TT είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εξασφαλίζεται σωστό σύστημα γείωσης στις εγκαταστάσεις, δηλαδή η τιμή της αντίστασης γείωσης να είναι μικρότερη των 10 Ω (όπως συνήθως ζητείται από τον ΔΕΔΗΕ) και να διατηρείται η συνέχεια του γειωτή σε όλη την έκτασή του, καθώς το ρεύμα βραχυκύκλωσης επιστρέφει μέσω του συστήματος γείωσης στη γη. Ως μέτρο πρόσθετης προστασίας χρησιμοποιείται ο ΔΔΕ, ο οποίος είναι ένας πολύ ευάλωτος μηχανισμός και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μοναδικό μέτρο προστασίας. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη μια αντίσταση γείωσης της εγκατάστασης κάτω του 1 Ω πράγμα πρακτικά ιδιαίτερα δύσκολο ή και απίθανο να επιτευχθεί.



Σχήμα 4.8: Σύστημα γείωσης TT

Πηγή: Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384

Στις θέσεις που η ισχύς μεταφέρεται σε υπερυψωμένους αγωγούς και χρησιμοποιείται το σύστημα TT, οι αγωγοί γείωσης δε βρίσκονται σε κίνδυνο εάν ένα δέντρο ή κλαδί πέσει σε οποιοδήποτε αγωγό μεταφοράς. Παλιότερα, πριν δημιουργηθούν οι διατάξεις

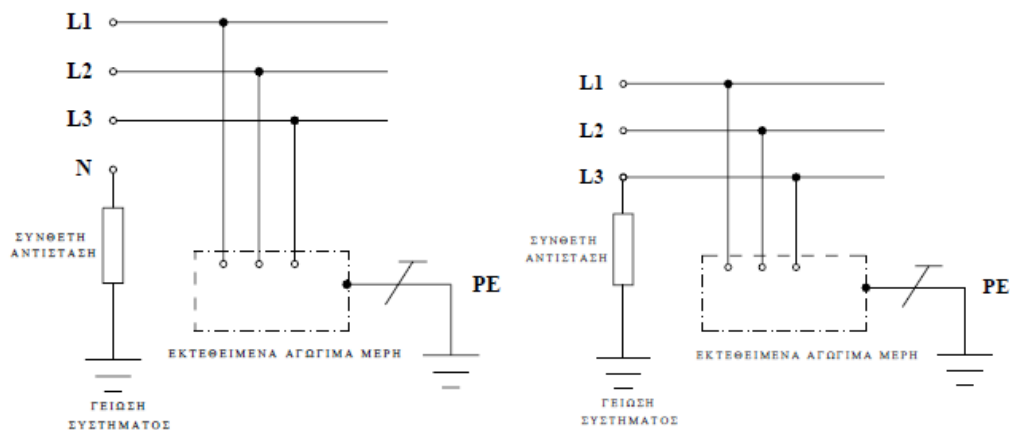
διαφυγής έντασης, το TT σύστημα δεν ήταν ελκυστικό για γενική χρήση λόγω της μειωμένης αντοχής του σε υψηλά ρεύματα βραχυκύκλωσης (εν συγκρίσει με το TN).

4.2.2.3 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων IT

Σε αυτά τα δίκτυα ο ουδέτερος είναι απομονωμένος και δε συνδέεται με τη γη ενώ τα μεταλλικά περιβλήματα και οι διάφορες συσκευές βρίσκονται σε αγωγίμη σύνδεση με τη γη. Δηλαδή όλα τα ενεργά μέρη είναι μονωμένα προς τη γη, ή ένα σημείο συνδέεται με τη γη μέσω μιας σύνθετης αντίστασης μεγάλης τιμής, ενώ τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης είναι γειωμένα. Αν γειώνεται ένα σημείο του συστήματος τροφοδότησης, αυτό μπορεί να είναι είτε ο ουδέτερος, είτε μια φάση είτε ένας τεχνητός ουδέτερος. Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι.

Κατά την εκδήλωση ενός σφάλματος μόνωσης το ρεύμα σφάλματος κυκλοφορεί μέσω των χωρητικοτήτων των αγωγών του συστήματος τροφοδότησης και της εγκατάστασης προς τη γη αν το σύστημα τροφοδότησης είναι πλήρως μονωμένο προς τη γη, ή και μέσω της σύνθετης αντίστασης αν το σύστημα συνδέεται με τη γη με μια τέτοια αντίσταση. Εξαιτίας της απουσίας γείωσης του συστήματος τροφοδότησης ή της μεγάλης τιμής της σύνθετης αντίστασης γείωσης του συστήματος, το ρεύμα σφάλματος είναι τόσο μικρό, ώστε να μην προκαλεί την εμφάνιση επικίνδυνης τάσης επαφής. Επικίνδυνη τάση επαφής είναι δυνατόν να εμφανιστεί στην περίπτωση ενός δεύτερου σφάλματος. Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιείται συσκευή παρακολούθησης της μόνωσης για τον έλεγχο της αντίστασης.

Το δίκτυο αυτό εμφανίζεται σε εγκαταστάσεις όπου η εμφάνιση ηλεκτροπληξίας είναι ιδιαίτερα πιθανή και έχει ολέθριες συνέπειες, όπως τα χειρουργεία νοσοκομείων, γι' αυτό επιβάλλονται τα αυξημένα μέτρα προστασίας.



Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι

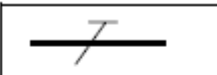


Σχήμα 4.9: Σύστημα γείωσης IT

Πηγή: Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384

Επομένως ανακεφαλαιωτικά έχουμε την εξής ταξινόμηση γειώσεων :

- Λειτουργίας
- Ασφαλείας
- Προστασίας:
 - Ουδετέρωση
 - Άμεση
 - Με ηλεκτρονόμο διαφυγής

Στα παραπάνω σχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω συμβολισμοί

	ΑΓΩΓΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (PE)
	ΟΥΔΕΤΕΡΟΣ ΑΓΩΓΟΣ (N)
	ΑΓΩΓΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΟΥΔΕΤΕΡΟΣ ΜΑΖΙ (PEN)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : IEC 60364-7-710

5.1 ΚΑΝΟΝΕΣ ΒΑΣΕΙ IEC 60364-7-710

Τα μέτρα προστασίας που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, πρέπει να συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα και συγκεκριμένα με το IEC 60364-7-710, που εφαρμόζεται σε νοσοκομειακές εγκαταστάσεις.

Παροχή ενέργειας

Γενικά σε ιατρικούς χώρους το σύστημα διανομής πρέπει να σχεδιάζεται και να εγκαθίσταται έτσι ώστε να διευκολύνεται η αυτόματη αλλαγή από την κύριο δίκτυο διανομής στην εφεδρική τροφοδοσία ασφαλείας, που τροφοδοτεί τα κρίσιμα φορτία (IEC 60364-5-55)

Προστασία από άμεση επαφή

Σε ιατρικούς χώρους δεν επιτρέπεται προστασία από ηλεκτροπληξία από άμεση επαφή με τη χρήση εμποδίων ή με την τοποθέτηση ηλεκτρικού εξοπλισμού σε απρόσιτα σημεία. Όλα τα υπόλοιπα μέσα επιτρέπονται.

Προστασία έναντι άμεσης και έμμεσης επαφής

Προστασία μέσω SELV-PELV

Σε χώρους της κατηγορίας 1 και 2, η ονομαστική τάση των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούν ρεύματα δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 25 Vrms AC ή τα 60 V DC.

Επίσης είναι σημαντική η προστασία των ενεργών μερών με μόνωση (IEC 60364-4-41) και με κάλυμμα ή περίβλημα (IEC 60364-4-412.2)

Στους χώρους της κατηγορίας 2, όλα τα εκτεθειμένα αγωγικά μέρη του εξοπλισμού (χειρουργική τράπεζα, φωτιστικά) πρέπει να συνδέονται στην μπάρα ισοδυναμικής γείωσης

Αυτόματη διακοπή τροφοδοσίας

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-7-710, τα παραπάνω συστήματα συνδέσεων πρέπει να ακολουθούν τους εξής κανόνες:

Στους ιατρικούς χώρους των κατηγοριών 1 και 2 πρέπει να ισχύουν τα εξής:

- ✓ Στα συστήματα IT, TN, TT, η συμβατική τάση επαφής (conventional touch voltage) U_L δεν πρέπει να ξεπερνά τα 25V
- ✓ Για τα συστήματα TN και IT πρέπει να εφαρμόζεται ο πίνακας 41C του προτύπου IEC 60364-4-41

TN σύστημα		IT Σύστημα		
Ονομαστική τάση εγκατάστασης	Χρόνος αποσύνδεσης	Ονομαστική τάση εγκατάστασης	Χρόνος αποσύνδεσης σε s (βραχυκύκλωμα ή 2 ^ο σφάλμα γης)	
V _o (V)	Seconds	V _o /V (V)	Ουδέτερος μη διανεμημένος	Διανεμημένος ουδέτερος
120	0.35	120-240	0.4	1
230	0.2	230/400	0.2	0.5
277	0.2	277/480	0.2	0.5
400,480	0.05	400/690	0.06	0.2
580	0.02	580/1000	0.02	0.08

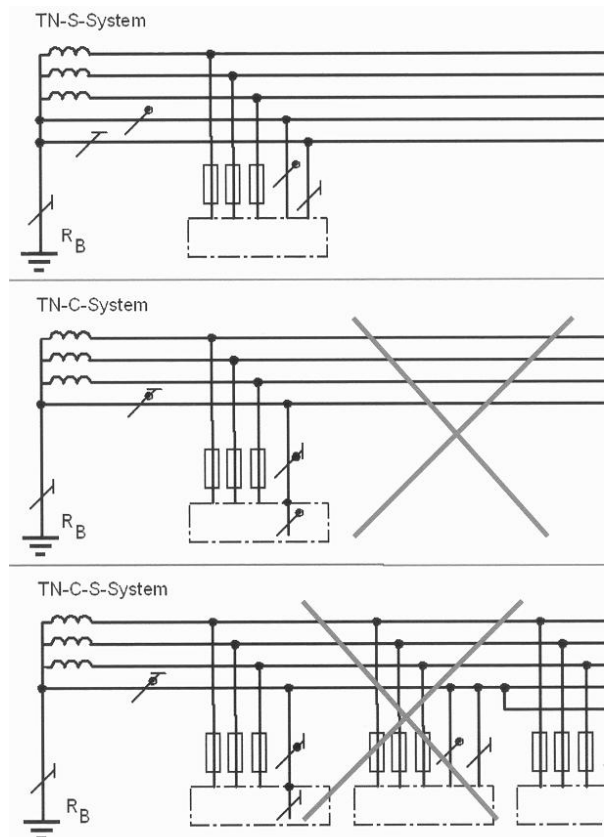
Πίνακας 5.1

Πηγή: Πρότυπο IEC 60364-4-41: 2005 *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

TN σύστημα

TN-C

Το σύστημα TN-C δεν επιτρέπεται σε χώρους και κτήρια Ιατρικών εφαρμογών.



Πηγή: « Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ιατρικών εφαρμογών: Προτεραιότητα στην Ιατρική ασφάλεια » Δημ. Αθ. Μπουρνάκας, 2004

TN-S

Σε τερματικά κυκλώματα (μέχρι 32 A) που ανήκουν σε χώρους της κατηγορίας 1 πρέπει να χρησιμοποιούνται διατάξεις διαφορικού ρεύματος (RCD) με μέγιστο διαφορικό ρεύμα τα 30 mA (επιπλέον προστασία).

Στους ιατρικούς χώρους της κατηγορίας 2 πρέπει να χρησιμοποιείται η αυτόματη διακοπή παροχής με συσκευές προστασίας διαφορικού ρεύματος μόνο στα παρακάτω κυκλώματα:

- Κυκλώματα παροχής σε χειρουργικά τραπέζια
- Κυκλώματα για μονάδες αξονικής τομογραφίας (X-Ray Units)
- Κυκλώματα για μεγάλου μεγέθους εξοπλισμό με εκτιμώμενο φορτίο άνω των 5 kVA
- Κυκλώματα για μη κρίσιμο ηλεκτρικό εξοπλισμό (που δεν υποστηρίζει ανθρώπινη ζωή)

Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε όταν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα τέτοιου είδους εξοπλισμοί, που συνδέονται στο ίδιο κύκλωμα δεν πρέπει να προκαλούν ανεπιθύμητη ενεργοποίηση της διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος (RCD).

Σε ιατρικούς χώρους της κατηγορίας 1 και 2, όπου χρειάζονται τα RCD, πρέπει να επιλέγονται μόνο τύπου A ή τύπου B διατάξεις, ανάλογα με το ρεύμα σφάλματος που μπορεί να προκύψει.

TT σύστημα

Σε ιατρικούς χώρους της κατηγορίας 1 και 2, ισχύουν οι κανόνες που ισχύουν στα TN συστήματα, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται διατάξεις διαφορικού ρεύματος.

Σε αυτή την περίπτωση είναι υποχρεωτική η χρήση μιας διάταξης διαφορικού ρεύματος στην οποία πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω συνθήκη:

$$RE * I_{dn} \leq 25 \quad [5]$$

Όπου RE η αντίσταση γείωσης σε Ω και I_{dn} το μέγιστο διαφορικό ρεύμα σε A.

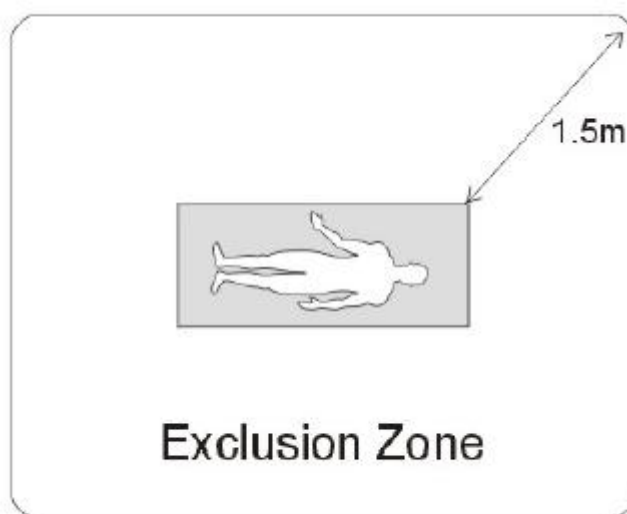
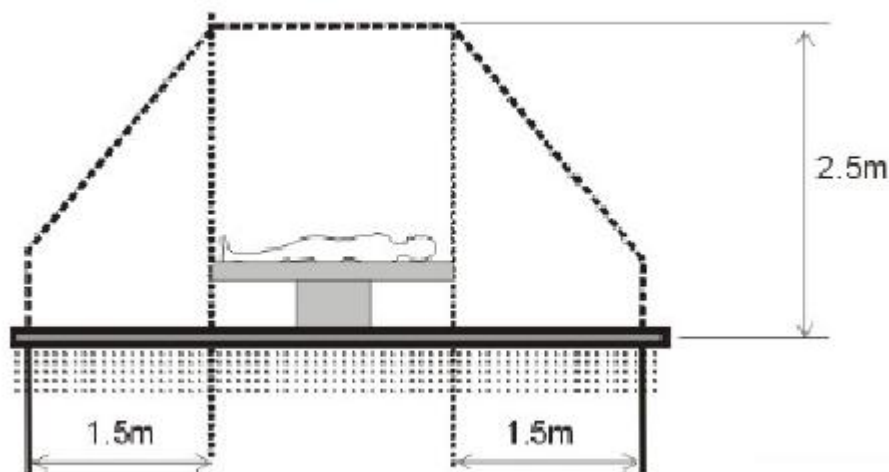
Διάταξη Διαφορικού Ρεύματος

Οι Διακόπτες Διαφορικού Ρεύματος (Δ.Δ.Ρ) επιτρέπονται μόνο σε συνδυασμό με ουδετερογείωση (TN-S) ή άμεση γείωση (TT) ως επιπρόσθετη προστασία, αλλά όχι ως η μοναδική.

Επίσης το πρότυπο καθορίζει ότι μια Δ.Δ.Ρ (RCD) με διαφορικό ρεύμα ≤ 30 mA είναι υποχρεωτική σε:

- χώρους κατηγορίας 1: σε τερματικά κυκλώματα που τροφοδοτούν πρίζες με μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα τα 32 A
- χώρους κατηγορίας 2: σε όλα τα κυκλώματα που δεν τροφοδοτούνται από το ιατρικό IT σύστημα, εκτός και αν τροφοδοτούν συσκευές σταθερές, οι οποίες

βρίσκονται τουλάχιστον 2.5 m πάνω από το δάπεδο και δεν βρίσκονται μέσα στο περιβάλλον του ασθενούς.



Σχήμα 5.1: Περιβάλλον ασθενούς

Πηγή: IEC 60364-7-710

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση στους ιατρικούς χώρους:

- η συσκευή προστασίας πρέπει να περιορίζει την τάση επαφής κάτω από τα 25 V σε περίπτωση βλάβης
- ο τύπος της διάταξης διαφορικού ρεύματος (AC, A ή B) πρέπει να είναι συμβατός με τους τύπους των συσκευών στο δωμάτιο ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του
- όταν χρησιμοποιείται TN σύστημα, κατάντι του κύριου ηλεκτρικού πίνακα διανομής πρέπει να χρησιμοποιείται το TN-S σύστημα

Ιατρικό IT σύστημα

Σε χώρους της κατηγορίας 2, το ιατρικό IT σύστημα πρέπει να χρησιμοποιείται σε κυκλώματα παροχής ηλεκτρικού ιατρικού εξοπλισμού και συστήματα που προορίζονται για τεχνητή υποστήριξη (ζωής), χειρουργικές εφαρμογές και άλλες συσκευές που βρίσκονται στο περιβάλλον του ασθενούς.

Για κάθε ομάδα δωματίων που εξυπηρετούν την ίδια λειτουργία, απαιτείται τουλάχιστον ένα ιατρικό IT σύστημα. Το ιατρικό IT σύστημα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με μια συσκευή επιτήρησης της μόνωσης σύμφωνα με το IEC 61557-8 με τις εξής απαιτήσεις:

- Η εσωτερική σύνθετη αντίσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 kΩ
- Η τάση δοκιμής δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τα 25 V DC
- Το εγχύμενο ρεύμα, ακόμα και κάτω από συνθήκες σφάλματος, να μην είναι μεγαλύτερο από 1 mA peak
- Η μέτρηση να λαμβάνεται το αργότερο όταν η σύνθετη αντίσταση της μόνωσης έχει μειωθεί στα 50 kΩ

Για κάθε ιατρικό σύστημα IT, χρειάζεται ένα ακουστικό και οπτικό σύστημα συναγερμού, το οποίο συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία, τοποθετημένα σε κατάλληλο σημείο, ώστε να παρακολουθούνται μόνιμα (ηχητικά και οπτικά σήματα) από το ιατρικό προσωπικό:

- Πράσινο λαμπάκι ένδειξης που υποδεικνύει την κανονική λειτουργία
- Κίτρινο λαμπάκι που υποδεικνύει ότι η αντίστασης μόνωσης έχει φθάσει τη μικρότερη καθορισμένη τιμή της. Δεν πρέπει αυτό το λαμπάκι να μπορεί να ακυρωθεί ή να αποσυνδεθεί.
- Ένας ηχητικός συναγερμός που θα ενεργοποιείται όταν η αντίσταση μόνωσης φτάνει τη μικρότερη τιμή της. Ηχητικός συναγερμός θα μπορεί να απενεργοποιηθεί.
- Το κίτρινο λαμπάκι πρέπει να σβήνει μετά την αποκατάσταση του σφάλματος και όταν έχουν αποκατασταθεί οι κανονικές συνθήκες λειτουργίας

Όταν ένα κομμάτι του εξοπλισμού τροφοδοτείται από ένα μόνο μετασχηματιστή απομόνωσης, τότε αυτός μπορεί να εγκατασταθεί χωρίς συσκευή επιτήρησης μόνωσης.

Απαιτείται η παρακολούθηση υπερτάσεων και αυξημένων θερμοκρασιών του ιατρικού μετασχηματιστή απομόνωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ

Ένας παράγοντας επικινδυνότητας για τους ασθενείς είναι οι ηλεκτροϊατρικές συσκευές με τις οποίες έρχεται σε επαφή ή βρίσκονται μέσα στο ιατρικό περιβάλλον. Η ασφάλεια αυτή επιτυγχάνεται μέσω ειδικών κυκλωμάτων προστασίας των συσκευών αυτών καθώς και από το δίκτυο γειώσεων του νοσοκομείου.

Η παρουσία ηλεκτρικών συσκευών παρουσιάζει τον κίνδυνο ρευμάτων διαρροής προς τον ασθενή που αυξάνουν την πιθανότητα της πρόκλησης ηλεκτροπληξίας.

6.1 ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 601-1 (EN 60601-1)

Για την προστασία του προσωπικού και των ασθενών στα νοσοκομεία, έχουν δημιουργηθεί και υιοθετηθεί πρότυπα (standards) που καθορίζουν τους κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται, τόσο σε κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά θέματα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συσκευών.

Τέτοια πρότυπα που σχετίζονται με την ηλεκτρική ασφάλεια των ηλεκτροϊατρικών συσκευών είναι για παράδειγμα:

- **NFPA:** NFPA 99, Standards for Health Care Facilities 2005 Edition
- **IEC:** IEC 601-1 Part 1: General requirements for safety 2005
- **DIN/DVE:** DIN/VDE 0751-1 Repair, modification and testing of medical electrical equipment; general requirements 2002
- **AAMI/ANSI:** American National Standards: Safe Current Limits for Electromedical Apparatus 1993

Το πρότυπο που έχει υιοθετηθεί κυρίως είναι το IEC 601-1 και αναφέρεται κατά βάση στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσκευών και αφορούν κυρίως τους κατασκευαστές ιατρικών μηχανημάτων. Παρόλα αυτά το πρότυπο αυτό όπως και άλλα έχουν αποτελέσει τη βάση για τη δημιουργία πρωτοκόλλων ασφαλείας, αλλά και πολλές από τις συσκευές εκτέλεσης ελέγχων ηλεκτρικής ασφαλείας εκτελούν τους ελέγχους με βάση τη μεθοδολογία που προτείνεται από τα πρότυπα της σειράς IEC 601-1.

6.1.1 Ταξινόμηση ηλεκτρικών ιατρικών συσκευών

Ο βιοϊατρικός εξοπλισμός ταξινομείται ανάλογα με την προστασία που παρέχει στα ηλεκτρικά ατυχήματα στις παρακάτω κατηγορίες, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 601-1:

Ανάλογα με τον τύπο προστασίας έναντι ηλεκτρικού ατυχήματος:

- **Κλάση I (Class I)**
 - Βασική προστασία: μόνωση
 - Συμπληρωματική προστασία: προστατευτική γείωση
 - Ασφάλειες στη φάση και στον ουδέτερο

Μόνιμη σύνδεση του αγωγού προστατευτικής γείωσης με τα μεταλλικά μέρη του περιβλήματος

Σύμβολο: (χωρίς σύμβολο)

- **Κλάση II (Class II)**

- Βασική προστασία: μόνωση
- Συμπληρωματική προστασία: δεύτερη μόνωση
- Ενισχυμένη μόνωση
- Ασφάλειες στη φάση και τον ουδέτερο

Σύμβολο:



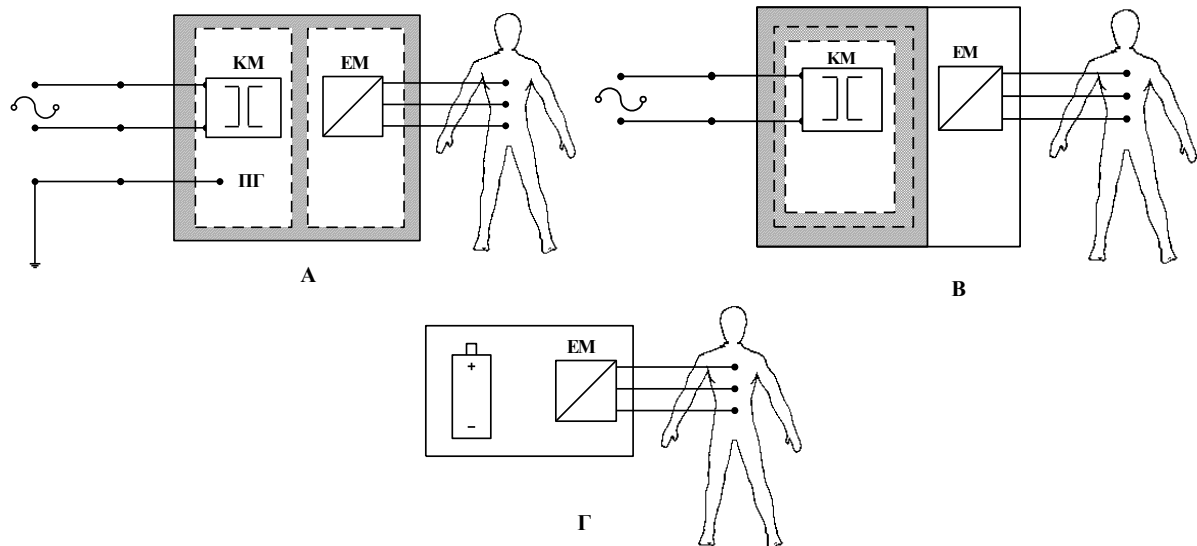
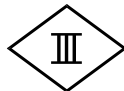
- **Κλάση III (Class III)**

- Βασική προστασία: χρήση χαμηλής τάσης (SELV)
- Μπαταρία ή μετασχηματιστής απομόνωσης

Εσωτερικά τροφοδοτούμενες συσκευές, συσκευές που τροφοδοτούνται από εσωτερική ηλεκτρική πηγή.

Η λειτουργία τους στηρίζεται στις πολύ χαμηλές τάσεις που δεν ξεπερνούν τις SELV (25V AC, 60V DC)




Σύμβολο:



Σχήμα 6.1: Σχήμα Α Συσκευές Class I, **Β.** Class II και **Γ.** Class III εσωτερικά τροφοδοτούμενες συσκευές

Πηγή: «Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού», Παληκαράκης Νικόλαος, Γκίκας-Πανούσης Σ. , Μαλατάρας Παναγιώτης, ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ, τ.-,τχ. 52, 1998, σ. 29-34

Ανάλογα με το βαθμό προστασίας που παρέχουν τα εφαρμοζόμενα μέρη ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες σε αύξουσα σειρά ανάλογα με το επίπεδο προστασίας:

Κατηγορία	Σύμβολο	Περιγραφή
Type B		Βασική προστασία από ηλεκτροπληξία με άμεση γείωση
Type BF		Επιπλέον προστασία λόγω απουσίας σύνδεσης με τη γη. Η απομόνωση εφαρμοζόμενων μερών καθιστά αδύνατη τη ροή ρεύματος διαρροής π.χ ενός απινιδωτή μέσα από τον ασθενή
Type CF		Προορίζονται για ιατρικά όργανα για καρδιακές εφαρμογές. Παρέχουν ακόμα μεγαλύτερη προστασία, ενώ τα όρια για τα ρεύματα διαρροής στον ασθενή είναι ακόμα πιο στενά.

Ο **τύπος B** αναφέρεται σε συσκευές που πρέπει να διαθέτουν ρεύμα διαρροής εντός των αποδεκτών ορίων και αξιοπιστία των συνδέσεων του αγωγού προστατευτικής γείωσης και προορίζονται για εσωτερική ή εξωτερική χρήση εξαιρούμενων αυτών που προορίζονται για καρδιακή χρήση. Επίσης συσκευές που δεν έχουν εφαρμοζόμενα μέρη θεωρούνται τύπου B.

F-Τύπου Εφαρμοζόμενο Μέρος (F-Type Applied Part): Είναι τα εφαρμοζόμενα μέρη τα οποία είναι μονωμένα από άλλα μέρη της συσκευής σε τέτοιο βαθμό ώστε κανένα ρεύμα διαρροής προς ασθενή δεν υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια.

Μεγαλύτερη σημασία πρέπει να δίνεται στα εφαρμοζόμενα μέρη τα οποία μπορεί να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα με απινιδωτή στους τύπους BF και CF, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία από ηλεκτροπληξία κατά τη συνδυασμένη χρήση τους.

Ο ιατρικός εξοπλισμός θα πρέπει να ελέγχεται τόσο κατά την παραλαβή, αλλά θα πρέπει να τηρείται περιοδική προληπτική συντήρηση και έλεγχος μετά από διορθωτική συντήρηση.

6.2 ΡΕΥΜΑΤΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ

Η χρήση όλο και περισσότερων ηλεκτροϊατρικών συσκευών για διάγνωση και θεραπεία, οι οποίες έρχονται σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα, μαζί με τα μικρά ανεξέλεγκτα ηλεκτρικά ρεύματα, μπορεί να δημιουργήσει επικίνδυνες καταστάσεις για τον ασθενή και το προσωπικό του νοσοκομείου. Έτσι έχει καταστεί αναγκαία η συνεχής επαγρύπνηση. Παρά το γεγονός ότι οι συσκευές πληρούν κατασκευαστικά

τους κανόνες της ασφαλούς λειτουργίας, ο έλεγχός τους πρέπει να παραμένει σχολαστικός και συνεχής.

6.2.1 Τι είναι τα ρεύματα διαρροής

Ως ρεύμα διαρροής ορίζεται το ρεύμα που διοχετεύεται προς τη γη, μέσω του αγωγού προστατευτικής γείωσης. Κατά την απουσία σύνδεσης με τη γη, ορίζεται ως το ρεύμα που μπορεί να ρέει σε οποιοδήποτε αγωγίμο μέρος ή στην επιφάνεια μη αγωγίμων μερών προς τη γη, αν υπάρχει κάποιος αγωγίμος δρόμος προς αυτή. Ένας τέτοιος δρόμος είναι το ανθρώπινο σώμα.

Η ύπαρξη ρευμάτων διαρροής αυξάνει την επικινδυνότητα της ηλεκτροπληξίας. Ακόμα και αν δεν υπάρξει κάποιο σφάλμα στη μόνωση, τα ρεύματα διαρροής που ρέουν μέσα στον αγωγό γείωσης μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία σε κάποιον που μπορεί να έρχεται σε επαφή με ένα αγείοτο κομμάτι του εξοπλισμού και τη γείωση (ή κάποιο γειωμένο κομμάτι του εξοπλισμού) ταυτόχρονα. Προφανώς αυτή η πιθανότητα είναι πολύ πιο σημαντική στην περίπτωση του νοσοκομείου, καθώς ο ασθενής μπορεί να είναι ο αποδέκτης του σοκ. Σ' αυτή την περίπτωση το σοκ μπορεί να αποβεί μοιραίο αν ο ασθενής είναι πολύ αδύναμος ή αν το ρεύμα διαρροής εφαρμοστεί σε εσωτερικά όργανα. Ένα μέσο προστασίας από αυτά σε μη γειωμένο εξοπλισμό είναι η διπλή μόνωση. Συνήθως το μέτρο αυτό είναι πολύ αποτελεσματικό, αλλά παρ' όλα αυτά οι παράγοντες που προκαλούν ρεύματα διαρροής δεν εξαλείφονται, οπότε πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή.

Τα ρεύματα διαρροής μπορεί να εμφανίζονται ως σταθερά ή δυναμικά ρεύματα διαρροής. Αν ξεπεράσουν την τιμή απόζευξης της διάταξης διαφορικού ρεύματος, τότε προκαλείται από τη διάταξη διακοπή/αποσύνδεση του τροφοδοτούμενου κυκλώματος. Γι' αυτό, τα ρεύματα αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του ονομαστικού ρεύματος διαρροής της διάταξης και του τύπου της διάταξης διαφορικού ρεύματος και να μειώνονται τόσο όσο απαιτείται για να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ασφάλεια για σταθερή λειτουργία της διάταξης και της εγκατάστασης γενικότερα.

6.2.2 Τι προκαλεί τα ρεύματα διαρροής

Υπάρχουν δυο βασικά είδη ρευμάτων διαρροής: τα AC και τα DC.

Τα DC ρεύματα συνήθως αφορούν συσκευές που δεν έχουν ρόλο τροφοδοτικού, αλλά μόνο τροφοδοτούνται.

Τα AC ρεύματα προέρχονται από τον παράλληλο συνδυασμό χωρητικών και στατικών (dc) αντιστάσεων* μεταξύ μιας πηγής τάσης (π.χ. φάσης της τροφοδοσίας) και των γειωμένων αγωγίμων μερών του εξοπλισμού. Η διαρροή που οφείλεται στη στατική αντίσταση είναι ασήμαντη συγκριτικά με την αντίσταση των παράλληλων χωρητικοτήτων. Τέτοιες χωρητικότητες μπορεί είτε να αποτελούν στοιχεία του κυκλώματος, είτε "ακούσιες" χωρητικότητες, για παράδειγμα μονώσεις μεταξύ ημιαγωγών και γειωμένων ψυκτρών, ή χωρητικότητες μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ενός μετασχηματιστή απομόνωσης.

Τα ρεύματα διαρροής επίσης μπορεί να εμφανίζονται ως σταθερά ή δυναμικά ρεύματα διαρροής:

Τα σταθερά ρεύματα διαρροής, όσο τροφοδοτείται με τάση το καλυπτόμενο από τη διάταξη κύκλωμα, ρέουν χωρίς να υπάρχει κάποιο σφάλμα μόνωσης, μέσω του αγωγού προστασίας προς τη γη. Τέτοια ρεύματα είναι συνήθως χωρητικά που προέρχονται από τη χωρητική συμπεριφορά των καλωδίων ή των ηλεκτρικών συσκευών, όπως επίσης και από υπάρχοντα φίλτρα στις συσκευές. Για τη μέτρησή τους χρησιμοποιούνται είτε ειδικές συσκευές, είτε ευαίσθητες αμπεροτσιμπίδες με δυνατότητα μέτρησης χαμηλών ρευμάτων. Στην πράξη για τη σταθερή λειτουργία μιας συσκευής, χωρίς προβλήματα, θα πρέπει τα σταθερά ρεύματα διαρροής να είναι $0,3 \cdot I_{\Delta N}$ (ονομαστικό ρεύμα διαρροής). Ακόμα και αν ο εξοπλισμός είναι σε τέλεια κατάσταση, η καθημερινή χρήση αλλά και η διαρκή μεταφορά του εξοπλισμού από δωμάτιο σε δωμάτιο σε επείγουσες καταστάσεις, προκαλεί φθορές. Τα σημεία που είναι πιο πιθανό να υπάρξει φθορά είναι στη σύνδεση καλωδίου με την πρίζα. Τέτοιες φθορές δεν είναι πάντα ορατές, γι' αυτό χρειάζεται έλεγχος με πολύμετρο. Ο εξοπλισμός που βρίσκεται κοντά στον ασθενή πρέπει να βρίσκεται σε καλή κατάσταση.

Με αποσυνδεδεμένο το καλώδιο γείωσης, το ρεύμα διαρροής πάνω στο πλαίσιο περιορίζεται στα 100 μA , ενώ το ρεύμα μεταξύ ασθενούς και περιβλήματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50 μA .

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που προκαλούν ρεύματα διαρροής:

- Ελαττωματικοί μονωτές
- Φθαρμένα καλώδια
- Βρωμιά
- Νερό
- Διαρροή ακτινοβολίας

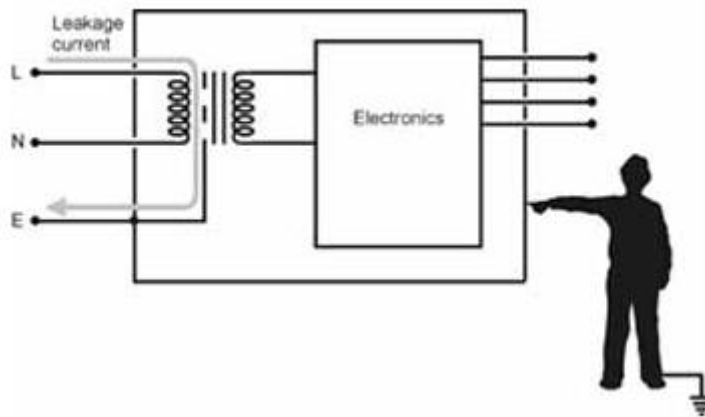
Σημείωση: * στατική αντίσταση = dc resistance: στοιχεία όπως οι δίοδοι και οι μπαταρίες δεν ικανοποιούν το νόμο του ohm και διαθέτουν μη γραμμικές αντιστάσεις όπως η dc η οποία ικανοποιεί τον ορισμό $R = V/I$ και ονομάζεται στατική

6.2.3 Είδη ρευμάτων διαρροής

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60601-1 υπάρχουν τα εξής είδη ρευμάτων διαρροής:

6.2.3.1 Ρεύμα διαρροής προς γη (Earth Leakage current)

Ονομάζεται το ρεύμα που διαφεύγει από τη συσκευή προς τον αγωγό προστατευτικής γείωσης από τα κύρια μέρη της, διαμέσου της μόνωσης και οφείλεται σε χωρητικά φαινόμενα, για παράδειγμα η χωρητική αντίσταση μεταξύ των αγωγών και του προστατευτικού περιβλήματος. Σε περίπτωση διακοπής του αγωγού προστατευτικής γείωσης το ρεύμα θα διαρρεύσει προς τη γη μέσω του ασθενή.

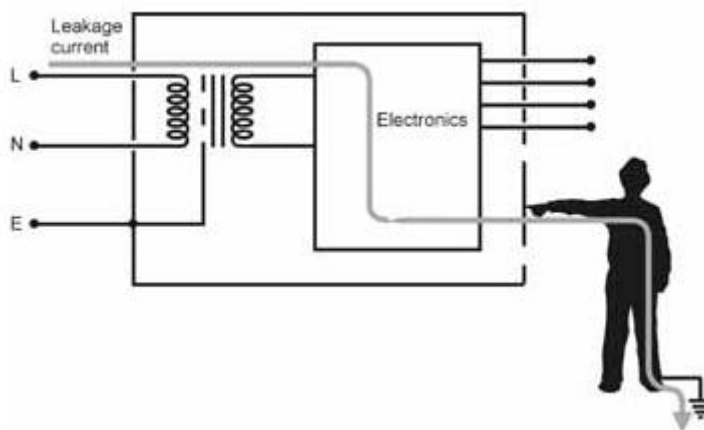


Σχήμα 6.2: Ρεύμα διαρροής προς τη γη

Πηγή: <http://www.ebme.co.uk/articles/electrical-safety/332-leakage-currents>

6.2.3.2 Ρεύμα διαρροής περιβλήματος (Enclosure Leakage Current)

Ονομάζεται το ρεύμα που διαρρέει από το περίβλημα ή άλλο προσβάσιμο μεταλλικό μέρος της συσκευής (εξαιρουμένων των εφαρμοζόμενων μερών) προς τη γη ή προς άλλο μέρος του περιβλήματος, μέσω άλλης αγωγίμης οδού από αυτής του αγωγού προστατευτικής γείωσης. Τέτοια ρεύματα είναι πιθανό να διαρρέουν το περίβλημα ακόμα και όταν ο αγωγός προστατευτικής γείωσης δεν παρουσιάζει καμία ασυνέχεια ή διακοπή.



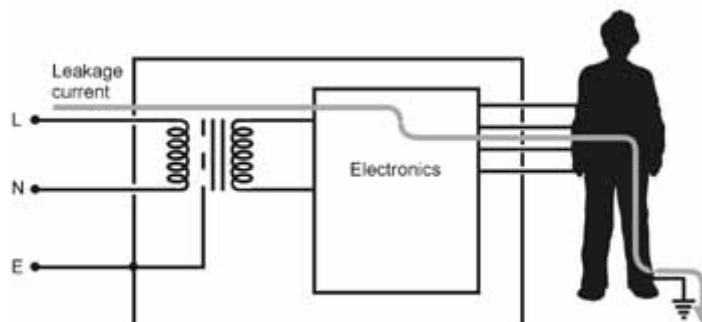
Σχήμα 6.3: Ρεύμα διαρροής περιβλήματος

Πηγή: <http://www.ebme.co.uk/articles/electrical-safety/332-leakage-currents>

6.3.3.3 Ρεύμα Διαρροής προς Ασθενή (Patient Leakage Current)

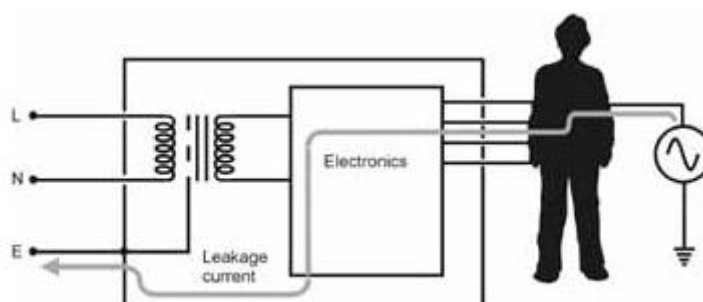
Ονομάζεται το ρεύμα διαρροής το οποίο διαρρέει από τα εφαρμοζόμενα μέρη μέσω του ασθενούς προς τη γη ή αντίστροφα από τον ασθενή μέσω των

εφαρμοσμένων μερών προς τη συσκευή και στη συνέχεια στη γη. Το ρεύμα αυτό οφείλεται είτε σε χωρητικά φαινόμενα, είτε στην εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στον ασθενή λόγω της παρουσίας εξωτερικής πηγής και παρουσιάζεται αυξημένο όταν ο αγωγός προστατευτικής γείωσης έχει διακοπεί. Η περίπτωση κατά την οποία εμφανίζεται ο ασθενής υπό τάση, λόγω εξωτερικής πηγής, θεωρείται πολύ σοβαρό ατύχημα και παρόλο που δεν είναι πολύ πιθανό να συμβεί, πρέπει να διασφαλιστεί ότι τα εφαρμοζόμενα μέρη είναι έτσι μονωμένα ώστε το ρεύμα δεν θα διαρρέυσει μέσω αυτών στην γη.



Σχήμα 6.4: Ρεύμα διαρροής από τον ασθενή προς τη συσκευή και έπειτα τη γη

Πηγή: <http://www.ebme.co.uk/articles/electrical-safety/332-leakage-currents>

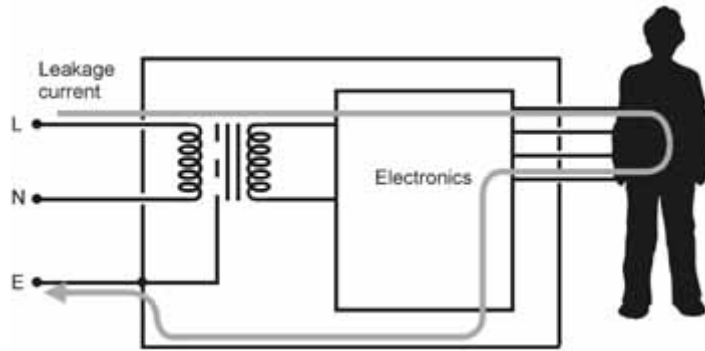


Σχήμα 6.5: Ρεύμα διαρροής από τη γη προς τον ασθενή

Πηγή: <http://www.ebme.co.uk/articles/electrical-safety/332-leakage-currents>

6.2.3.4 Βοηθητικό Ρεύμα Ασθενούς (Patient Auxiliary Current)

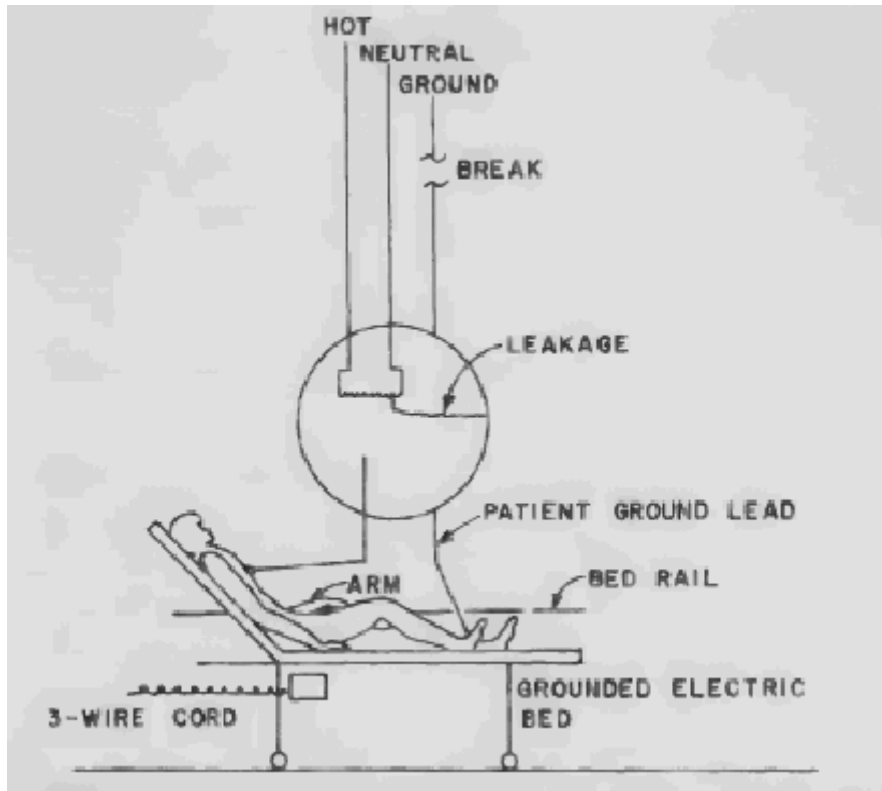
Είναι το ρεύμα το οποίο διαρρέει τον ασθενή όταν η συσκευή βρίσκεται σε κανονική λειτουργία και το οποίο είναι μεν απαραίτητο για τη λειτουργία της συσκευής, αλλά δε στοχεύει στη δημιουργία φυσιολογικών αποτελεσμάτων. Τα ρεύματα αυτά χρησιμοποιούνται π.χ. στους καρδιογράφους (ρεύμα πόλωσης-bias current) και στην πληθυσμογραφία εμπέδησης (impedance plethysmography).



Σχήμα 6.6: Βοηθητικό ρεύμα ασθενή

Πηγή: <http://www.ebme.co.uk/articles/electrical-safety/332-leakage-currents>

Παρακάτω περιγράφεται ο κίνδυνος εξαιτίας ρευμάτων διαρροής, όταν υπάρχει μια συσκευή στο νοσοκομείο με ένα ελαττωματικό τριφασικό καλώδιο.



Σχήμα 6.7

Πηγή: faculty.etsu.edu/blanton/Safety_1.ppt

Εδώ ο ασθενής βρίσκεται σε ένα ηλεκτρικό κρεβάτι με ένα καλώδιο που δεν έχει υποστεί φθορά. Αυτό σημαίνει ότι ο ασθενής όταν τοποθετεί το κεφάλι του στο κρεβάτι είναι και αυτός γειωμένος. Δεν εμφανίζεται έτσι κάποιο πρόβλημα μέχρι που χρησιμοποιείται μια συσκευή, όπως ένας ΗΚΓ ή με μια συσκευή άπνοιας, με ελαττωματικό τριφασικό καλώδιο.

Ο κατασκευαστής έχει σχεδιάσει τη συσκευή, ώστε το τριφασικό καλώδιο να λειτουργεί και διαρροές στη μονάδα του θα οδηγηθεί στο περίβλημα και στο καλώδιο γείωσης.

- Στην περίπτωση ελαττωματικού καλωδίου το ρεύμα ξαναγυρνάει στο σύστημα μέσω του ασθενή.

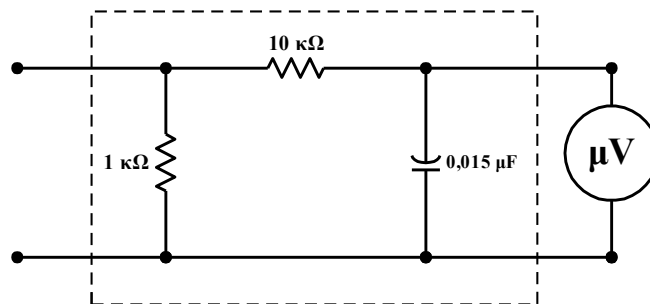
6.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι πάρα πολύ σημαντικός ο έλεγχος των ηλεκτροϊατρικών συσκευών των βασικών παραμέτρων τους, ώστε να διαπιστώνεται η ασφαλής ή μη λειτουργία τους. Ο έλεγχος αυτών των παραμέτρων γίνεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, που προσομοιάζουν τις διάφορες λειτουργικές καταστάσεις της συσκευής και διαφέρουν ανάλογα με το είδος της συσκευής. Οι έλεγχοι αφορούν κυρίως την αντίσταση μεταξύ του αγωγού γείωσης της συσκευής και την ένταση των μη λειτουργικών ρευμάτων, τα οποία διαρρέουν την συσκευή (Ρεύματα Διαρροής, Leakage Currents). Σκοπός των ελέγχων είναι η διασφάλιση της διατήρησης των τιμών των παραμέτρων εντός αποδεκτών ορίων, αφού δεν είναι δυνατή η δημιουργία ιδανικών συνθηκών όπου οι τιμές του ρεύματος και της αντίστασης να μηδενίζονται.

6.3.1 Μέσα μέτρησης

Για τον έλεγχο ηλεκτρικής ασφάλειας των ιατρικών συσκευών είναι καλό να χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένες συσκευές, οι οποίες ονομάζονται αναλυτές ηλεκτρικής ασφάλειας (Electrical Safety Analyzers). Βέβαια γι' αυτούς τους ελέγχους μπορεί να γίνει και χρήση κλασσικών μέσων, όπως τροφοδοτικά, μικροαμπερόμετρα, διακόπτες, μικροκυκλώματα ηλεκτρικών στοιχείων κ.α .

Αν και οι αναλυτές αυτοί έχουν σχετικά υψηλό κόστος, συνίσταται η χρήση τους, αφού παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματης διεξαγωγής των ελέγχων και καταγραφής των δεδομένων σε ηλεκτρονικά ή έντυπα μέσα. Επίσης απλοποιούν τη διαδικασία εκτέλεσης των ελέγχων, μειώνουν το χρόνο που απαιτείται για τη διεξαγωγή τους και είναι πιο αξιόπιστοι και ακριβείς. Όλοι οι αναλυτές που διατίθενται στην αγορά εκτελούν τις μετρήσεις που υποδεικνύουν τα διεθνή πρότυπα, ενώ κάποιοι από αυτούς παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχων και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται είτε με την ασφάλεια της ηλεκτρικής εγκατάστασης ή με τον τρόπο λειτουργίας κάποιων συσκευών.



Σχήμα 6.8: Ηλεκτρικό κύκλωμα της μετρητικής διάταξης που προτείνεται για την μέτρηση των παραμέτρων των ελέγχων. Η διάταξη έχει ηλεκτρική συμπεριφορά αντίστοιχη με αυτή του ανθρώπινου σώματος.

Πηγή: «Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού», Παληκαράκης Νικόλαος, Γκίκας-Πανούσης Σ. , Μαλατάρας Παναγιώτης, ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ, τ. -, τχ. 52, 1998, σ. 29-34

6.3.2 Παράμετροι

Οι παράμετροι που εξετάζονται αναλυτικά είναι οι παρακάτω:

ΠΙΝΑΚΑΣ: Οι υπό εξέταση παράμετροι και τα αποδεκτά όρια για όλες τις συνθήκες μέτρησης		
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΟΡΙΑ
Ρευματοδότης	Τάση Δικτύου	230V
	Τάση Ουδετέρου – Γείωσης	2V
	Αντίσταση Γείωσης	0.2Ω
Αντίσταση Αγωγού Γείωσης και Περιβλήματος		0.2Ω
Ρεύμα Διαρροής προς Γη	Ορθή πολικότητα	500μΑ
	Ανάστροφη πολικότητα	500μΑ
	Διακοπή Φάσης	1000μΑ
	Διακοπή Ουδετέρου	1000μΑ
Ρεύμα Διαρροής Περιβλήματος	Ορθή πολικότητα	100μΑ
	Ανάστροφη πολικότητα	100μΑ
	Διακοπή Φάσης	500μΑ
	Διακοπή Ουδετέρου	500μΑ
	Διακοπή Γείωσης με Ορθή Πολικότητα	500μΑ
	Διακοπή Γείωσης με Ανάστροφη Πολικότητα	500μΑ
Ρεύμα Διαρροής Προς Ασθενή	Ορθή πολικότητα	100μΑ *
	Ανάστροφη πολικότητα	100μΑ *
	Διακοπή Φάσης	500μΑ *
	Διακοπή Ουδετέρου	500μΑ *
	Διακοπή Γείωσης με Ορθή Πολικότητα	500μΑ *
	Διακοπή Γείωσης με Ανάστροφη Πολικότητα	500μΑ *
	110% Τάσης Δικτύου στα Εφαρμοζόμενα Μέρη	500μΑ *
Βοηθητικό	Ορθή πολικότητα	100μΑ *
	Ανάστροφη πολικότητα	100μΑ *

Ρεύμα Ασθενούς	Διακοπή Φάσης	500 μ A *
	Διακοπή Ουδετέρου	500 μ A *
	Διακοπή Γείωσης με Ορθή Πολικότητα	500 μ A *
	Διακοπή Γείωσης με Ανάστροφη Πολικότητα	500 μ A *
Οπτικός Έλεγχος	Ρευματοδότη	-
	Ρευματολήπτη	-
	Αγωγού Τροφοδοσίας	-

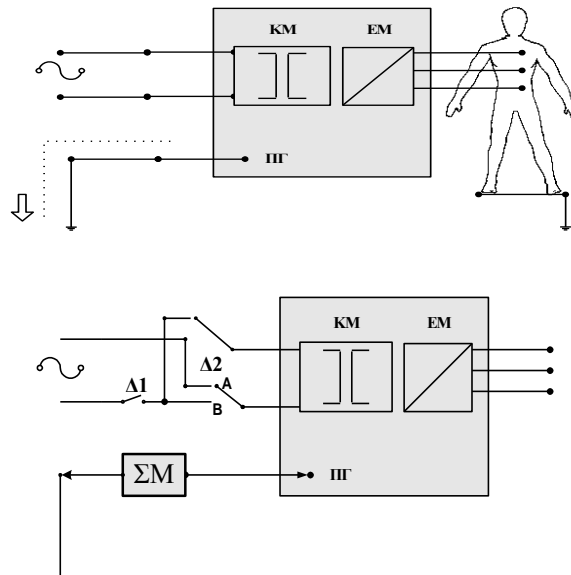
*Για συσκευές με CF εφαρμοζόμενα μέρη το όριο είναι 10 φορές μικρότερο, δηλαδή 10 μ A και 50 μ A αντίστοιχα

Πίνακας 6.1

6.3.3 Έλεγχος ρευμάτων διαρροής

6.3.3.1 Ρεύμα διαρροής προς γη (Earth Leakage current)

Για τη διεξαγωγή του ελέγχου του ρεύματος διαρροής προς γη, η συσκευή μέτρησης παρεμβάλλεται στον αγωγό προστατευτικής γείωσης, μεταξύ του ακροδέκτη γείωσης της συσκευής και του τερματικού της γείωσης του ρευματοδότη.

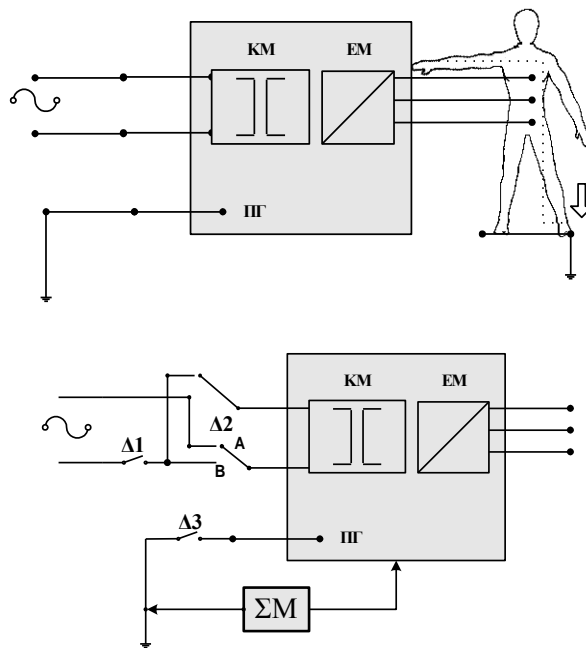


Σχήμα 6.9: Διάγραμμα ρεύματος διαρροής προς γη και της διάταξης μέτρησής του

Πηγή: «Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού», Παληκαράκης Νικόλαος, Γκίκας-Πανούσης Σ. , Μαλατάρας Παναγιώτης, ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ, τ.-,τχ. 52, 1998, σ. 29-34

6.3.3.2 Ρεύμα διαρροής περιβλήματος (Enclosure Leakage Current)

Για την διεξαγωγή του ελέγχου οι ακροδέκτες της συσκευής μέτρησης τοποθετούνται μεταξύ του τερματικού του αγωγού προστατευτικής γείωσης του ρευματοδότη και σε αγωγία μέρη του περιβλήματος της συσκευής. Προσοχή απαιτείται όταν τοποθετείται ο ακροδέκτης στο περίβλημα της συσκευής, καθώς πρέπει το σημείο επαφής να είναι πραγματικά αγωγίμο και να μην είναι είτε μεταλλική ετικέτα (π.χ. όνομα της κατασκευάστριας εταιρίας) που δεν είναι απαραίτητο να είναι γειωμένη ή μεταλλικό μέρος που έχει επικαλυφθεί με μονωτικά χρώματα. Ειδικά για τις συσκευές με εσωτερική τροφοδοσία που διαθέτουν προσβάσιμα μεταλλικά μέρη, το ρεύμα διαρροής περιβλήματος μετριέται μεταξύ δύο σημείων του περιβλήματος και αντίστοιχα τοποθετούνται οι ακροδέκτες της συσκευής μέτρησης.



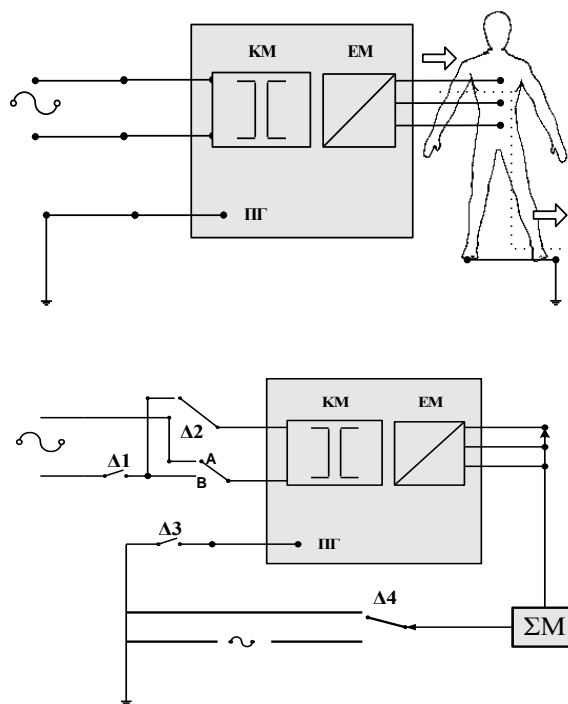
Σχήμα 6.10: Διάγραμμα ρεύματος διαρροής περιβλήματος και της διάταξης μέτρησής του

Πηγή: «Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού», Παληκαράκης Νικόλαος, Γκίκας-Πανούσης Σ. , Μαλατάρας Παναγιώτης, ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ, τ.-,τχ. 52, 1998, σ. 29-34

6.3.3.3 Ρεύμα Διαρροής προς Ασθενή (Patient Leakage Current)

Ο έλεγχος του ρεύματος διαρροής ασθενούς χωρίζεται σε δύο επιμέρους ελέγχους εκ των οποίων ο πρώτος εξετάζει το ρεύμα που διαρρέει τα εφαρμοζόμενα μέρη και προέρχεται από τη συσκευή, ενώ ο δεύτερος εξετάζει το ρεύμα που θα διατρέξει τα εφαρμοζόμενα μέρη όταν παρουσιαστεί διαφορά δυναμικού στον ασθενή, λόγω εξωτερικής ηλεκτρικής πηγής. Για τη διεξαγωγή του πρώτου μέρους του ελέγχου αυτής της παραμέτρου όλα τα ηλεκτρόδια συνδέονται μεταξύ τους και οι ακροδέκτες της συσκευής μέτρησης τοποθετούνται στον αγωγό προστατευτικής γείωσης και στην ένωση των ηλεκτροδίων. Στο δεύτερο μέρος εφαρμόζεται εξωτερική τάση στα ηλεκτρόδια μέσω της συσκευής ελέγχου, όπου παρεμβάλλεται

πηγή/τροφοδοτικό (110% της τάσης τροφοδοσίας) μεταξύ του ακροδέκτη της συσκευής μέτρησης και του αγωγού προστατευτικής γείωσης. Ειδικά για τις εσωτερικά τροφοδοτούμενες συσκευές που διαθέτουν προσβάσιμα μεταλλικά μέρη το ρεύμα διαρροής ασθενή μετριέται μεταξύ των ηλεκτροδίων και ενός σημείου του περιβλήματος και αντίστοιχα τοποθετούνται οι ακροδέκτες της συσκευής μέτρησης.

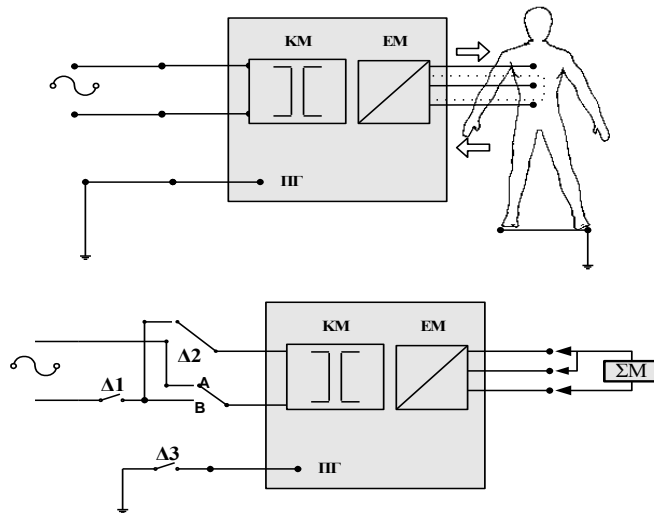


Σχήμα 6.11: Διάγραμμα ρεύματος διαρροής προς ασθενή και της διάταξης μέτρησής του

Πηγή: «Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού», Παληκαράκης Νικόλαος, Γκίκας-Πανούσης Σ. , Μαλατάρας Παναγιώτης, ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ, τ.-,τχ. 52, 1998, σ. 29-34

6.3.3.4 Βοηθητικό Ρεύμα Ασθενή (Patient Auxiliary Current)

Για την διεξαγωγή του ελέγχου για το βοηθητικό ρεύμα ασθενούς όλα τα ηλεκτρόδια, πλην ενός, συνδέονται μεταξύ τους. Οι ακροδέκτες της συσκευής μέτρησης τοποθετούνται στο μεμονωμένο ηλεκτρόδιο και στην ένωση των ηλεκτροδίων. Μόλις ολοκληρωθεί η μέτρηση για ένα ηλεκτρόδιο επαναλαμβάνεται για τα υπόλοιπα (δηλαδή το καθένα από τα ηλεκτρόδια εξετάζεται ως προς τα υπόλοιπα).



Σχήμα 25

Σχήμα 25: Διάγραμμα βοηθητικού ρεύματος ασθενή και της διάταξης μέτρησής του
 Πηγή: «Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού»,
 Παληκαράκης Νικόλαος, Γκίκας-Πανούσης Σ., Μαλατάρας Παναγιώτης,
 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ, τ.-, τχ. 52, 1998, σ. 29-34

6.3.4 Συμπληρωματικοί έλεγχοι

6.3.4.1 Ρευματοδότης

Εκτός από τις συσκευές ένα άλλο κομμάτι της ηλεκτρικής εγκατάστασης που πρέπει να υπόκειται σε έλεγχο είναι οι ρευματοδότες, δηλαδή να γίνεται έλεγχος σε μια σειρά παραμέτρων όπως:

- Τάση δικτύου
- Τάση μεταξύ ουδέτερου και γείωσης
- Αντίσταση του αγωγού προστατευτικής γείωσης (PE)

Η τελευταία μέτρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς η συνέχεια και η μικρή αντίσταση του αγωγού προστατευτικής γείωσης είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες στη διασφάλιση της ηλεκτρικής ασφάλειας. Ο έλεγχος των ρευματοδοτών μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα με τον έλεγχο της συσκευής ή σε αυτόνομη διαδικασία ελέγχου ρευματοδοτών.

6.3.4.2 Οπτικός έλεγχος

Επειδή υπάρχουν σημεία που εγκυμονούν κινδύνους και που δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν από την διενέργεια των ποσοτικών ελέγχων, για να ολοκληρωθεί ο έλεγχος κάθε συσκευής απαιτείται μια γενική οπτική επιθεώρηση της συσκευής και ιδιαίτερα συγκεκριμένων μερών της, όπως του αγωγού τροφοδοσίας, του ρευματολήπτη, του ρευματοδότη και του περιβλήματος της συσκευής. Πιο συγκεκριμένα ελέγχεται η ύπαρξη σπασμένων μερών ή ραγισμάτων και φθαρμένων σημείων στον αγωγό τροφοδοσίας καθώς και η προσαρμογή του ρευματοδότη στον τοίχο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ: ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

7.1 Μακροπληξία και μικροπληξία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχουν δυο μορφές ηλεκτροπληξίας στα νοσοκομεία: η μακροπληξία και η μικροπληξία.

Η μακροπληξία είναι ένα ηλεκτρικό σοκ εξαιτίας ερεθισμάτων στο εξωτερικό του σώματος. Σε αυτή την περίπτωση ρεύματα της τάξης των 100 με 300 mA μπορούν να προκαλέσουν καρδιακή μαρμαρυγή. Η χαμηλότερη τιμή που εμφανίζει το σώμα, με καλά προετοιμασμένα ηλεκτρόδια, είναι μεταξύ των 1000 με 1600 Ω, γι' αυτό οι τάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων της τάξης των 75-120 V μπορούν να είναι επικίνδυνες. Όλοι οι ασθενείς είναι εκτεθειμένοι στον κίνδυνο μακροπληξίας λόγω ελαττωματικών ηλεκτρικών συσκευών, όπως λάμπες ή κινητήρες για προσαρμογή των ηλεκτρικών κρεβατιών. Όμως, στα νοσοκομεία η μακροπληξία μπορεί ακόμα να προκύψει, για παράδειγμα, από ένα ελαττωματικό ηλεκτροκαρδιογράφο, με την εφαρμογή ηλεκτροδίων στο σώμα του ασθενούς.

Η μικροπληξία είναι πολύ πιο επικίνδυνη από τη μακροπληξία. Κάθε ασθενής που είναι συνδεδεμένος με έναν ηλεκτρικό αγωγό που μπορεί να εκτείνεται από το εσωτερικό της καρδιάς του μέχρι την επιφάνεια του σώματός του, μπορεί να υποστεί μικροπληξία. Βέβαια, οι ασθενείς που είναι "καλωδιωμένοι" εσωτερικά σε βηματοδότες ή καρδιακούς καθετήρες είναι σχετικά πολύ λίγοι. Ρεύματα ακόμα και της τάξης των 50 μΑ που μπορούν να προκληθούν από τάσεις των 5 mV και υπό αυτές τις συνθήκες, μπορεί να προκαλέσουν κοιλιακή μαρμαρυγή.

Παρατηρώντας τα ρεύματα και τις τάσεις που μπορούν να προκαλέσουν μαρμαρυγή στις δυο αυτές περιπτώσεις ηλεκτροπληξίας, φαίνεται πως η αποφυγή της μακροπληξίας μπορεί να επιτευχθεί με την αποτελεσματική εφαρμογή των συμβατικών μεθόδων ασφαλείας, ενώ η πρόληψη του κινδύνου από μικροπληξία απαιτεί ένα προσεκτικά σχεδιασμένο και ελεγχόμενο ηλεκτρικό περιβάλλον για τον ασθενή.

7.2 Μέθοδοι μείωσης του κινδύνου μικροπληξίας

7.2.1 Απομονωμένα κυκλώματα

Εξαιτίας της αυξημένης χρήσης εσωτερικών αγωγίμων ηλεκτροδίων ή καθετήρων με φυσιολογικό ορό, οι ασθενείς στις μονάδες εντατικής θεραπείας ή στην καρδιολογική μονάδα εντατικής θεραπείας εκτίθενται στον κίνδυνο μικροπληξίας. Με τη βελτίωση των κυκλωμάτων των τρανζίστορ, δεν υπήρχε πλέον κανένας λόγος ώστε να υπάρχει ένα άμεσο αγωγίμο "μονοπάτι" προς τη γη, μέσω του ασθενούς για τη σωστή λειτουργία συσκευών, όπως το μόνιτορ ενός ηλεκτροκαρδιογράφου (ΗΚΓ), μια οθόνη παρακολούθησης πίεσης, ή ενός φορητού ηλεκτροκαρδιογράφου.

Γι' αυτό το λόγο, πρέπει να διατηρούνται υψηλές σύνθετες αντιστάσεις στα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στους ασθενείς. Κάτι τέτοιο απαιτεί προσοχή από το ιατρικό προσωπικό, όσον αφορά στο χειρισμό εσωτερικών αγωγών που περνάνε μέσα ή κοντά από την περιοχή της καρδιάς. Επίσης, απαιτείται η κατάλληλη επιλογή

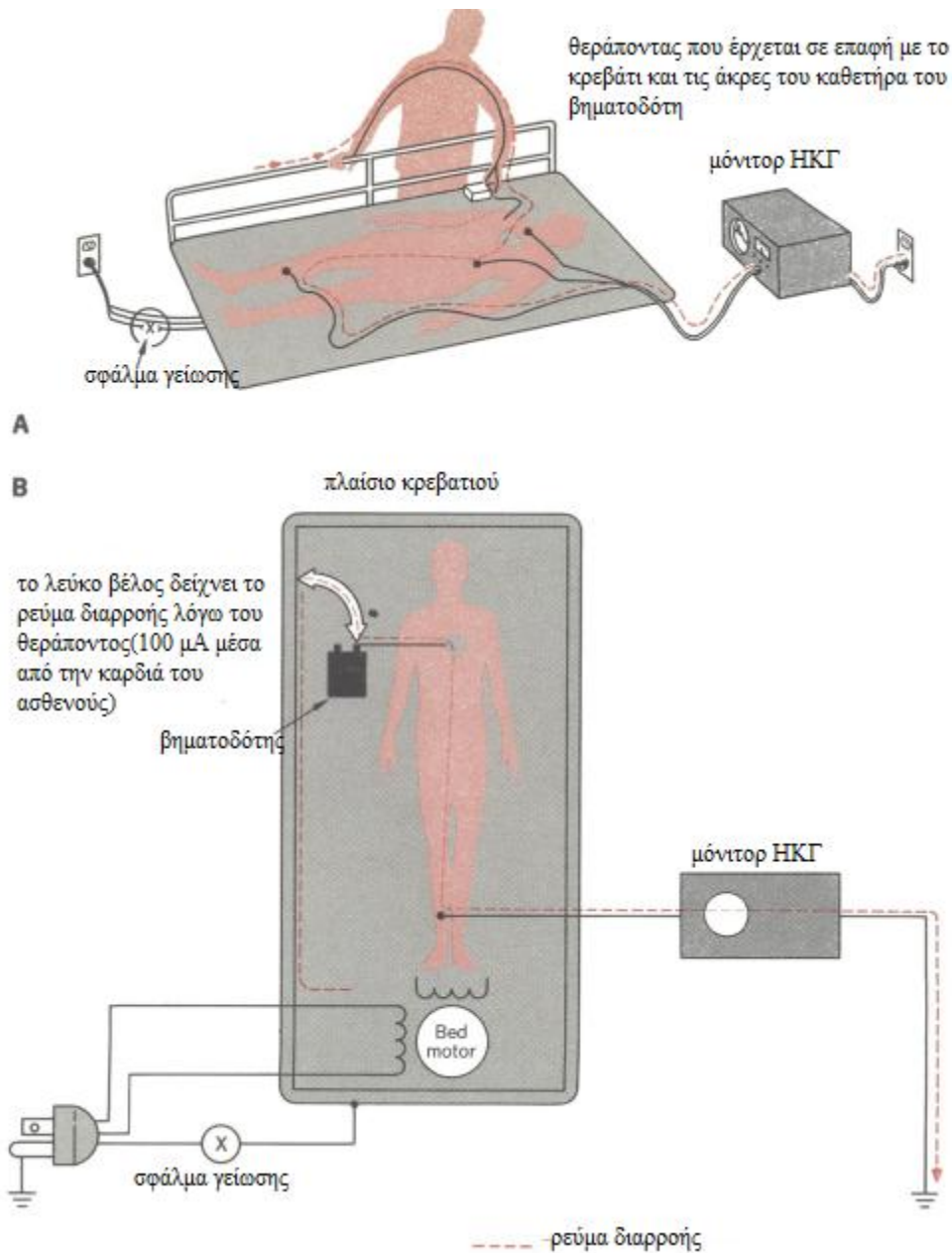
των κυκλωμάτων του εξοπλισμού, τα οποία είναι κατάλληλα απομονωμένα (χωρίς διαθέσιμες αγωγίμες διαδρομές για το ρεύμα), τόσο από τη γραμμή τροφοδοσίας όσο και από τη γη. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί σχεδιάζοντας κυκλώματα απομόνωσης στην είσοδο οργάνων, όπως π.χ. των ηλεκτροκαρδιογράφων, τα οποία συνδέονται με τον ασθενή μέσω ηλεκτροδίων.

Τα απομονωμένα κυκλώματα, που συνδέονται άμεσα με τον ασθενή, είναι φυσικά απομονωμένα από τη γη και από τα άλλα τμήματα του ΗΚΓ ή τη μονάδα παρακολούθησης του ασθενούς. Ένα απομονωμένο κύκλωμα, για παράδειγμα τροφοδοτείται μέσω ενός μικρού μετασχηματιστή απομόνωσης (που λειτουργεί σε υψηλές συχνότητες) μέσα στο όργανο και μεταδίδει το σήμα του ΗΚΓ μέσω ενός άλλου μετασχηματιστή απομόνωσης (ίδιας συχνότητας) στο κομμάτι καταγραφής και απεικόνισης της συσκευής. Κανένας αγωγίμος "δρόμος" δεν υπάρχει μεταξύ των απομονωμένων και των υπόλοιπων τμημάτων του οργάνου. Αν ήταν δυνατόν το κύκλωμα να κατασκευαστεί απείρως μικρό ή να διαχωριστεί μέσω άπειρης απόστασης από τα υπόλοιπα κομμάτια της συσκευής, τότε θα μπορούσε να επιτευχθεί η τέλεια απομόνωση. Από τη στιγμή που κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό, υπάρχει μια μικρή εναπομένουσα χωρητικότητα ανάμεσα στα απομονωμένα και στα γειωμένα κομμάτια των κυκλωμάτων. Βέβαια με τις σημερινές τεχνικές στα 50 Hz μπορούν να επιτευχθούν αντιστάσεις απομόνωσης γείωσης των 10 MΩ μεταξύ της εισόδου και της εξόδου.

Επίσης, μπορούν να απομονωθούν κι άλλες συσκευές παρακολούθησης που συνδέονται με τον ασθενή. Για παράδειγμα, μπορούν να σχεδιασθούν μετατροπείς για μέτρηση αρτηριακής και φλεβικής πίεσης, ώστε ο καθετήρας φυσιολογικού ορού να μη συνδέεται στο περίβλημα της συσκευής καταγραφής πίεσης μέσω του καλωδίου του μετατροπέα. Όπως επίσης, ανιχνευτές θερμοκρασίας, υπέρηχοι καρδιάς (heart-sound microphones) και μετατροπείς για την παρακολούθηση της αναπνοής (respiration transducers).

7.2.1.1 Σημασία απομόνωσης ασθενών

Στο παρακάτω σχήμα 7.1 φαίνονται τα πλεονεκτήματα της απομόνωσης του ασθενούς από τα ηλεκτρόδια ενός ΗΚΓ. Εδώ, ο ασθενής συνδέεται με έναν ΗΚΓ, ο οποίος γειώνει το δεξί του πόδι και το ηλεκτρόδιο αυτό γίνεται κομμάτι ενός επικίνδυνου "δρόμου" ρεύματος, όταν ο νοσηλευτής ακουμπά το ηλεκτρικό κρεβάτι (με σφάλμα στη γείωση) και τα τερματικά του καθετήρα του βηματοδότη ταυτόχρονα. Το ρεύμα που θα ρέει μέσα από το μόνιτορ θα είναι γύρω στα 100 μA . Έστω τώρα ότι η οθόνη (monitor) του ΗΚΓ έχει απομονωμένα κυκλώματα εισόδου (σχήμα 7.2), με σύνθετη αντίσταση απομόνωσης 25 MΩ, τότε το ρεύμα που θα ρέει μέσα από το monitor θα είναι λιγότερο των 5 μA , μια πολύ μεγάλη μείωση σε σχέση με τα 100 μA του σχήματος 7.1.



Σχήμα 7.1: A- Ανατομία ενός ατυχήματος: το σφάλμα στη σύνδεση γείωσης στο ηλεκτρικό κρεβάτι επιτρέπει την ύπαρξη μιας τάσης στο πλαίσιο του κρεβατιού, εξαιτίας της χωρητικής σύζευξης μεταξύ του πλαισίου και της πρωτεύουσας καλωδίωσης στο κρεβάτι. Εδώ, ο θεράπων παρέχει ακούσια την ολοκλήρωση του δρόμου του ρεύματος (απ' την πηγή μέσα από το καλώδιο του βηματοδότη, στον ασθενή και στη γη) όταν ακουμπά το κρεβάτι, επιτρέποντας έτσι στο ρεύμα διαρροής να περάσει μέσα από το σώμα του και από τον ασθενή.

B- Σε αυτό το μπλοκ διάγραμμα γίνεται ανάλυση του δρόμου του ρεύματος διαρροής του A

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander

οποιαδήποτε άλλη επιφάνεια ή όργανο στο περιβάλλον του ασθενούς, σε λιγότερο από 5 mV- ώστε το ρεύμα να είναι κάτω από τα 10 μ A.

Βέβαια η διατήρηση μιας τόσο χαμηλής διαφοράς δυναμικού δεν είναι εύκολη υπόθεση. Αν ένα ρεύμα διαρροής από μια συσκευή κοντά στον ασθενή ξεπερνά τα 5 mA, και η γείωσή της ξεπερνά το 1 Ω , τότε το δυναμικό στο εξωτερικό της συσκευής θα ξεπεράσει τα 5 mV που θεωρούνται επικίνδυνα. Ακόμα, αν υπάρξει ένα εσωτερικό σφάλμα μόνωσης στη συσκευή, επιτρέποντας σε ένα ενεργό καλώδιο να ακουμπήσει ένα γειωμένο κομμάτι της συσκευής, τότε το ρεύμα σφάλματος που προκύπτει μπορεί να φτάσει τιμή αρκετών amperes μέχρι να αποσυνδεθεί η συσκευή από την ασφάλεια. Μεγαλύτερα ρεύματα σφάλματος θα προκαλέσουν διαφορές αρκετών Volts, πράγμα επικίνδυνο στο περιβάλλον του ασθενούς ο οποίος μπορεί να συνδέεται με έναν εσωτερικό καθετήρα.

Ο μετασχηματιστής ισχύος προτείνεται ως ένα βασικό στοιχείο ενός ηλεκτρικού συστήματος για να περιορίσει τις τάσεις κοντά σ' έναν ευπαθή ασθενή.

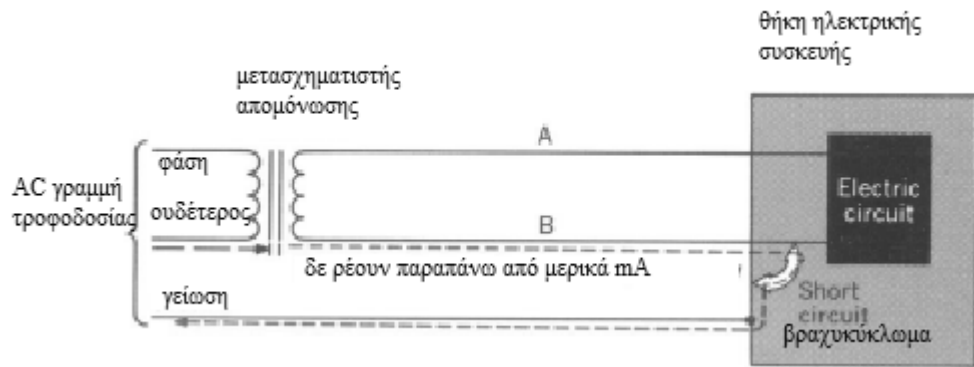
7.2.1.2.1 Προστασία μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία του μετασχηματιστή απομόνωσης, πρέπει να αναλογιστούμε τα μοντέρνα κυκλώματα των νοσοκομείων, που περιλαμβάνουν:

- Το καλώδιο της φάσης που έχει 230 V διαφορά από τη γη
- Τον ουδέτερο
- Το καλώδιο της γείωσης

Το καλώδιο της γείωσης παρέχει ένα ασφαλές "μονοπάτι" επιστροφής των ρευμάτων διαρροής από τις συσκευές. Η υπόθεση είναι ότι η γείωση συνδέεται στο εξωτερικό αυτών των συσκευών. Επίσης το καλώδιο της γείωσης εξυπηρετεί τη μεταφορά μεγάλων ρευμάτων διαρροής, αν ένα κομμάτι που διαρρέεται από ρεύμα έρθει σε επαφή με το εξωτερικό μιας συσκευής, αποτρέποντας έτσι το εξωτερικό να παρουσιάζει διαφορά δυναμικού από τη γη. Σε αυτόν τον τύπο κυκλώματος τροφοδοσίας, η ποσότητα ρεύματος που θα ρέει σε περίπτωση που ένας ενεργός αγωγός έρθει σε επαφή με ένα γειωμένο κομμάτι της συσκευής, περιορίζεται μόνο από τα κυκλώματα ασφαλείας (ασφάλειες, αποζεύκτες).

Στο σχηματιστή απομόνωσης που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 7.3 και οι δυο πλευρές είναι απομονωμένες από τη γη και είτε η γραμμή Α είτε η Β μπορούν να βραχυκυκλωθούν με τη γη χωρίς να περνά μεγάλο ρεύμα από τη σύνδεσή τους. Για την ακρίβεια, το ρεύμα που θα ρέει σε ένα βραχυκύκλωμα προς τη γη περιορίζεται από τη χωρητικότητα διαρροής του μετασχηματιστή και της καλωδίωσης. Γενικά περιορίζεται σε μερικά mA.



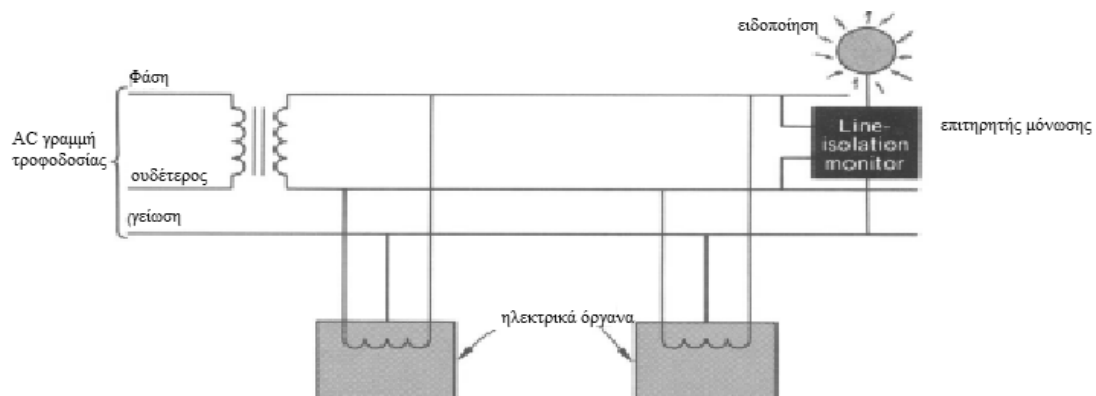
Σχήμα 7.3: Σχηματική παρουσίαση του μετασχηματιστή απομόνωσης. Είτε η γραμμή A είτε η B μπορεί να βραχυκυκλωθεί με τη γη χωρίς να περνάει μεγάλο ρεύμα μέσα από τη σύνδεση.

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander

Ο μετασχηματιστής παρέχει ακόμα ένα μεγάλο βαθμό προστασίας έναντι στην ηλεκτροπληξία του προσωπικού του νοσοκομείου. Από τη στιγμή που όλος ο εξοπλισμός των χειρουργείων και όλος ο αγωγίμος εξοπλισμός είναι γειωμένος, ώστε να αποτρέπονται στατικές εκφορτίσεις (και πιθανές πυρκαγιές ή εκρήξεις από τα αναισθητικά αέρια), υπάρχει η πιθανότητα το προσωπικό να πάθει ηλεκτροπληξία σε περίπτωση επαφής με έναν ενεργό αγωγό. Βέβαια, όπως έχει ήδη σημειωθεί, τα σφάλματα φάσης – γης περιορίζονται σε μερικά mA, επομένως η τυχαία επαφή με έναν ενεργό αγωγό μπορεί να έχει επώδυνα αποτελέσματα, αλλά όχι θανατηφόρα.

7.2.1.2 Επιτηρητής μόνωσης

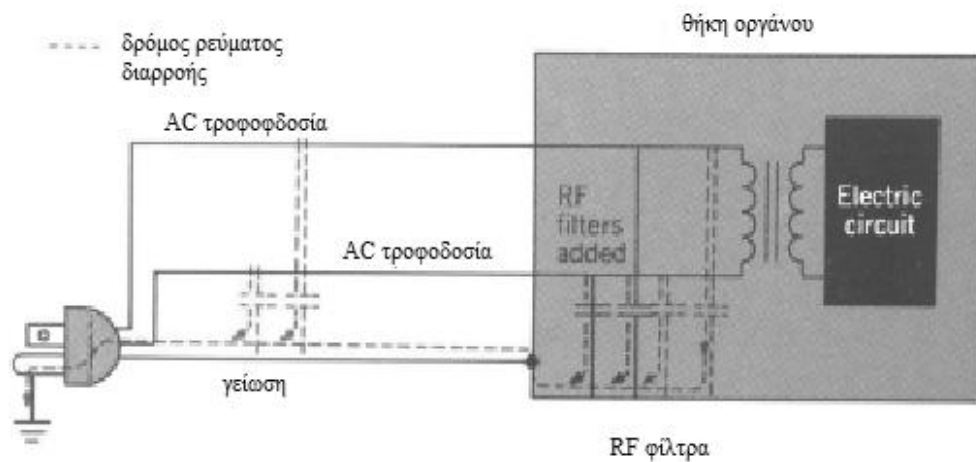
Ένα πρόσθετο μέτρο προστασίας σε συνδυασμό με το μετασχηματιστή απομόνωσης είναι ένας επιτηρητής μόνωσης (σχήμα 7.4).



Σχήμα 7.4: Διάγραμμα ενός M/Σ απομόνωσης εξοπλισμένο με έναν επιτηρητή μόνωσης και συναγερμό ειδοποίησης

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander

Αυτός συνδέεται σε έναν ανιχνευτή που έχει οριστεί ώστε να ενεργοποιεί μια ειδοποίηση (alarm) σε περίπτωση που η σύνθετη αντίσταση των γραμμών πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο (συνήθως τα 60 kΩ). Επομένως από τη στιγμή που κάθε γραμμή βρίσκεται τουλάχιστον 60 kΩ πάνω από τη γείωση, ακόμα και αν κάθε γραμμή είναι βραχυκυκλωμένη με τη γη, σε ένα σύστημα των 230 V, 50 Hz δεν μπορούν να διαρρέουν το σημείο του σφάλματος πάνω από 4 mA. Μέχρι πρόσφατα, οι επιτηρητές μόνωσης ήταν κυρίως "στατικού" τύπου ("static" type), δηλαδή ανίχνευαν μια αστάθεια στη σύνθετη αντίσταση ως προς τη γη σε κάποια από τις δυο απομονωμένες γραμμές, αλλά δεν ανιχνεύουν συμμετρικά σφάλματα (balanced faults), όπως μπορούν να προκύψουν με τη χρήση εξοπλισμού με ισορροπημένα RF φίλτρα (balanced RF filters-σχήμα 7.5).



Σχήμα 7.5: Σχηματικό διάγραμμα ενός κυκλώματος με RF φίλτρα. Η παρουσία των φίλτρων συμβάλλει σε ένα υψηλότερο ρεύμα διαρροής και στην πιθανότητα ισορροπημένων σφαλμάτων

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander

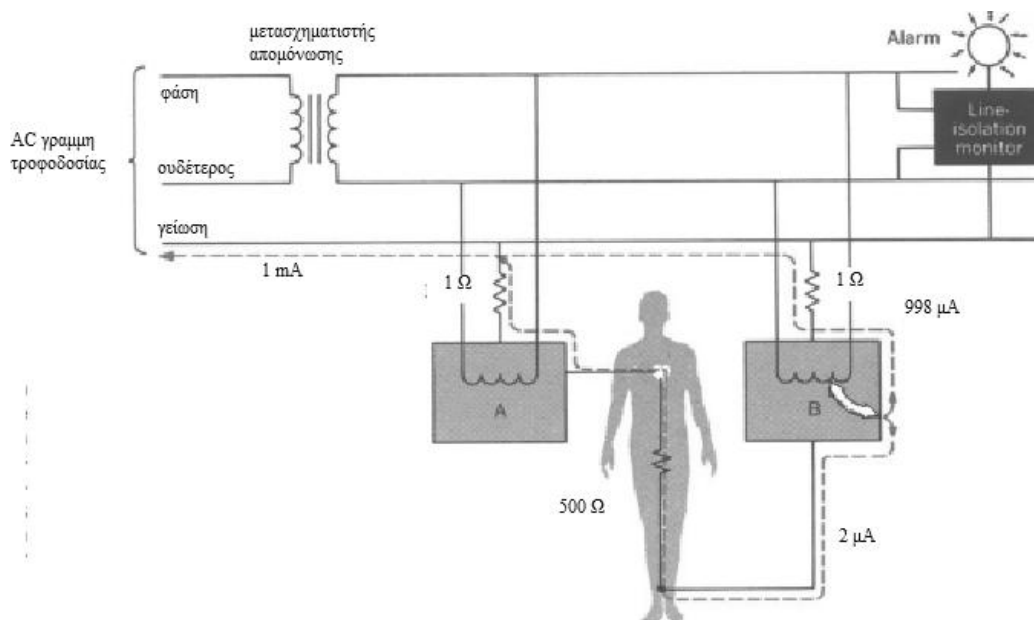
Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι "δυναμικοί επιτηρητές μόνωσης", όπου η σύνθετη αντίσταση της κάθε γραμμής μετράται εναλλάξ αρκετές φορές κάθε δευτερόλεπτο. Με αυτόν τον τρόπο, η συσκευή μπορεί να ανιχνεύσει και τα δυο είδη σφάλματος.

Οι τεχνικές απομόνωσης επιτρέπουν μια μείωση στον κίνδυνο από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό σε ένα βαθμό. Οι μετασχηματιστές απομόνωσης βοηθούν στην προστασία του ασθενούς, αν υπάρχουν συσκευές που γειώνουν τα υποδόρια ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται.

Παράδειγμα μετασχηματιστή απομόνωσης:

Στο παρακάτω σχήμα 7.6 παρουσιάζεται ένας ασθενής που είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένος με δυο συσκευές. Γίνονται δυο υποθέσεις:

- Ο καθετήρας που οδηγεί στην καρδιά συνδέεται με το εξωτερικό της συσκευής A, ενώ ένα άλλο σημείο του σώματός του συνδέεται με το περίβλημα της συσκευής B.
- Οι συσκευές A και B συνδέονται με ένα κοινό κόμβο γείωσης, με κάθε καλώδιο να έχει αντίσταση 1Ω και ότι ο ασθενής αναπαρίσταται με μια αντίσταση των $500-1000 \Omega$

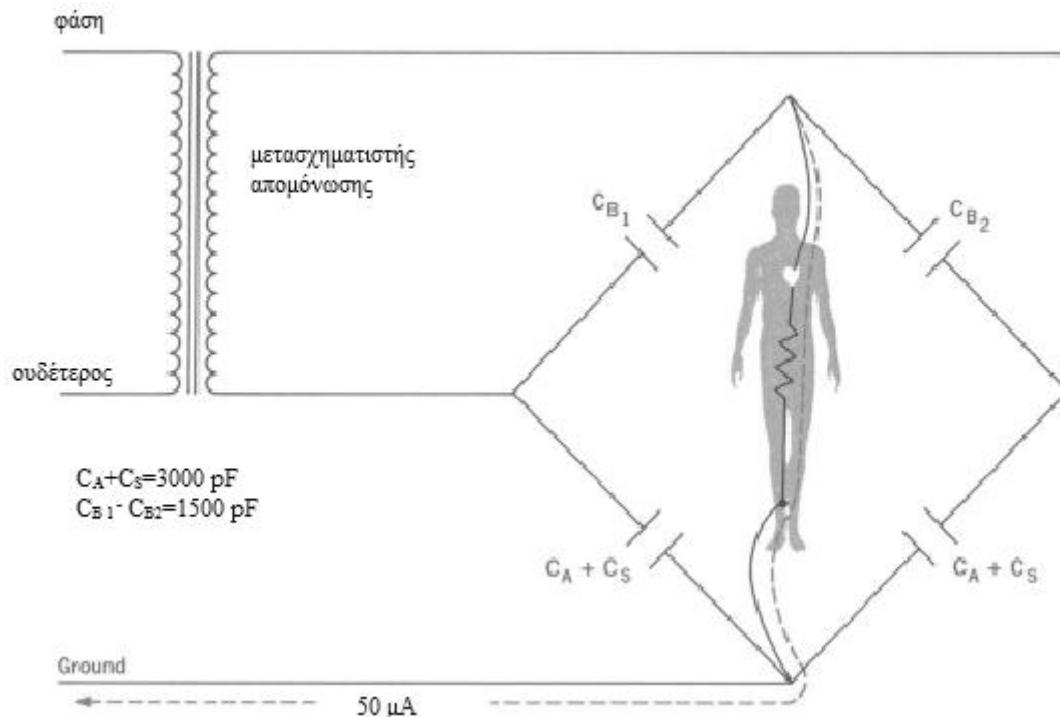


Σχήμα 7.6: Κατάσταση στην οποία ένα σφάλμα μόνωσης προκύπτει σε μια συσκευή όταν ο ασθενής είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένος ανάμεσα σε δυο συσκευές

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander

Η ενέργεια για κάθε συσκευή παρέχεται από ένα μετασχηματιστή απομόνωσης, που μετά από συνθήκες ενός πρώτου σφάλματος, το ρεύμα που ρέει θα περιορίζεται κάτω από 1 mA . Αν ένα σφάλμα τώρα προκύψει στη συσκευή B, ο μετασχηματιστής απομόνωσης περιορίζει το ρεύμα σφάλματος στο 1 mA . Εξαιτίας της σχέσης 500 προς 1 ανάμεσα στην αντίσταση ασθενούς και γης, $998 \mu\text{A}$ θα ρέουν στο καλώδιο γείωσης και μόνο $2 \mu\text{A}$ μέσα από τον ασθενή. Ταυτόχρονα, ο επιτηρητής μόνωσης πυροδοτεί μια "ειδοποίηση" (alarm) για να υποδείξει το σφάλμα του εξοπλισμού.

Παρά τη μεγάλη χρησιμότητά τους στα ρεύματα σφάλματος, υπάρχει μια πολύ σημαντική κατηγορία σφαλμάτων που δεν μπορούν να εξαλειφθούν από τους μετασχηματιστές απομόνωσης. Αν το καλώδιο γείωσης σε ένα καλώδιο τροφοδοσίας χαλάσει, δε θα ανιχνευθεί από τον επιτηρητή μόνωσης και αν ο ασθενής βρίσκεται σε μια κατάσταση όπως αυτή του σχήματος 7.7, τότε μπορεί να βρίσκεται σε άμεσο κίνδυνο. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη τη διττή πιθανότητα ενός εσωτερικού σφάλματος φάσης - γης σε μια συσκευή και ενός σφάλματος στο καλώδιο γείωσης. Το σφάλμα στο καλώδιο γείωσης δε θα ανιχνευθεί από το προσωπικό και πιθανότατα η συσκευή θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά, μια πιθανότατα επικίνδυνη κατάσταση για έναν ασθενή.



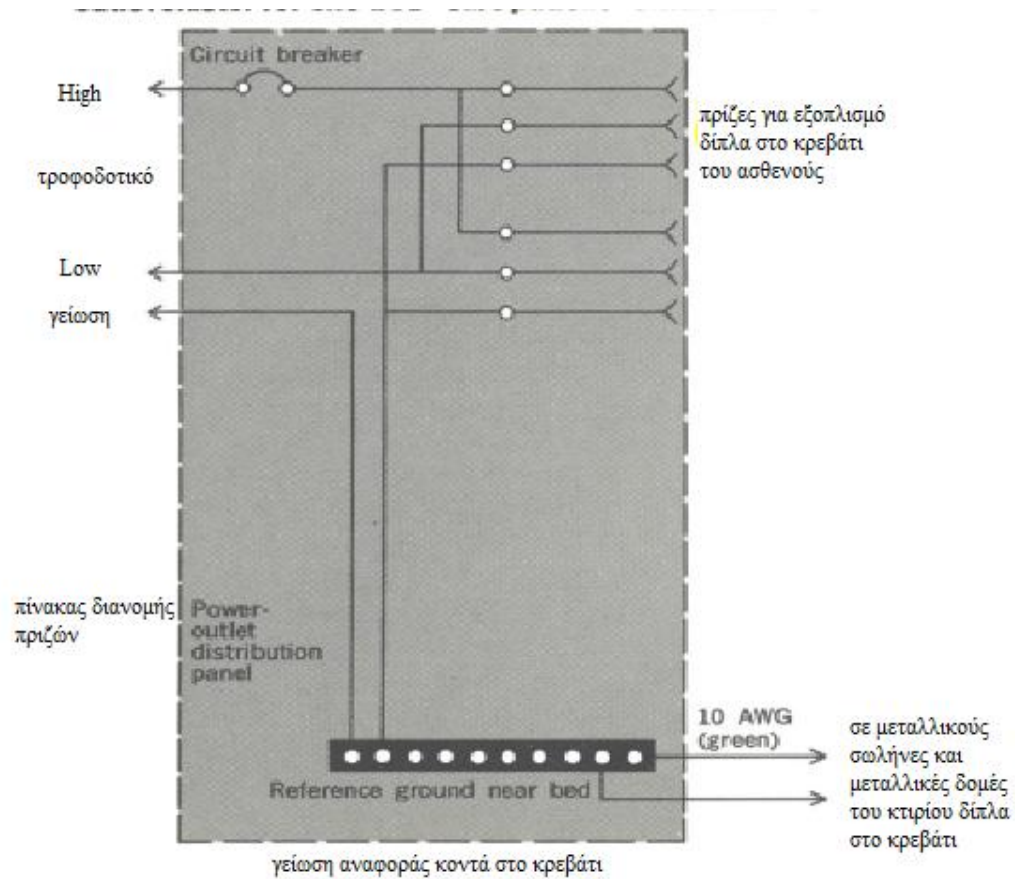
Σχήμα 7.8: Σφάλμα στο καλώδιο γείωσης όπως φαίνεται στο σχήμα , ξανασχεδιάζεται ώστε να φαίνεται η ροή ρεύματος, όπου ο ασθενής γίνεται αισθητήριο στοιχείο σε ένα κύκλωμα γέφυρας

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander

7.2.2 Ασφαλές περιβάλλον ασθενούς

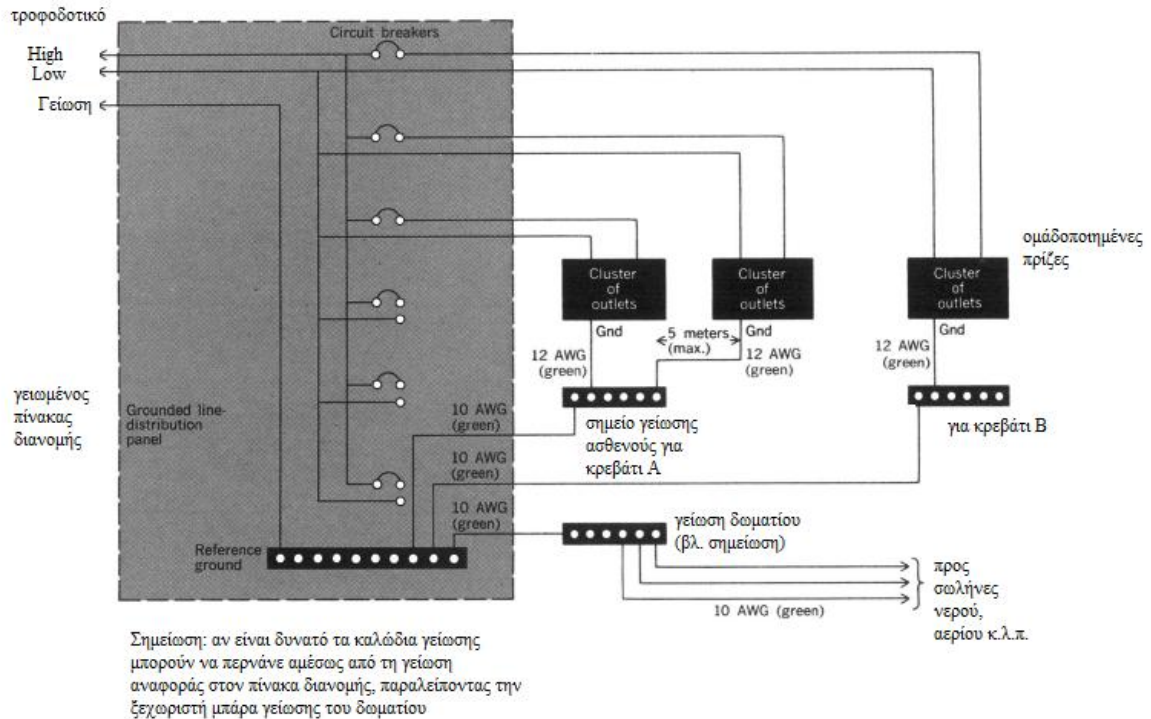
Πολλοί πιστεύουν ότι η βασική οδηγία για ένα ασφαλές περιβάλλον παρακολούθησης ασθενούς είναι ένα ικανοποιητικό σχέδιο γείωσης, στο οποίο όλες οι μεταλλικές επιφάνειες που μπορεί να έρθει σε επαφή ένας ασθενής ή το προσωπικό, έχουν όλες το ίδιο δυναμικό. Αυτή είναι η έννοια της ισοδυναμικής γείωσης, όπου υπάρχει ένα μοναδικό σημείο γείωσης για όλους τους αγωγούς που βρίσκονται εντός του περιβάλλοντος του ασθενούς. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, όλες οι μεταλλικές επιφάνειες του δωματίου, οι συνδέσεις γείωσης των πριζών και τα μεταλλικά έπιπλα, συνδέονται όλα σε έναν κόμβο γείωσης, το οποίο με τη σειρά του συνδέεται με το σύστημα γείωσης του νοσοκομείου.

Ένα τέτοιο σχέδιο παρουσιάζεται στο σχήμα 7.9. Εδώ, η αναφορά γείωσης είναι μια μεταλλική μπάρα στον πίνακα τροφοδοσίας, που χρησιμοποιείται για τα τερματικά καλώδια γειώσεων για τα μεταλλικά έπιπλα, τα υδραυλικά, τους σωλήνες, τις γειώσεις των πριζών και το σύστημα γείωσης του νοσοκομείου. Αυτός ο πίνακας διανομής αντιστοιχεί σε ένα μόνο ασθενή και πρέπει να βρίσκεται κοντά στο κρεβάτι του. Βέβαια, αν δεν είναι εύκολο να συγκεντρωθούν όλα τα καλώδια γείωσης σε αυτό το σημείο αναφοράς, το σύστημα γείωσης μπορεί να αναδιαταχθεί, όπως στο σχήμα 7.10.



Σχήμα 7.9: Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης καλωδίωσης των πριζών για ένα ασφαλές περιβάλλον ασθενούς με ένα κρεβάτι.

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander



Σχήμα 7.10: Σχηματικό διάγραμμα για πολλά κρεβάτια, τα οποία βρίσκονται μακριά από τον πίνακα διανομής

Πηγή: « *Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards* », Gordon D. Friedlander

Αυτός ο σχεδιασμός είναι ιδιαίτερα ενεργητικός όταν τα κρεβάτια είναι τοποθετημένα μακριά από τον πίνακα διανομής και όταν παραπάνω από ένας ασθενής βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο. Κάθε τοποθεσία κρεβατιού είναι εφοδιασμένη με έναν "κόμβο γείωσης ασθενούς". Τα καλώδια γείωσης από τις πρίζες για το κάθε κρεβάτι και τα καλώδια γείωσης από τα έπιπλα και τα μη ηλεκτρικά κρεβάτια συνδέονται στο αντίστοιχο σημείο γείωσης. Η γείωση του δωματίου εξυπηρετεί στην ηλεκτρική σύνδεση των υδραυλικών, των χωρισμάτων, των πλαισίων από τα παράθυρα και όλα τα μόνιμα μεταλλικά μέρη του κτιρίου, για ένα ολόκληρο δωμάτιο. Όλα τα σημεία γείωσης και η γείωση του δωματίου συνδέονται με τη σειρά τους στη γείωση αναφοράς στον πίνακα διανομής. Τα συστήματα γείωσης των σχημάτων 7.9 και 7.10 παρέχουν τη βασική εγγύηση έναντι ηλεκτροπληξίας.

Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του ασθενούς σε περίπτωση βλάβης με αυτόν τον τύπο συστήματος γείωσης, απαιτείται όλοι οι καθετήρες και τα ηλεκτρόδια που εφαρμόζονται σε έναν ασθενή, να συνδέονται μόνο σε εξοπλισμό με απομονωμένες εισόδους. Το νοσοκομείο πρέπει να καθιερώσει κανόνες και διαδικασίες ώστε να εξασφαλίσει ότι κανένα κομμάτι του εξοπλισμού δεν παρέχει άμεσο δρόμο προς τη γη αν μπει στο περιβάλλον του ασθενούς και συνδεθεί μαζί του. Επιπλέον, το νοσοκομείο πρέπει να εξασφαλίσει ότι οι εξωτερικές άκρες των υδραυλικών καθετήρων και των εσωτερικών ηλεκτροδίων είναι μονωμένα, έτσι ώστε τυχαία επαφή από το προσωπικό δε θα οδηγήσει σε έναν αγωγίμο δρόμο προς τη γη. Αν δεν μπορεί να αποφευχθεί αυτή η τυχαία επαφή με τα γειωμένα αντικείμενα, ή αν ο

ασθενής γειώνεται από το σχεδιασμό των συσκευών με τις οποίες συνδέεται, τότε είναι απαραίτητοι οι μετασχηματιστές απομόνωσης.

7.2.3 Κόμβοι γείωσης και ισοδυναμικές συνδέσεις στο δωμάτιο του ασθενούς

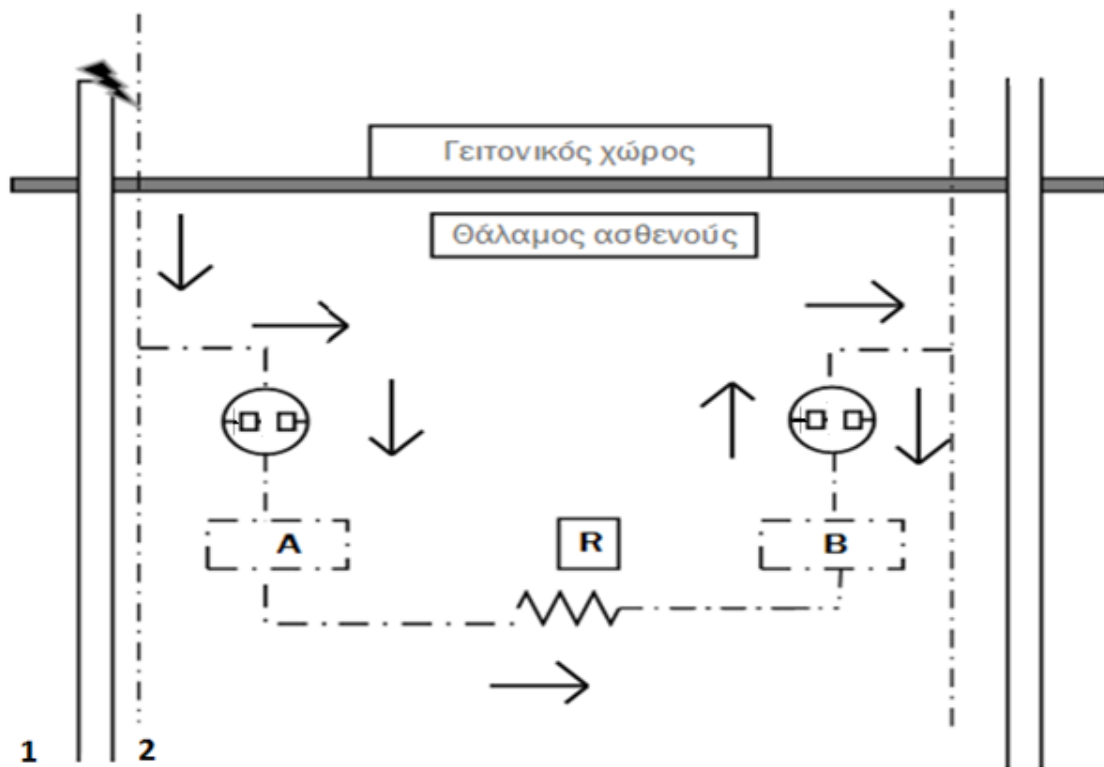
7.2.3.1 Ο κόμβος γείωσης

Αν και οι αγωγοί γείωσης και ουδέτερου συνδέονται στο ίδιο σημείο στον πίνακα δεν είναι εναλλάξιμοι, αφού εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς. Σε μια σωστή εγκατάσταση το ρεύμα ρέει από τον αγωγό φάσης και επιστρέφει μέσω του ουδέτερου, ενώ στον αγωγό γείωσης δε ρέει καθόλου ρεύμα.

Όταν σε μια ηλεκτρική συσκευή υπάρχει διαρροή ρεύματος, π.χ. λόγω γήρανση της μόνωσης του αγωγού φάσης, τότε ο αγωγός γης προστατεύει το χρήστη, γιατί μια μεγάλη τιμή ρεύματος, μέσω του αγωγού αυτού θα προκαλέσει διακοπή του κυκλώματος από την ασφάλεια. Το δίκτυο διανομής με τρεις αγωγούς (φάση, ουδέτερος, γη) θα πρέπει να κατασκευάζεται σε κάθε κτήριο υπηρεσιών υγείας. Το δίκτυο αυτό προφανώς και θα έχει τις ιδιαιτερότητές του στις μονάδες επείγουσας ιατρικής, γι' αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη σημασία στην κατασκευή της γείωσης σε αυτούς τους χώρους.

Έτσι εξετάζονται τα παρακάτω παραδείγματα που αφορούν ρεύματα διαρροής προς τον ασθενή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος εκτός του θαλάμου νοσηλείας του:

Η χρήση δυο διαφορετικών αγωγών γείωσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη διαρροή ρεύματος προς τον ασθενή (αντίσταση R). Αυτό είναι δυνατό να συμβεί όταν ο ασθενής είναι σε επαφή π.χ. με δυο ηλεκτρικές συσκευές (A και B) και συμβαίνει βραχυκύκλωμα εκτός του θαλάμου νοσηλείας του, καθώς το ρεύμα θα βρει αγωγίμο δρόμο χαμηλής αντίστασης μεταξύ των συσκευών και μέσω του ασθενούς, από τον ένα αγωγό γείωσης στο δεύτερο. Η περίπτωση αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 7.11. Έτσι εξάγεται το συμπέρασμα ότι θα πρέπει να προβλέπεται ένας αγωγός γείωσης στο θάλαμο του ασθενούς για την προστασία του από διαρροές, που προέρχονται από άλλους χώρους. Η παραπάνω προϋπόθεση όμως δεν είναι αρκετή από μόνη της για να προστατεύσει τον ασθενή. Αν δυο συσκευές συνδέονται σε διαφορετικά σημεία επί του αγωγού γείωσης, ανάλογα με την αντίσταση του καλωδίου (το μήκος του) μεταξύ των δυο αυτών σημείων, υπάρχει κίνδυνος διαρροής ρεύματος προς τον ασθενή (σε περίπτωση βραχυκυκλώματος εκτός του θαλάμου και αν ο ασθενής βρίσκεται σε επαφή με τις συσκευές A και B), όπως φαίνεται στο σχήμα 7.12. Έστω ότι η αντίσταση του αγωγού γείωσης μεταξύ των δυο σημείων είναι 0.05Ω , τότε για μια τιμή ρεύματος 20 A (λόγω βραχυκυκλώματος), η τιμή ρεύματος προς τον ασθενή (500Ω) είναι 2 mA . Συμπερασματικά πρέπει να προβλέπεται ένας κόμβος γείωσης στο θάλαμο του ασθενούς και όλες οι συνδέσεις προς τον αγωγό αυτό γίνονται σε ένα σημείο (κόμβος γείωσης).



Σχήμα 7.11: Παράδειγμα εγκατάστασης δύο αγωγών γείωσης στο θάλαμο του ασθενούς

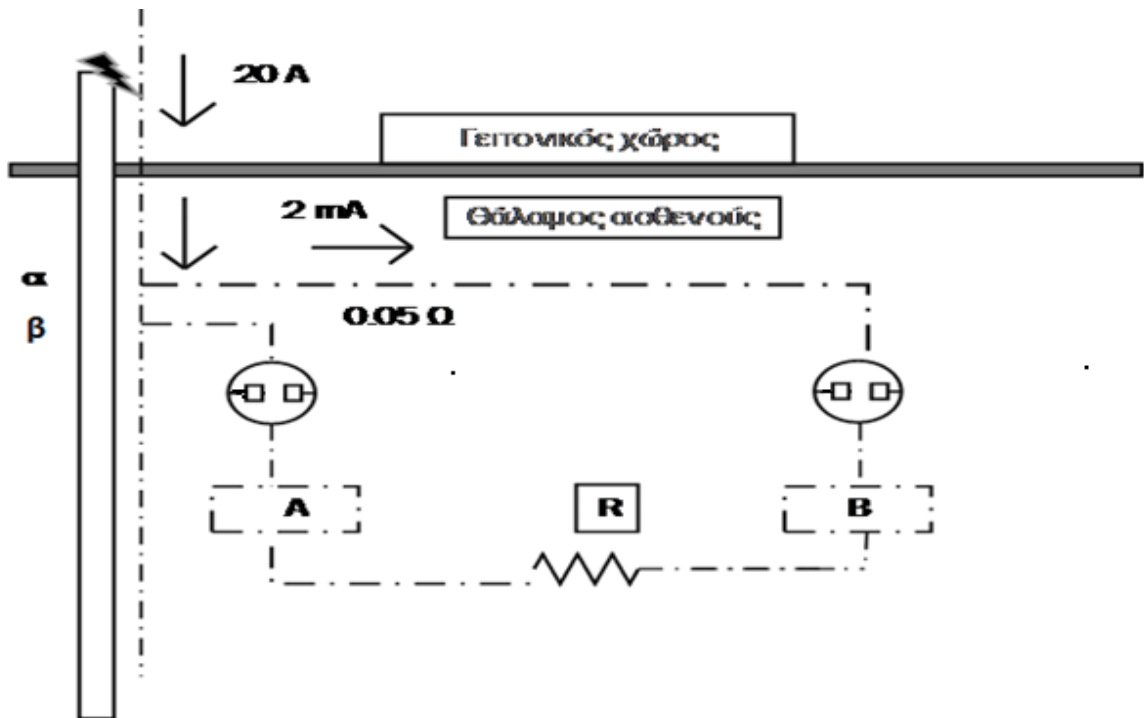
R: αντίσταση ασθενούς

A και *B:* δύο ηλεκτρικές συσκευές με τα μεταλλικά μέρη των οποίων έρχεται σε επαφή ο ασθενής

1: αγωγός φάσης, *2:* ουδέτερος

Διακεκομμένη: αγωγός γείωσης

Πηγή: «Εφαρμογές Εγκαταστάσεων σε Νοσοκομεία», Π.Δ. Μπούρκας, 1999, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

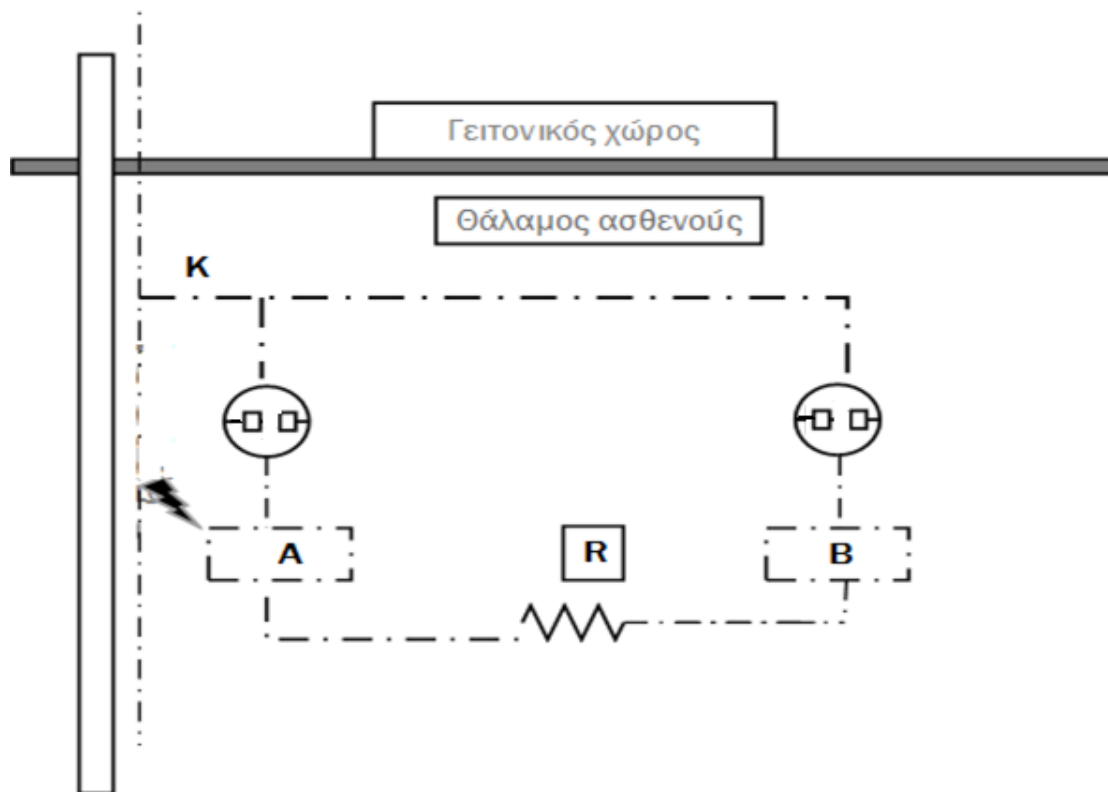


Σχήμα 7.12: Παράδειγμα σύνδεσης των γειώσεων σε δυο διαφορετικά σημεία (α και β) επί του αγωγού γείωσης

Πηγή: «Εφαρμογές Εγκαταστάσεων σε Νοσοκομεία», Π.Δ. Μπούρκας, 1999, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ενώ παρακάτω έχουμε παραδείγματα για βραχυκυκλώματα εντός του θαλάμου νοσηλείας:

Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος μιας συσκευής (Α), τότε είναι πιθανό ένα μέρος του ρεύματος να περάσει μέσω του ασθενούς στο κύκλωμα: R-μεταλλικό κάλυμμα συσκευής Β- αγωγός γείωσης (ο ασθενής βρίσκεται σε επαφή με τις συσκευές). Στην περίπτωση αυτή ο ασθενής μπορεί να προστατευθεί μόνο με συσκευές που είναι μονωμένες εξωτερικά προς τη γη, ώστε να αποκλείεται η αγώγιμη σύνδεσή του. Το παράδειγμα αυτό φαίνεται στο σχήμα 7.13. Επομένως η γείωση ενός σημείου είναι μια σωστή εγκατάσταση, η οποία προστατεύει τον ασθενή από διαρροές ρεύματος, που προέρχονται έξω από το θάλαμο, όχι όμως από διαρροές εντός του χώρου του. Στην περίπτωση αυτή, ο ασθενής μπορεί να προστατευθεί όταν το περίβλημα των συσκευών είναι μονωμένο από τη γη. Παρόλα αυτά οι συσκευές δεν είναι πάντοτε μονωμένες εξωτερικά προς τη γη. Επίσης, ο υπόλοιπος εξοπλισμός του χώρου έχει συνήθως μεταλλικά μέρη, που μπορούν να αποτελέσουν γέφυρα σύνδεσης μιας διαδρομής ρεύματος μέσω τρίτου. Επομένως ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται πρέπει να αξιολογείται και να επιλέγεται κατάλληλα, σε συνδυασμό με τη μελέτη των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.



Σχήμα 7.13 : Παράδειγμα διαρροής ρεύματος προς τον ασθενή παρά τη γείωση επί ενός σημείου (K)

K: Κόμβος γείωσης

Πηγή: «Εφαρμογές Εγκαταστάσεων σε Νοσοκομεία», Π.Δ. Μπούρκας, 1999, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

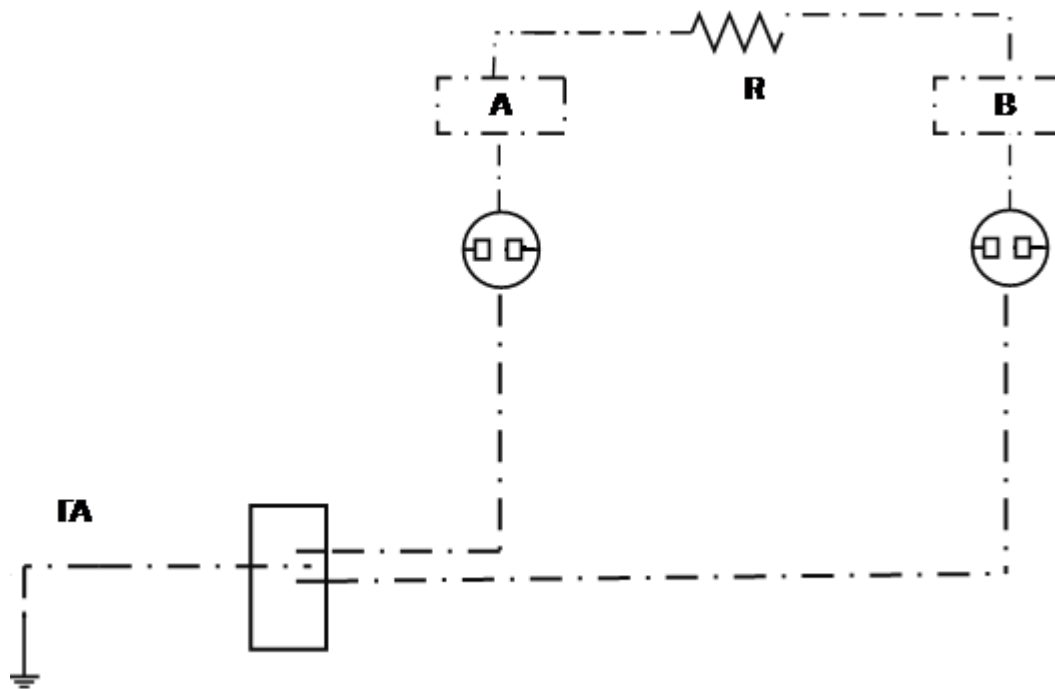
4.2.3.2 Η γείωση αναφοράς του θαλάμου νοσηλείας

Για την κατασκευή των γειώσεων σε μονάδες επείγουσας ιατρικής εφαρμόζονται ειδικές τεχνικές, οι βασικές αρχές των οποίων είναι:

- Τρία ξεχωριστά σημεία γείωσης: ο κόμβος γείωσης του εξοπλισμού, η γείωση αναφοράς του χώρου και η γείωση του κτηρίου (ηλεκτρόδιο γείωσης)
- Τα μήκη των καλωδίων πρέπει να περιορίζονται, ώστε οι πτώσεις τάσης σε αυτά να διατηρούνται σε χαμηλές τιμές (ακίνδυνες)
- Μέτρηση των πτώσεων τάσης στα καλώδια για την επιβεβαίωση καταλληλότητάς τους
- Σχέδιο του χώρου με τον πλήρη εξοπλισμό σε θέσεις, οι οποίες ενώ θ εξυπηρετούν την λειτουργικότητά του, θα εξασφαλίζουν ότι ο ασθενής προστατεύεται με το δίκτυο γείωσης

Στο παρακάτω σχήμα 7.14 απεικονίζεται το κύκλωμα δυο ηλεκτρικών συσκευών (A και B): αγωγοί γείωσης των συσκευών αυτών με τους ρευματοδότες, κόμβος γείωσης (K) και γείωση αναφοράς του χώρου (ΓΑ). Με το μεταλλικό περίβλημα των παραπάνω μηχανημάτων έρχεται σε επαφή ο ασθενής (R) μιας μονάδας εντατικής θεραπείας. Για να προστατεύεται ο ασθενής από διαρροή ρεύματος, που μπορεί να συμβεί στη συσκευή A ή στη συσκευή B, έχει καθοριστεί η

συνολική αντίσταση των αγωγών γείωσης (κάθε συσκευή μέχρι τη γείωση αναφοράς του χώρου) να μην υπερβαίνει την τιμή των 0.05Ω .



Σχήμα 7.14: Σχηματική παράσταση του κυκλώματος γείωσης σε ένα θάλαμο νοσηλείας μίας μονάδας επείγουσας ιατρικής

ΓΑ: Γείωση Αναφοράς χώρου

Πηγή: «Εφαρμογές Εγκαταστάσεων σε Νοσοκομεία», Π.Δ. Μπούρκας, 1999, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Το δίκτυο γείωσης, που προαναφέρθηκε, δεν μπορεί να υποκατασταθεί με μια λάμα χαλκού περιμετρικά στο δωμάτιο (κατά τα πρότυπα π.χ. των υποσταθμών μέσης τάσης), όπου θα μπορούσε να συνδέσει κανείς τους διάφορους αγωγούς γείωσης των συσκευών. Πράγματι σε ένα θάλαμο νοσηλείας με διαστάσεις δαπέδου 3×3 m δημιουργείται ένας βρόχος. Έτσι ένα μαγνητικό πεδίο της τάξης των 10^{-4} Wb/m (τάξη μεγέθους του μαγνητικού πεδίου της γης ή άπειρου ευθύγραμμου αγωγού σε απόσταση 1 cm, που διαρρέεται από ρεύμα της τάξης των 5 A, συχνότητας 50 Hz), προκαλεί μια επαγόμενη τάση (u) για την οποία ισχύει:

$$u = N \frac{d\Phi}{dt} = A \frac{dB}{dt} \quad (7.1)$$

Όπου :

$$B = B_{\max} \cos \omega t \quad (7.2)$$

άρα

$$\frac{dB}{dt} = B_{\max} \omega \sin \omega t = \sqrt{2} B \omega \sin \omega t \quad (7.3)$$

Επομένως:

$$U = AB\omega = AB2\pi f = 9 * 10^{-4} * 2\pi * 50 = 0,28V \quad (7.4)$$

Η παραπάνω επαγόμενη τάση θα παράγει σήματα θορύβου στις διατάξεις βιοηλεκτρικών μετρήσεων. Η τιμή της θα είναι επίσης σημαντική, για να προκαλέσει κινδύνους στον ασθενή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΙΑΤΡΙΚΟ ΙΤ ΣΥΣΤΗΜΑ (IPS: ISOLATED POWER SYSTEM)

Τα συστήματα αυτά πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στα νοσοκομεία ως μέσο μείωσης του κινδύνου στα χειρουργεία και σε όλα τα δωμάτια που χρησιμοποιούνται εύφλεκτες ουσίες ως αναισθησία, αφού μειώνει τους κινδύνους ανάφλεξης από ηλεκτρικά τόξα ή σπίθες ανάμεσα σε έναν αγωγό και ένα γειωμένο μέταλλο,. Αν και πολλά από αυτά τα υλικά δε χρησιμοποιούνται πλέον, η χρήση του συστήματος αυτού είναι ζωτική, αφού όλο και αυξάνονται οι λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις -π.χ. στην καρδιά-, όπου χρειάζονται αυξημένη προσοχή καθώς περιλαμβάνουν ειδικό ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, αλλά και αγωγή υγρά, όπως αίμα, ορός κ.α.

8.1 ΙΤ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ IEC 60364-7-710

Το ιατρικό ΙΤ σύστημα περιγράφεται από το IEC 60364-7-710, το οποίο προσδιορίζει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού συστήματος διανομής για ειδικές χρήσεις και για ιατρικούς χώρους. Το σύστημα αυτό τροφοδοτείται από ένα ειδικό μετασχηματιστή απομόνωσης για ιατρική χρήση, μαζί με μια συσκευή επιτήρησης μόνωσης όπως περιγράφεται στο IEC 61557-8.

Σύμφωνα με την παράγραφο 710.2.10 του IEC 60364-7-710 το ιατρικό ΙΤ σύστημα ορίζεται ως ένα ηλεκτρικό σύστημα που πληροί τις απαιτήσεις του άρθρου 710.413.1.5 ως προστασία στον ηλεκτρικό διαχωρισμό, με μόνιμη παρακολούθηση της αντίστασης μόνωσης.

Το σύστημα αυτό επιβάλλεται στους χώρους κατηγορίας 2 στον περιβάλλον του ασθενούς, σε πρίζες άλλα και σε εξοπλισμό πολύ κοντά στον ασθενή. Σε χώρους κατηγορίας 0 και 1 η χρήση του δεν είναι υποχρεωτική.

Παραδείγματα χώρων κατηγορίας 2

- χειρουργεία
- Θάλαμοι αναισθησίας
- Θάλαμος επέμβασης στην καρδιά
- Θάλαμος προετοιμασίας χειρουργείου
- Θάλαμος ανάνηψης
- Θάλαμος εντατικής
- Θάλαμος αγγειογραφίας
- Θάλαμος πρόωων γεννήσεων

Σε αυτούς τους χώρους είναι πολύ κρίσιμη η αδιάλειπτη παροχή της τροφοδοσίας των συσκευών υποστήριξης ζωής, γι' αυτό το λόγο και ένα πρώτο σφάλμα δεν πρέπει να διακόπτει την τροφοδότηση των συσκευών, γιατί κάτι τέτοιο μπορεί να αποβεί μοιραίο για τον ασθενή.

Έτσι σύμφωνα πάντα και με το πρότυπο IEC 60364-7-710, απαιτείται η χρήση ενός ΙΤ συστήματος (αγείωτο δίκτυο) για κυκλώματα τροφοδότησης:

- Ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και συστημάτων για την υποστήριξη ζωής ή για χειρουργικές επεμβάσεις
- Άλλου τεχνικού εξοπλισμού στο περιβάλλον του ασθενούς, όπως σε χειρουργεία, μονάδες εντατικής θεραπείας και γενικά σε μέρη όπου ένα σφάλμα στην τροφοδοσία μπορεί να αποβεί μοιραίο για τη ζωή του ασθενούς

Συμπερασματικά το IT σύστημα παρέχει εκτενή προστασία από ηλεκτροπληξία σε δωμάτια όπου είναι έντονη η παρουσία υγρών (“wet locations”) και στα δωμάτια όπου η διακοπή της τροφοδοσίας είναι επικίνδυνη (χειρουργεία).

8.2 ΧΡΗΣΗ IT ΣΕ ΧΕΙΡΟΥΡΓΕΙΟ

Σε κάθε νοσοκομείο οι χώροι οι οποίοι απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή είναι τα χειρουργεία. Τα χειρουργεία είναι ξεχωριστές μονάδες, με μεγάλη ευαισθησία και επικινδυνότητα, εξαιτίας της ειδικής και διαφορετικής χρήσης τους, όπως και λόγω της ποικιλίας και σημασίας των κινδύνων και των ατυχημάτων που μπορεί να προκύψουν. Ως μια από τις πιο περίπλοκες μονάδες του συστήματος υγείας, δίνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σημασία στα θέματα που αφορούν τους ασθενείς, στα πρωτόκολλα ασφαλείας καθώς και στην υψηλή τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Η μειωμένη αντίσταση των ασθενών οφείλεται σε παράγοντες του περιβάλλοντός του όπως καθετήρες, ιατρικά υγρά, αναισθητικά αέρια, αλλά και λόγω των πολλών ηλεκτρικών συσκευών που βρίσκονται στο χώρο.

Συγκεντρωτικά το ιατρικό αγείωτο δίκτυο αποτελείται από:

- ένα μετασχηματιστή απομόνωσης
- μια συσκευή επιτήρησης της αντίστασης μόνωσης, του φορτίου του μετασχηματιστή και της θερμοκρασίας του
- μια συσκευή ένδειξης και αναγγελίας των σφαλμάτων, καθώς και δοκιμής του συστήματος που τοποθετείται στο χώρο του χειρουργείου ή σε μια επανδρωμένη θέση νοσοκόμας σε κοντινή απόσταση

8.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ IT ΔΙΚΤΥΟΥ

Το IT αποτελεί τη βάση ενός αξιόπιστου συστήματος τροφοδότησης στους ιατρικούς χώρους. Αντίθετα από το TN δεν υπάρχει καμία αγωγή σύνδεση μεταξύ των ενεργών αγωγών και του αγωγού προστασίας. Έτσι ικανοποιεί τις εξής βασικές απαιτήσεις:

- Με ένα πρώτο σφάλμα μόνωσης που θα προκύψει και την ενεργοποίηση μιας συσκευής προστασίας, δε διακόπτεται η ηλεκτρική παροχή
- Ο ιατρικός εξοπλισμός συνεχίζει να λειτουργεί
- Ρεύματα σφάλματος περιορίζονται σε μη κρίσιμο επίπεδο
- Αποφεύγεται ο πανικός σε ένα χειρουργείο από διακοπή ρεύματος

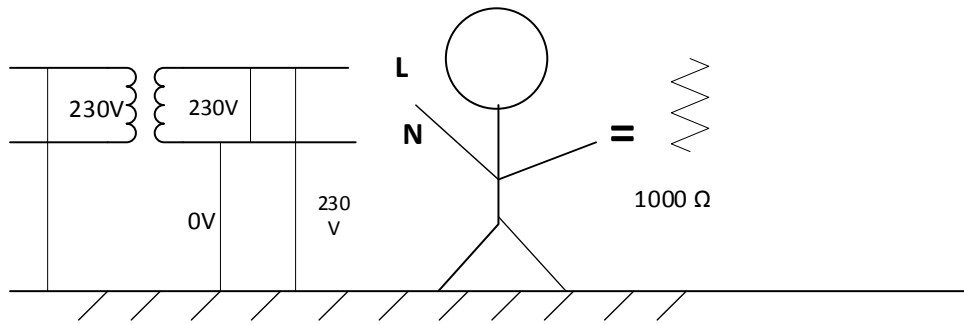
Παρέχοντας τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μειώνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας
- Εξασφαλίζει αδιάλειπτη παροχή τροφοδοσίας
- Μειώνει το θόρυβο (π.χ. από τροφοδοτικά)
- Παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για βλάβη εξοπλισμού

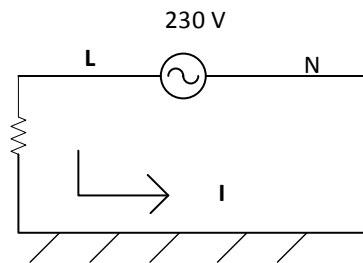
8.3.1 Μείωση κινδύνου ηλεκτροπληξίας

Για την καλύτερη κατανόηση της παρεχόμενης προστασίας είναι χρήσιμο ένα αριθμητικό παράδειγμα.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα TN σύστημα



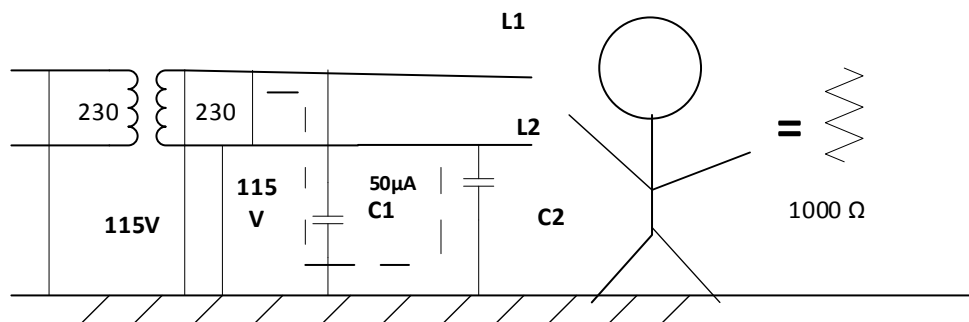
Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα αναμένεται η διαφορά δυναμικού μεταξύ του ουδέτερου και της γης να είναι 0 V και η διαφορά μεταξύ γραμμής και γης 230 V. Έστω ότι ο άνθρωπος έχει αντίσταση 1000 Ω και έρθει σε επαφή με έναν αγωγό θα έχουμε το παρακάτω ισοδύναμο κύκλωμα:



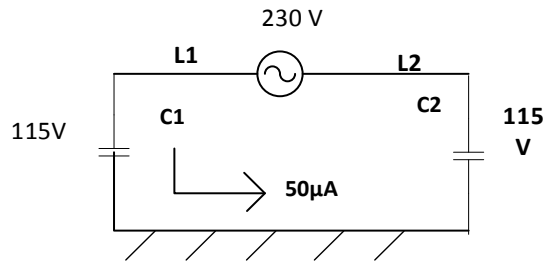
$$I = \frac{V}{R} = 230mA \quad (8.1)$$

Το ρεύμα των 230 mA θα περάσει από τη γραμμή μέσα από τον άνθρωπο και επιστρέψει στον ουδέτερο μέσω της πολύ χαμηλής εμπέδησης ουδέτερου-γης. Το ρεύμα αυτό μπορεί να είναι επικίνδυνο, ειδικά αν για κάποιο λόγο μειωθεί η αντίσταση του ατόμου. (στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει αμεληθεί η χωρητικότητα του συστήματος αφού είναι πολύ μικρή σε σχέση με την τιμή της σύνθετης αντίστασης του ουδέτερου-γης).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το IT σύστημα



Στο IT σύστημα δεν υπάρχει η σύνδεση μεταξύ ουδέτερου και γης. Έτσι έστω ότι έχουμε ένα ρεύμα διαρροής της τάξης των 50 μΑ.



Εδώ έχουμε ένα ισορροπημένο χωρητικό σύστημα (ίσης τιμής δυναμικού), όπου το πολύ μικρό ρεύμα διαρροής ρέει από το L1, μέσω του C1 και μέσω του εδάφους επιστρέφοντας στο L2 μέσω του C2. (Σε ένα σωστά εγκατεστημένο σύστημα θα υπάρχει μια πολύ μικρή αντίστασης διαρροής, αλλά εξαιτίας της πάρα πολύ μικρής τιμής της μπορεί να αγνοηθεί)

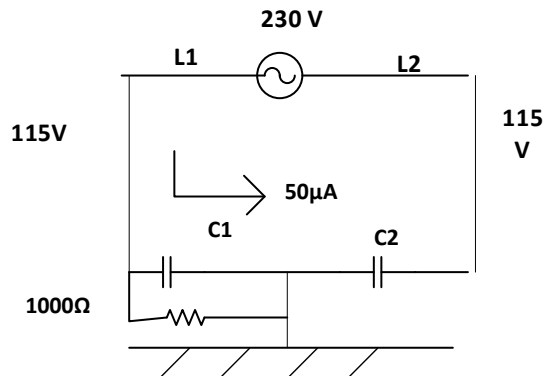
Σύμφωνα με το νόμο του Ohm, η σύνθετη αντίσταση των C1,C2 είναι:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{115}{50 \cdot 10^{-6}} = 2.3 \cdot 10^6 \Omega \quad (8.2)$$

Έτσι η χωρητικότητα που αναπτύσσεται σε γραμμή και γη είναι:

$$C = \frac{1}{\omega Z} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 2.3 \cdot 10^6} = 1.38 \cdot 10^{-9} F \quad (8.3)$$

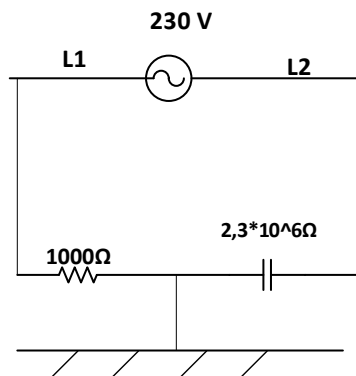
Σε περίπτωση τώρα που έρθει σε επαφή ο άνθρωπος έχουμε:



Έτσι η C1 παράλληλα με τα 1000 Ω δίνει σύνθετη αντίσταση:

$$Z_1 = \frac{2.3 \cdot 10^6 \cdot 1000}{2301000} = 999 \Omega \approx 1000 \Omega \quad (8.4)$$

Το κύκλωμα τώρα απλοποιείται στο παρακάτω:



Άρα το ρεύμα διαρροής είναι:
$$I = \frac{230}{2301000} = 100\mu\text{A} \quad (8.5)$$

Έτσι συγκρίνοντας τα δυο συστήματα βλέπουμε ότι:

Στο γειωμένο σύστημα (TN) ο **άνθρωπος** δέχεται: **230 V** τάση και **230 mA** ρεύμα

Ενώ στο αγείωτο σύστημα (IT) ο **άνθρωπος** δέχεται: **0.1 V** τάση (από διαιρέτη τάσης) και **100 μΑ** ρεύμα

Όπως φαίνεται από τις τιμές το IT είναι αρκετά ασφαλέστερο, αφού οι τιμές της τάσης και του ρεύματος είναι κατά πολύ μικρότερες από το γειωμένο δίκτυο.

Σημείωση: Το ρεύμα διαρροής στο IT θεωρήθηκε 50 μΑ, αλλά ακόμα και με τη μέγιστη θεωρητική τιμή των 5 mA οι τιμές που προκύπτουν είναι 5 V και 5 mA, οι οποίες παραμένουν σημαντικά μικρότερες από αυτές στο γειωμένο δίκτυο.

8.3.2 Ασφαλής τροφοδότηση

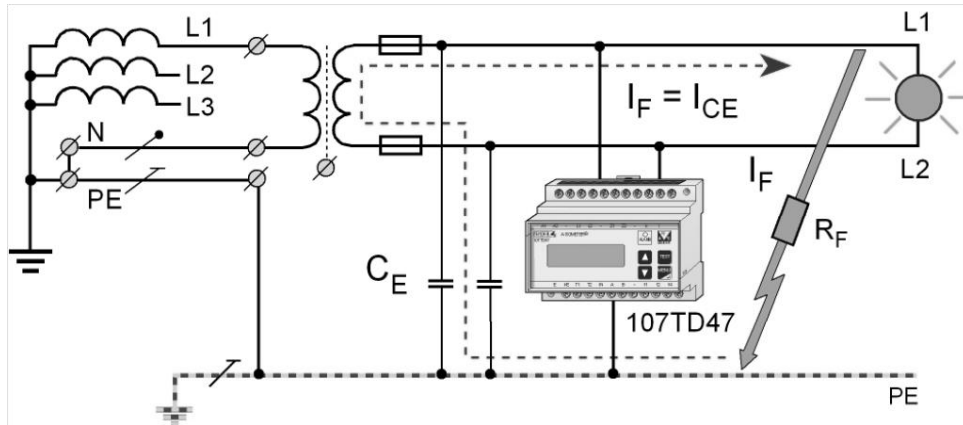
Σε ένα παραδοσιακό σύστημα, όπως σε ένα σπίτι, όταν υπάρξει σφάλμα (βραχυκύκλωμα, υπερφόρτιση, διακυμάνσεις), η σχετική συσκευή προστασίας ενεργοποιείται. Αυτή η ενεργοποίηση δεν είναι όμως επιθυμητή σε χώρους όπως τα χειρουργεία. Στην περίπτωση ενός πρώτου σφάλματος η τροφοδοσία πρέπει να διατηρείται και να μη διακόπτεται. Η διακοπή συνιστά και τη διακοπή των εργασιών του γιατρού και του ηλεκτρικού εξοπλισμού που υποστηρίζει τη ζωή του ασθενούς, γεγονός το οποίο θα μπορούσε να είναι πολύ επικίνδυνο.

Εφόσον στο IT σύστημα δεν υπάρχει καμία αγώγιμη σύνδεση μεταξύ των ενεργών αγωγών και του προστατευτικού αγωγού γείωσης, αποτελεί ένα αξιόπιστο σύστημα τροφοδότησης σε ιατρικούς χώρους, αντίθετα από το γειωμένο δίκτυο (σύστημα TN), καθώς εκπληρώνει 4 πολύ βασικές απαιτήσεις:

- Ο ιατρικός εξοπλισμός παραμένει σε λειτουργία
- Τα ρεύματα διαρροής ελαχιστοποιούνται σε η κρίσιμα επίπεδα
- Δε δημιουργείται πανικός στο χειρουργείο λόγω εμφάνισης σφάλματος τροφοδοσίας
- Πληρούνται πολλές διεθνείς προδιαγραφές σχετικά με τη χρήση του αγείωτου δικτύου για ασφαλή τροφοδότηση σε ιατρικούς χώρους

Με τη συνεχή επιτήρηση μόνωσης εξασφαλίζεται η άμεση αντίληψη μιας αλλαγής της αντίστασης μόνωσης με κατάλληλη σήμανση, αλλά δεν έχουμε διακοπή της τροφοδότησης ενώ διασφαλίζεται η συνέχιση της λειτουργίας.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα το βασικό πλεονέκτημα του είναι ότι κατά το πρώτο σφάλμα ρέει μονάχα ένα μικρό ρεύμα I_F , το οποίο καθορίζεται από τη χωρητικότητα διαρροής C_E του συστήματος. Έτσι δεν ενεργοποιείται η ασφάλεια και η παροχή δε διακόπτεται.



Σχήμα 8.1: IT σύστημα με σύστημα επιτήρησης μόνωσης

Πηγή: <http://omtechnicalsolutions.com/download/Electrical-Safety.pdf>

8.3.3 Μείωση θορύβου

Η αυξημένη χρήση ευαίσθητων ηλεκτρονικών συστημάτων στα νοσοκομεία, έχει δημιουργήσει την ανάγκη για την τροφοδοσία τους με τάσεις όσο το δυνατόν απαλλαγμένες από θόρυβο. Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός αποθήκευσης δεδομένων και εξοπλισμός παρακολούθησης/ελέγχου μπορεί να είναι εξαιρετικά ευαίσθητος στο θόρυβο, που μπορεί να προέρχεται, για παράδειγμα από τροφοδοτικά. Το IT σύστημα περιέχει ένας πολύ υψηλής ποιότητας μετασχηματιστή απομόνωσης που παρέχει έναν πολύ αποτελεσματικό μέσο για τη μείωση ακόμα και εξάλειψη του θορύβου που μπορεί να εμφανιστεί μεταξύ των γραμμών, αλλά και μιας γραμμής και της γείωσης. Βέβαια, πολλοί κατασκευαστές παρέχουν ήδη κάποια μέτρα προστασίας έναντι του θορύβου ως κομμάτι του κυκλώματος της συσκευής. Παρόλα αυτά, αυτή η προστασία μπορεί να μην είναι επαρκής. Προφανώς η μείωση του θορύβου δεν αποτελεί βασικό λόγο για την επιλογή του IT συστήματος, αλλά ένα επιπλέον πλεονέκτημα του έναντι των γειωμένων συστημάτων.

8.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ IT

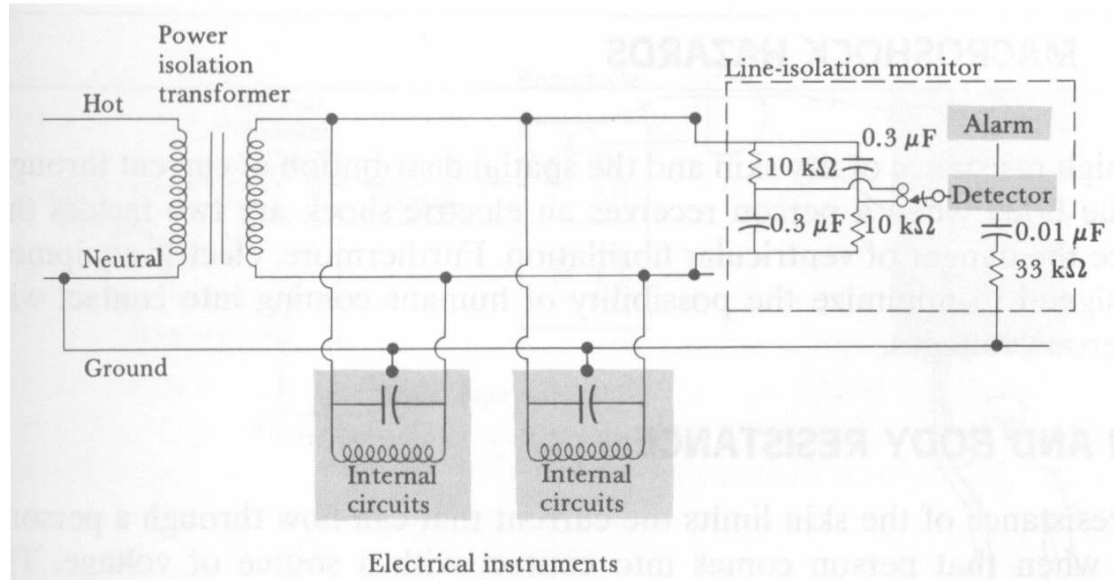
8.4.1 Ιατρικοί μετασχηματιστές απομόνωσης

Το σύστημα διανομής στο ιατρικό IT διασυνδέεται με τη γραμμή τροφοδοσίας, χρησιμοποιώντας ένα μετασχηματιστή απομόνωσης για ιατρική χρήση. Αυτός απομονώνει γαλβανικά τα απλά κυκλώματα από τη μονωμένη γραμμή και σταματά τη συνοχή του αγωγού προστασίας.

Η αρχή λειτουργίας του IT συστήματος βασίζεται στο γεγονός ότι το κύκλωμα που τροφοδοτείται από το δευτερεύον του μετασχηματιστή απομόνωσης είναι γαλβανικά απομονωμένα, όταν συμβαίνει ένα πρώτο σφάλμα σ' έναν αγωγό λόγω σφάλματος μόνωσης σ' ένα φορτίο, το ρεύμα δεν μπορεί να συνεχίσει να διαρρέει τους αγωγούς των φάσεων. Σε αυτή την περίπτωση όλες οι ηλεκτρομηχανικές συσκευές είναι λειτουργικές.

Το σφάλμα δεν πρέπει παρόλα αυτά να παραμένει για αρκετό χρονικό διάστημα επειδή σε περίπτωση δεύτερου σφάλματος θα διαταραχθεί η ασφάλεια και η λειτουργία του συστήματος.

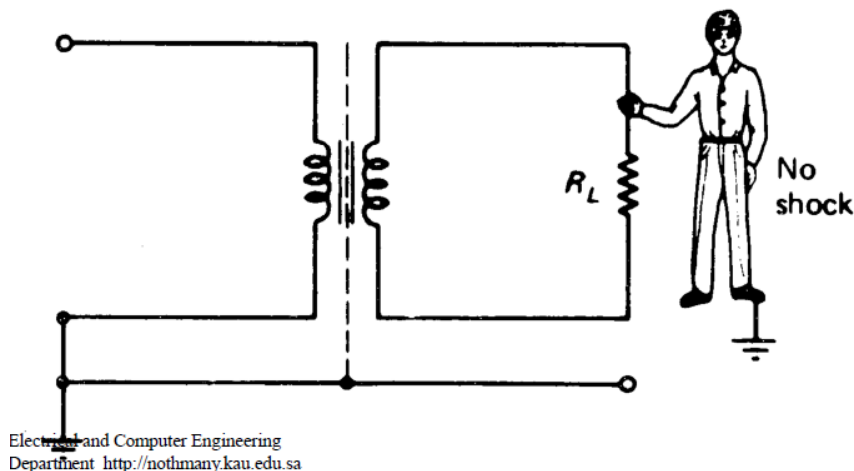
Ο μετασχηματιστής απομόνωσης απομονώνει και τους δυο αγωγούς, δηλαδή τόσο τη φάση όσο και τον ουδέτερο από τη γη.



Σχήμα 8.2: Χρήση LIM (line-insulator monitor) για τη μέτρηση των ρευμάτων που εμφανίζονται μεταξύ φάσης και γης σε χαμηλές χωρητικότητες

Πηγή: http://www.kau.edu.sa/files/0003605/files/92058_electrical%20safety.pdf

Στο παραπάνω σχήμα τα εσωτερικά κυκλώματα είναι απομονωμένα από τη γη. Αν μια γραμμή συνδεθεί με τη γη λόγω σφάλματος (δημιουργία αγωγίμου δρόμου προς τη γη), η συσκευή δουλεύει όπως σε ένα TN σύστημα, το ρεύμα στις χωρητικότητες αυξάνεται και έτσι σημαίνει η πρώτη ειδοποίηση σφάλματος. Ένα όριο ασφάλειας ρεύματος σε σφάλμα είναι κάτω από τα 5 mA (ασφάλεια έναντι μακροπληξίας). Έτσι παρέχεται και προστασία έναντι πυρκαγιάς, αφού δε δημιουργούνται τόσο υψηλά ρεύματα μεταξύ των επιφανειών ώστε να δημιουργηθεί σπίθα.

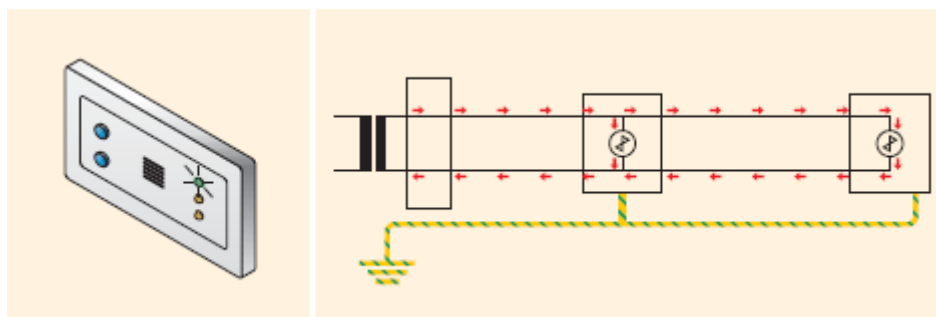


Σχήμα 8.3: Μετασχηματιστής απομόνωσης: παρέχει προστασία από μακροπληξία

Πηγή: http://www.kau.edu.sa/files/0003605/files/92058_electrical%20safety.pdf

Σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας πρέπει η παροχή τάσης να αποκαθίσταται στα επείγοντα φορτία (φορτία που βρίσκονται πάντα υπό τάση) μέσα σε 10 s.

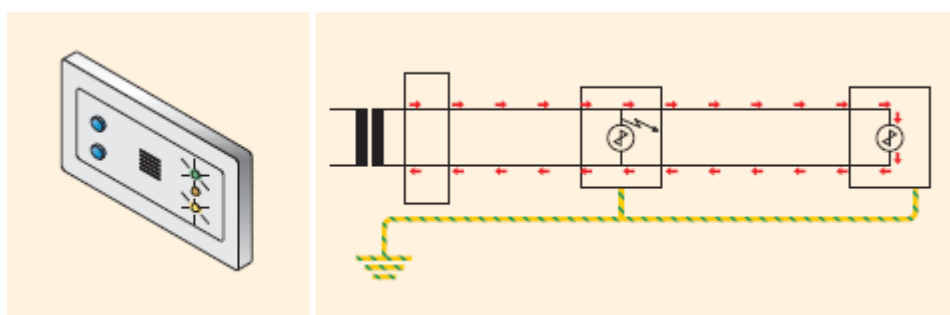
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η λειτουργία των συσκευών στις τρεις πιθανές περιπτώσεις λειτουργίας: χωρίς σφάλμα, σε πρώτο σφάλμα, σε δεύτερο σφάλμα:



Σχήμα 8.4: Ροή ρεύματος χωρίς σφάλμα

Πηγή: [https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/\\$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf](https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf)

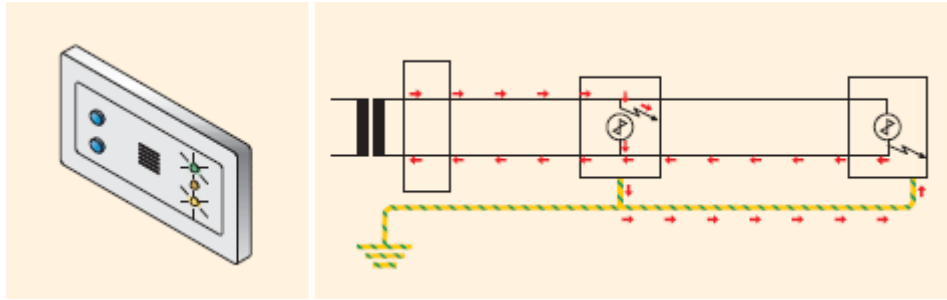
Δεν υπάρχει επικίνδυνη ροή ρεύματος στον PE και οι συσκευές λειτουργούν κανονικά.



Σχήμα 8.5: Ροή ρεύματος στο πρώτο σφάλμα

Πηγή: [https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/\\$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf](https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf)

Δεν υπάρχουν επικίνδυνα ρεύματα να ρέουν στον PE, αλλά η πρώτη συσκευή παραμένει εκτός λειτουργίας.



Σχήμα 8.6: Ροή ρεύματος στο δεύτερο σφάλμα

Πηγή: [https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cacf3c125793d0034c65a/\\$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf](https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cacf3c125793d0034c65a/$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf)

Εξαιτίας του ρεύματος που ρέει στον PE, είναι απαραίτητο να αποσυνδεθεί η παροχή από το IT σύστημα αφού δεν ικανοποιούνται οι κανόνες προστασίας.

Σύμφωνα με το IEC 60364-7-710.512.1.6 διευκρινίζεται ότι:

- Ο μετασχηματιστής απομόνωσης πρέπει να εγκαθίσταται μέσα ή στο άμεσο περιβάλλον, έξω από τους ιατρικούς χώρους
- Η μέγιστη ονομαστική τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή δεν πρέπει να ξεπερνά τα 250 V AC
- Οι μετασχηματιστές πρέπει να ικανοποιούν το πρότυπο IEC 61558-2-15 όσο είναι δυνατό

Επιπλέον, ο Μ/Σ πρέπει να ακολουθεί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Το ρεύμα διαρροής του τυλίγματος εξόδου προς γη και το ρεύμα διαρροής περιβλήματος, δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,5 mA, όταν μετράται χωρίς φορτίο και ο μετασχηματιστής που παρέχεται στις μετρούμενες τάσεις και συχνότητες.
- Πρέπει να χρησιμοποιούνται μονοφασικοί μετασχηματιστές για να τροποποιούν το σύστημα για να καλύπτει φορητό και σταθερό εξοπλισμό ενώ η έξοδος δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5 kVA και δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 10 kVA.
- Αν το σύστημα πρέπει να τροφοδοτήσει τριφασικά φορτία, τότε απαιτείται ένας ξεχωριστός τριφασικός μετασχηματιστής, με την τάση εξόδου (μεταξύ των φάσεων) να μην ξεπερνά τα 250 V.

Άλλες προδιαγραφές για τους μετασχηματιστές:

- Πρέπει να έχουν σύστημα ψύξης αέρα
- Πρέπει να έχουν διπλή ενισχυμένη μόνωση μεταξύ των τυλιγμάτων και μεταξύ των αγωγίμων κομματιών του εξοπλισμού
- Ένα μεταλλικό έλασμα προστασίας μπορεί να τοποθετηθεί μεταξύ των δυο τυλιγμάτων συνδεδεμένο με τη γη
- Η τάση βραχυκύκλωσης δεν πρέπει να ξεπερνά το 3%
- Το ρεύμα ανοιχτοκύκλωσης (χωρίς φορτίο) του πρωτεύοντος δεν πρέπει να ξεπερνά το 3%
- Το μέγιστο ρεύμα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 12 φορές το ονομαστικό

Μια σημαντική παράμετρος στην επιλογή ενός μετασχηματιστή απομόνωσης είναι η θερμική κλάση μόνωσης, δηλαδή το πόσο ζεσταίνεται το προϊόν υπό φορτίο, ενώ παραμένουν οι συνθήκες ασφαλείας.

Επίσης ένας τέτοιος Μ/Σ μπορεί να είναι εφοδιασμένος με μια μεταλλική επιφάνεια (οθόνη), η οποία συμβάλλει στο φιλτράρισμα των παρεμβολών του δικτύου και των αρμονικών στοιχείων από την τροφοδοσία.

8.4.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών απομόνωσης σε IT σύστημα για ιατρική χρήση

Power	kVA	3	5	7,5	10
Primary voltage	V	230	230	230	230
Secondary voltage	V	230	230	230	230
Frequency	Hz	50-60	50-60	50-60	50-60
Secondary currents	A	13	21.7	32.6	43.5
Current of the external secondary delayed fuse		T12,5	T20	T32	T40
Thermal insulation class	°C	B 130	B130	F 155	F 155
Dimensions	mm	205x340x150	240x380x150	240x380x160	277x380x260
Weight	kg	29.5	44	50.5	73
Plug-in current (peak value)		< 12 times the rated current			
Earth leakage current of the secondary winding and current of dispersion of the casing (both without load)	mA	< 0.5			
Maximum ambient temperature	°C	40	40	40	40
Reference standards		IEC 61558-1	IEC 61558-2-15	IEC 62041	
Electrical class		1	1	1	1

Πίνακας 8.1

Πηγή: [https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/\\$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf](https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf)

8.4.1.2 Προστασία του μετασχηματιστή απομόνωσης έναντι υπερφορτώσεων και υπερθέρμανσης

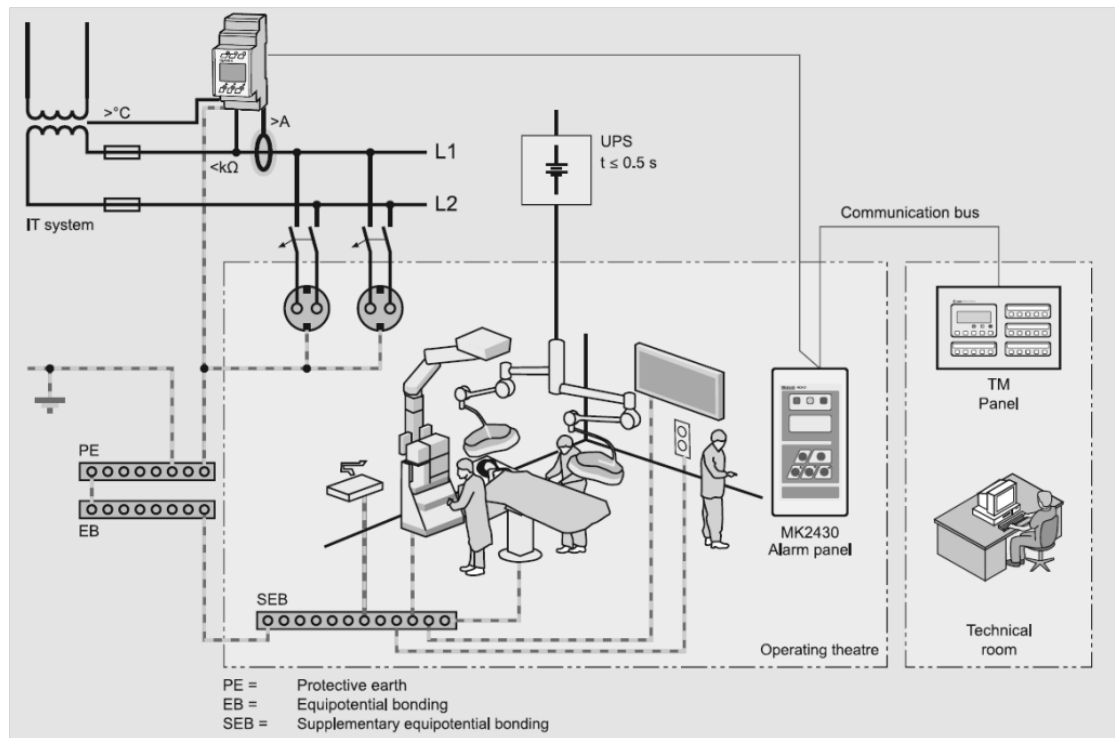
Για να διασφαλιστεί η προστασία του μετασχηματιστή και των αγωγών σύνδεσης ανάμεσα στο πρωτεύον και το δευτερεύον καθώς και του ζυγού διανομής, σύμφωνα με την παράγραφο 710.413.1.5 προτείνεται η παρακολούθηση του φορτίου και της θερμοκρασίας του Μ/Σ. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται μια οπτική και ηχητική ειδοποίηση όταν ξεπερνιούνται τα επιτρεπτά όρια θερμοκρασίας και φορτίου. Για την παρακολούθηση χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός παρακολούθησης της θερμοκρασίας και του ρεύματος, ώστε να ανιχνεύεται τόσο η θέρμανση του όσο και η εμφάνιση ενός μεταβατικού φορτίου σε σύνδεση με ηλεκτρικό εξοπλισμό με μεγάλη χωρητική συμπεριφορά.

Συγκεκριμένα:

Το φορτίο που μπορεί να “σηκώσει” ένας μετασχηματιστής απομόνωσης δεν είναι απεριόριστο. Γι' αυτό και σύμφωνα με το IEC 60364-7-710 παρ. 413.1.5, απαιτείται η επιτήρηση του φορτίου και της θερμοκρασίας του.

Επιτήρηση φορτίου και μόνωσης:

- μέτρηση και ένδειξη της υπερβολικής θέρμανσης του μετασχηματιστή μέσω PTC αντιστάσεων (στο τύλιγμα του Μ/Σ)
- μέτρηση και καταγραφή του φορτίου, μέσω μετασχηματιστών έντασης
- κατ' αυτόν τον τρόπο, μια υπερφόρτωση του συστήματος, μπορεί να διαγνωστεί έγκαιρα με ταυτόχρονη ειδοποίηση του προσωπικού μέσω ενός οπτικού και ηχητικού σήματος έτσι ώστε να μειωθεί το φορτίο κλείνοντας συσκευές που δεν είναι απαραίτητες



Σχήμα 8.7: Αγείωτο δίκτυο με επιτήρηση της θερμοκρασίας

Πηγή: [http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender medical appliances_hq.pdf](http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender%20medical%20appliances%20hq.pdf)

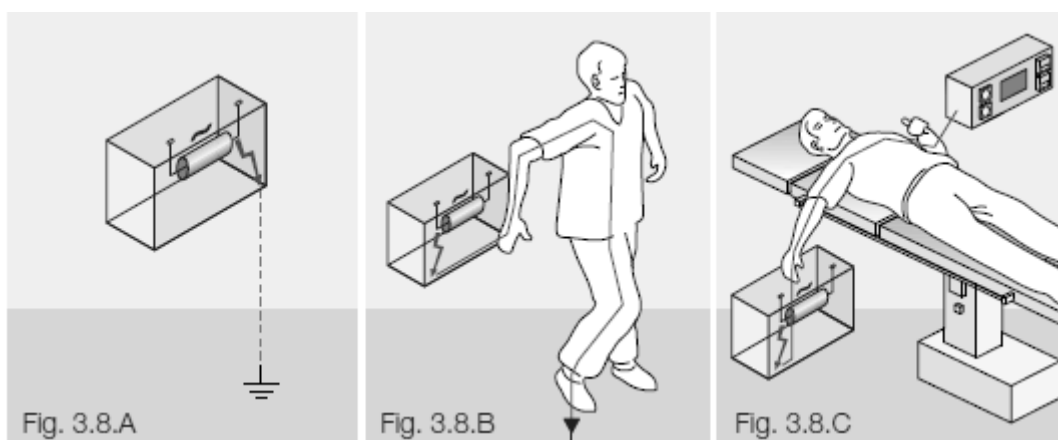
8.4.2 Συσκευή επιτήρησης μόνωσης

Ένα ρεύμα που προέρχεται εκτός του ηλεκτρικού συστήματος, π.χ. ένα ρεύμα διαρροής ως προς γη που διαρρέει μια ηλεκτρική συσκευή, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας του ασθενή. Σε ένα χειρουργείο, ακόμα και ένα ρεύμα δεκάδων μA είναι αρκετό για να προκαλέσει κοιλιακή μαρμαρυγή. Το ίδιο ρεύμα υπό άλλες συνθήκες δε θα αποτελούσε κίνδυνο.

Τα ρεύματα διαρροής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις διαφορετικούς τύπους:

- Ρεύμα διαρροής ως προς γη (του αγωγού προστασίας) (σχήμα Fig. 3.8.A)
- Ρεύμα επαφής, με άλλα λόγια το ρεύμα που περνάει από τον άνθρωπο σε περίπτωση επαφής με το περίβλημα μιας συσκευής σε περίπτωση σφάλματος μόνωσης (σχήμα Fig. 3.8.B)

- Ρεύμα διαρροής σε ασθενή με καθετήρα το οποί ρέει προς τη γη (σχήμα Fig. 3.8.C)



Σχήμα 8.8: Παραδείγματα περιπτώσεων ρευμάτων διαρροής

Πηγή: [https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/\\$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf](https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cac3c125793d0034c65a/$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf)

Για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν κάποιες επιτρεπτές τιμές που εξαρτώνται με τη σειρά τους από τον τύπο της συσκευής όπως ορίζεται από το IEC 60601-1, το οποίο εφαρμόζεται σε ιατρικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται από ειδικευμένο προσωπικό ή κάτω από την επίβλεψη του, στο περιβάλλον του ασθενούς, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των ανθρώπων και ζώων στο περιβάλλον αυτό.

Ρεύμα διαρροής(mA)	Συνθήκες	Τύπος εφαρμοζόμενου μέρους		
		B	BF	CF
Ως προς γη	Χωρίς σφάλμα	5	5	5
	Πρώτο σφάλμα	10	10	10
Επαφής	Χωρίς σφάλμα	0.1	0.1	0.1
	Πρώτο σφάλμα	0.5	0.5	0.5
Στον ασθενή	Χωρίς σφάλμα	0.1	0.1	0.01
	Πρώτο σφάλμα	0.5	0.5	0.05

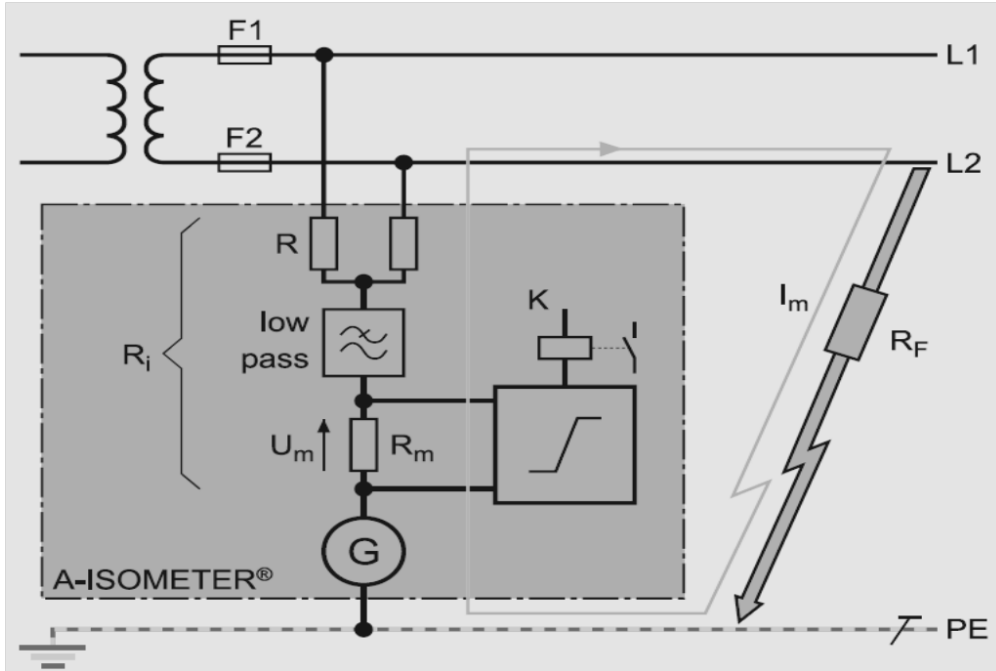
Η συσκευή αυτή πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις:

- Εσωτερική σύνθετη αντίσταση τουλάχιστον 100 kΩ
- Η τάση δοκιμής δεν πρέπει να ξεπερνά τα 25 V dc

- Το εγχεόμενο ρεύμα, ακόμα και κάτω από συνθήκες σφάλματος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 1 mA
- Οι ειδοποιήσεις πρέπει να ξεκινούν όποτε η αντίσταση μόνωσης πέφτει κάτω από τα 50 kΩ. Πρέπει να παρέχεται συσκευή δοκιμής.

Δεν πρέπει να είναι δυνατή η αποσύνδεση της συσκευής επιτήρησης.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας μιας συσκευής επιτήρησης μόνωσης:



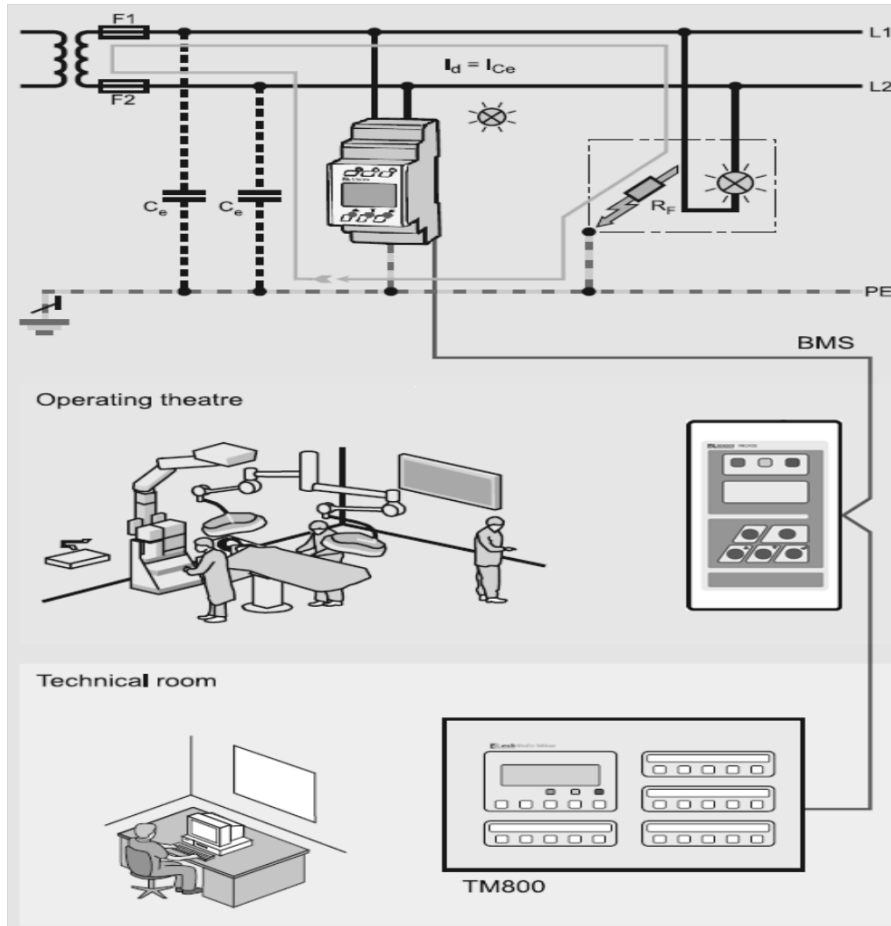
Σχήμα 8.9: Αρχή λειτουργίας της επιτήρησης μόνωσης

Πηγή: http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender_medical_appliances_hq.pdf

8.4.3 Μονάδα αναγγελίας και ελέγχου

Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται για τη σύγχρονη πληροφόρηση και πληροφοριακά συστήματα σε νοσοκομεία. Οι μονάδες αυτές συνήθως περιλαμβάνουν μια οθόνη για τις ενδείξεις σφαλμάτων, διάφορες οπτικές σημάνσεις με LED, καθώς και μπουτόν για δοκιμή του επιτηρητή μόνωσης και buzzer off.

Η οθόνη ένδειξης δείχνει μόνο τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζονται μια δεδομένη στιγμή, με αυτόν τον τρόπο δεν προκαλείται σύγχυση με την πληροφόρηση. Η ανταλλαγή πληροφοριών μέσω του επιτηρητή μόνωσης και των μονάδων ενδείξεων μπορεί να γίνει μέσω ενός bus δυο αγωγών, κάτι που βοηθάει στην εγκατάσταση απλών και παράλληλων δικτύων και συστημάτων πληροφόρησης.



Σχήμα 8.10: Πληροφόρηση προσωπικού

Πηγή: [http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender medical appliances hq.pdf](http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender%20medical%20appliances%20hq.pdf)

8.4.4 Ενημέρωση ιατρικού/τεχνικού προσωπικού

Χάρη στην επιτήρηση μόνωσης, φορτίου και θερμοκρασίας το ιατρικό προσωπικό ενημερώνεται για ένα σφάλμα πριν την εκδήλωσή του. Έτσι παρακολουθούνται και προλαμβάνονται οι εξής περιπτώσεις:

- σύνδεσης μιας ελαττωματικής συσκευής. Το σύστημα ανιχνεύει το πρόβλημα μόνωσης και προειδοποιεί για την αποσύνδεση και διόρθωσή της
- σύνδεσης στο δίκτυο ενός φορτίου που δεν το “σηκώνει”, καθώς το φορτίο προσεγγίζει το 100% του
- αύξησης της θερμοκρασίας του Μ/Σ εξαιτίας υπερφόρτισης ή σφάλματος

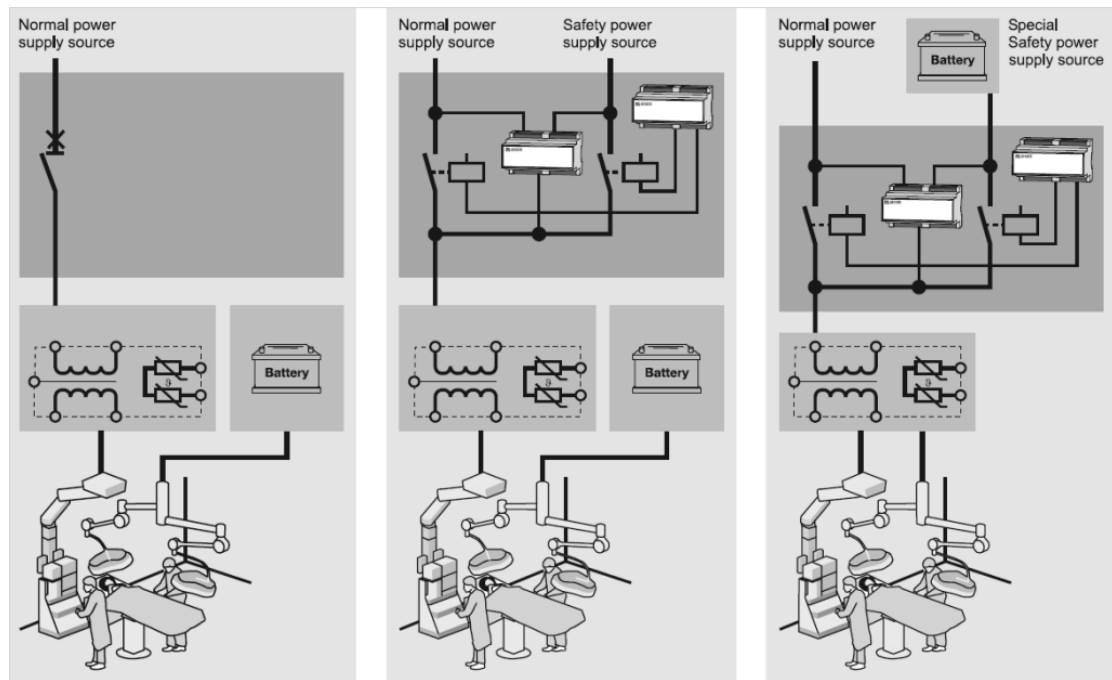
Η επιτήρηση μόνωσης είναι απαραίτητη σε μονάδες εντατικής θεραπείας και χειρουργεία αφού:

- εγκαθίσταται ένας μεγάλος αριθμός πριζών επομένως είναι δύσκολος και κοστοβόρος ο εντοπισμός μιας ελαττωματικής συσκευής
- συχνά τα κρεβάτια των μονάδων αυτών δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια σφάλματος αφού οι συσκευές υποστήριξης της ζωής πρέπει να αποσυνδεθούν
- το διαθέσιμο προσωπικό δεν επιτρέπει άμεσο εντοπισμό ενός σφάλματος

8.4.5 Τροφοδότηση αγείωτων δικτύων

Υπάρχουν ανάμεσα σε άλλες, τρεις επιλογές τροφοδότησης για αγείωτα δίκτυα:

- **ένα καλώδιο τροφοδότησης:** Το αγείωτο δίκτυο τροφοδοτείται με ένα μόνο καλώδιο. Αν έχουμε μια διακοπή σε αυτό το καλώδιο τότε έχουμε και μια πλήρη διακοπή λειτουργίας του κυκλώματος. Το σύστημα αυτό δεν είναι αποδεκτό στις περισσότερες χώρες λόγω της μειωμένης ασφάλειας που παρέχει.
- **δύο καλώδια τροφοδότησης:** Το αγείωτο δίκτυο τροφοδοτείται με δυο καλώδια. Αν συμβεί ένα γεγονός και το πρώτο καλώδιο βγει εκτός, τότε γίνεται αυτόματη μεταγωγή στο δεύτερο καλώδιο.
- **δυο καλώδια τροφοδότησης, με μια πηγή ασφαλείας:** Το δεύτερο καλώδιο τροφοδοτείται από μια πηγή ασφαλείας. Αυτό εξασφαλίζει την τροφοδότηση των κρίσιμων ιατρικών συσκευών που υποστηρίζουν τη ζωή ανεξάρτητα από την εξωτερική ή εσωτερική ηλεκτρική τροφοδότηση.
Σε αυτή την περίπτωση συνήθως εγκαθίσταται μια μονάδα μεταγωγής με σκοπό:
 - επιτήρηση της τάσης στην κύρια και δευτερεύουσα γραμμή τροφοδότησης
 - μεταγωγή στη δεύτερη γραμμή τροφοδότησης αν η τάση πέσει σε ένα ή περισσότερους αγωγούς περισσότερο από 10% της ονομαστικής τάσης
 - επιτήρησης των εξαρτημάτων μεταγωγής
 - αυτόματη επιστροφή στην κύρια γραμμή τροφοδότησης κατά την επιστροφή της τάσης
 - επιτήρηση της αντίστασης μόνωσης και του φορτίου και της θερμοκρασίας στο αγείωτο δίκτυο, πρόσθετα το προσωπικό έχει οπτική και ακουστική πληροφόρηση της κατάστασης του δικτύου μέσω της μονάδας αναγγελίας



Σχήμα 8.11:

από αριστερά προς τα δεξιά

- 1) IT σύστημα με ένα καλώδιο τροφοδοσίας
- 2) IT σύστημα με δύο καλώδια τροφοδοσίας
- 3) IT σύστημα με δύο καλώδια τροφοδοσίας και μια πηγή ασφάλειας

Πηγή: http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender_medical_appliances_hq.pdf

8.4.6 Συστήματα πρόσθετης ασφάλειας

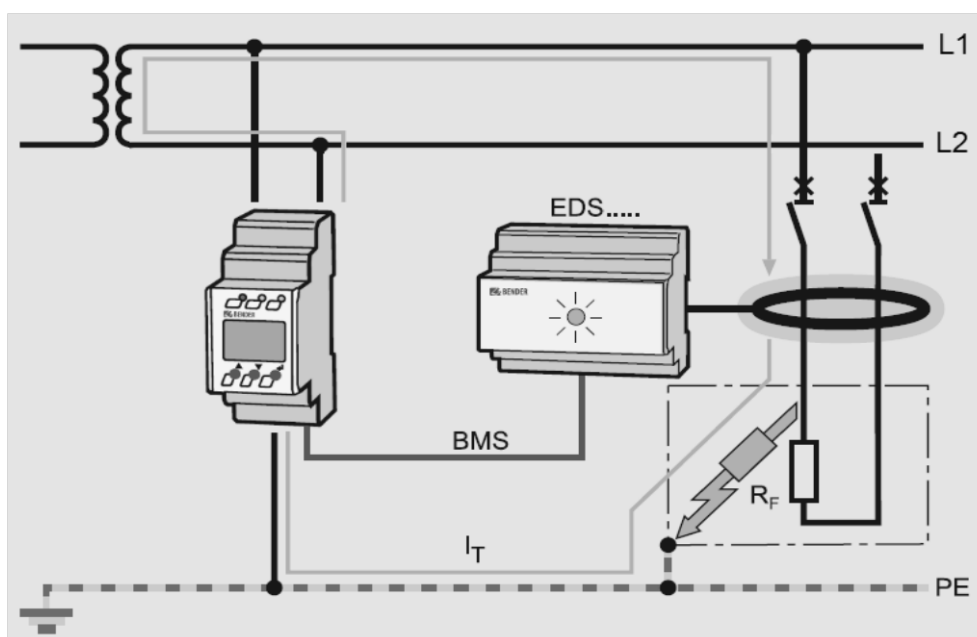
Σε ιατρικούς χώρους, για την τροφοδότηση των ιατρικών συσκευών όπως έχει ήδη αναφερθεί χρησιμοποιούνται αγείωτα δίκτυα για την εξασφάλιση μιας αξιόπιστης πηγής τροφοδοσίας, ακόμα και μετά από ένα πρώτο σφάλμα. Όμως, μερικές φορές ο επιτηρητής μόνωσης δεν επαρκεί για το γρήγορο εντοπισμό και την επιδιόρθωση ενός σφάλματος. Συγκεκριμένα σε μια μονάδα εντατικής θεραπείας που έχουμε την ταυτόχρονη λειτουργία ιατρικών συσκευών, η ανίχνευση ενός σφάλματος είναι πολύ χρονοβόρα και επικίνδυνη διαδικασία. Επομένως ένα σύστημα για να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο είναι καλό να διαθέτει συστήματα εντοπισμού σφαλμάτων διαρροών, το οποίο να υποδεικνύει την ακριβή τοποθεσία του σφάλματος, χωρίς τη διακοπή της τροφοδότησης. Καλό είναι να χρησιμοποιείται κυρίως σε εντατικές και χειρουργεία, όπου η ασφάλεια είναι υψίστης σημασίας.

Ένα τέτοιο σύστημα έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- προσδιορισμός του σφάλματος κατά τη λειτουργία
- εντοπισμός ρευμάτων διαρροής
- μειωμένα έξοδα συντήρησης
- κεντρική ένδειξη μέσω οθόνης

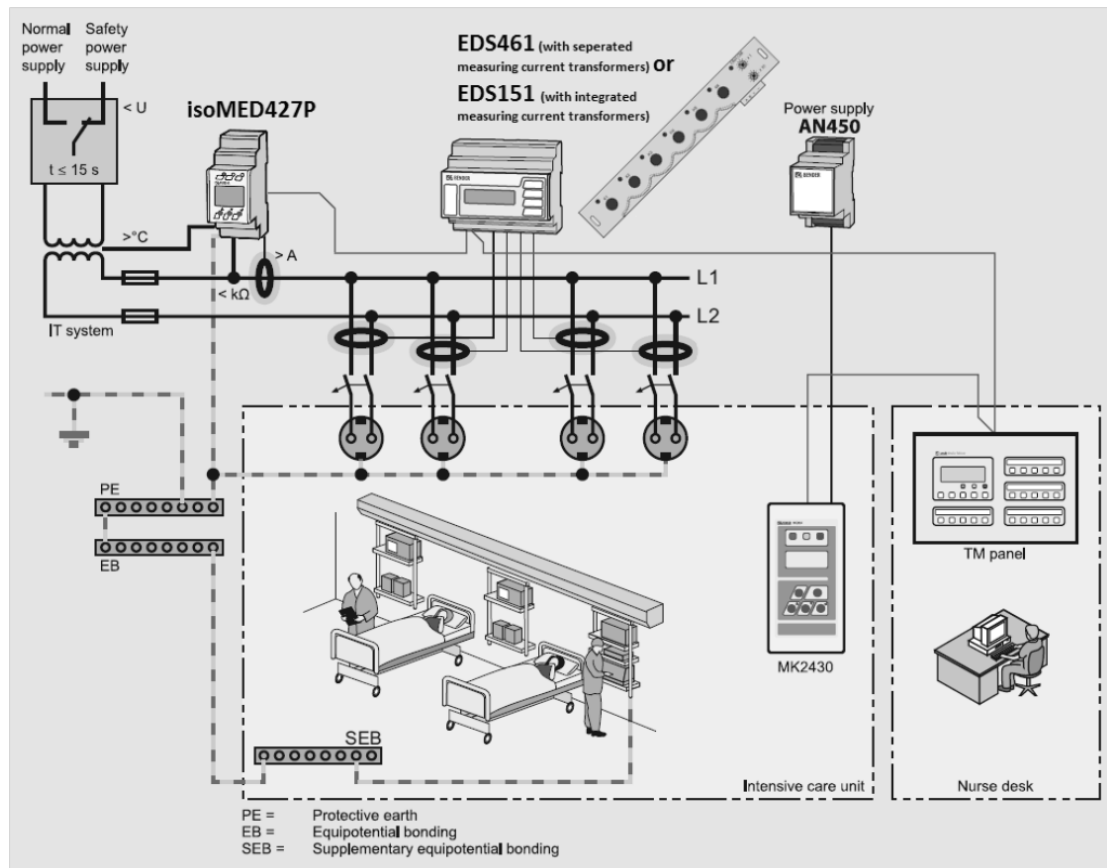
8.4.6.1 Λειτουργία

Το σύστημα αυτό (EDS στην εικόνα που ακολουθεί) λειτουργεί σε συνεργασία με μια κεντρική συσκευή επιτήρησης μόνωσης. Αφού υπάρξει ένδειξη σφάλματος, το σύστημα αυτόματα ενεργοποιεί το σύστημα εντοπισμού του σφάλματος. Μια συσκευή παράγει ένα σήμα δοκιμής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Το εύρος της κυματομορφής και η διάρκεια του σήματος είναι περιορισμένες. Το σήμα ταξιδεύει μέσω του σφάλματος και μέσω όλων των μετασχηματιστών έντασης. Το σύστημα ελέγχει όλους τους μετασχηματιστές έντασης και μέσω των LED ή μέσω μιας κεντρικής μονάδας αναγγελίας μας υποδεικνύει το κανάλι με το σφάλμα.



Σχήμα 8.12: Τρόπος λειτουργίας συστήματος

Πηγή: [http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender medical appliances hq.pdf](http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender%20medical%20appliances%20hq.pdf)



Σχήμα 8.13: Εντοπισμός σφαλμάτων διαρροής, εφαρμοσμένος σε μια μονάδα εντατικής θεραπείας

Πηγή: http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender_medical_appliances_hq.pdf

8.4.7 Σύστημα TN-S 5- πολικό

Για την αποφυγή των ρευμάτων διαρροής το IEC 60364-7-710 προτείνει την εγκατάσταση ενός δικτύου TN-S (γειωμένο δίκτυο 5 αγωγών) από τον κεντρικό πίνακα του κτιρίου, ενώ προτείνεται και η επιτήρηση αυτού του δικτύου, ώστε να εξασφαλίζεται το επίπεδο μόνωσης και στους 5 αγωγούς. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται RCM (Residual Current Monitors) ή RCMS (Residual Current Monitoring Systems), τα οποία ανιχνεύουν και δείχνουν τα ρεύματα διαρροής σε ένα πρώιμο στάδιο, αντί να διακόπτει την τροφοδοσία.

Σύμφωνα με το IEC 60364-7-710 συστήματα όπως το TN-S και το TT δεν πρέπει να συνδέονται με ιατρικές ηλεκτρικές συσκευές ή συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση ή την υποστήριξη ζωής.

Έτσι η χρήση του TN-S περιορίζεται σε:

- κύκλωμα τροφοδοσίας του χειρουργικού τραπεζιού
- κυκλώματα τροφοδοσίας των ακτινολογικών μηχανημάτων
- κυκλώματα για μεγάλες συσκευές με ονομαστικό φορτίο μεγαλύτερο των 5 kVA

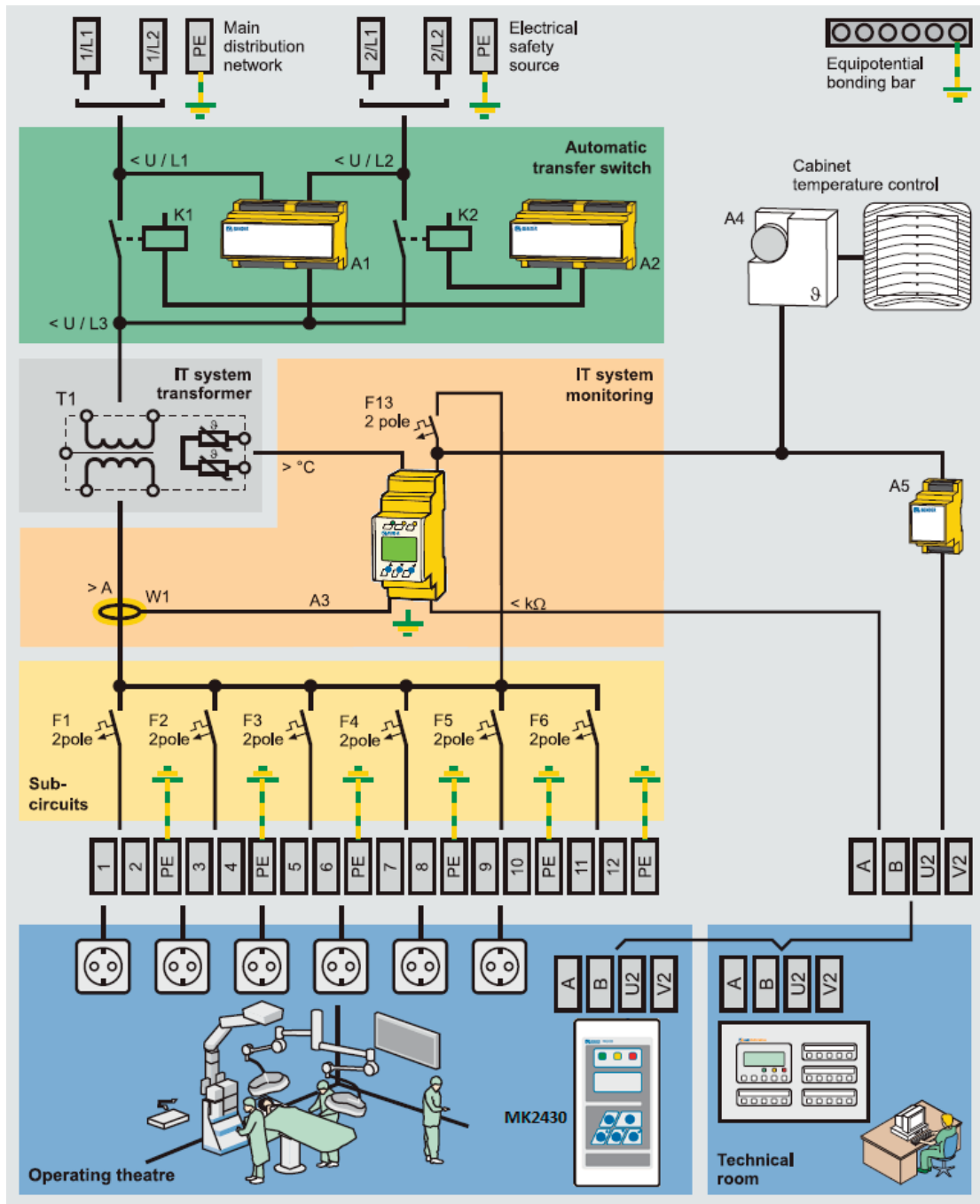
- κυκλώματα για την τροφοδότηση μη κρίσιμων ηλεκτρικών συσκευών (όχι μηχανήματα υποστήριξης ζωής)

Στις παραπάνω περιπτώσεις δεν πρέπει να χρησιμοποιείται IT σύστημα.

Πλεονεκτήματα:

- προειδοποίηση πριν από απρόσμενη διακοπή της τροφοδοσίας και εξάλειψη του κινδύνου πυρκαγιάς
- επιτήρηση της ηλεκτρικής εγκατάστασης από ένα κέντρο
- προσαρμογή στις ιδιαιτερότητες του δικτύου με ξεχωριστή ρύθμιση για κάθε κανάλι

Μια ολοκληρωμένη εικόνα του IT συστήματος στο χειρουργείο παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



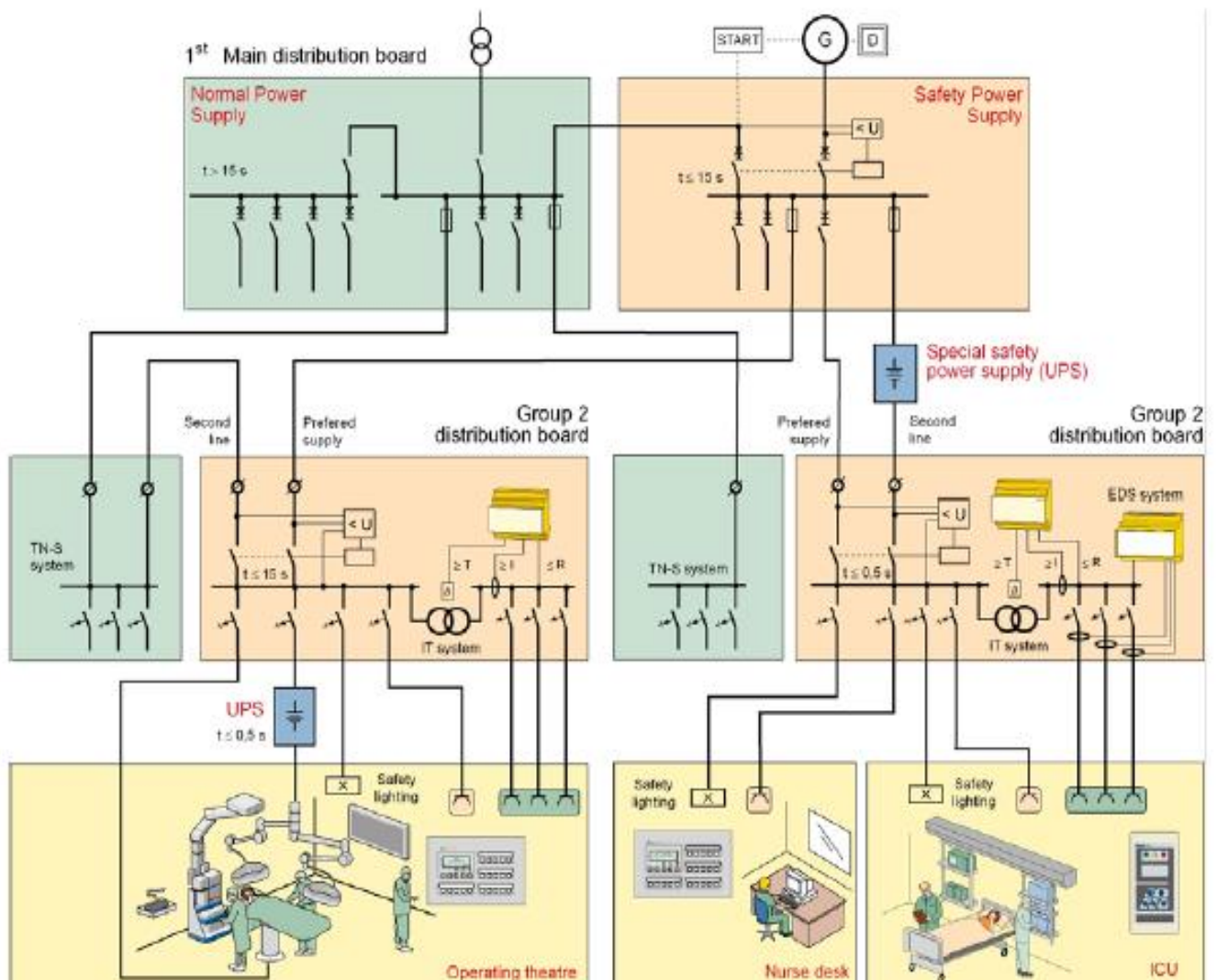
Σχήμα 8.14

Πηγή: http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender_medical_appliances_hq.pdf

Περιγραφή σχήματος ανά χρωματικές περιοχές:

- I. Πράσινο: κεντρική τροφοδοσία και Η/Ζ σε περίπτωση σφάλματος στην πρωτεύουσα τροφοδοσία
- II. Γκρι σκούρο(αριστερά): Μ/Σ απομόνωσης
- III. Ροζ: σύστημα παρακολούθησης μόνωσης
- IV. Γκρι ανοιχτό(δεξιά): σύστημα παρακολούθησης θερμοκρασίας και φορτίου
- V. Μπλε: χειρουργείο, μονάδα αναγγελίας

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα ακόμα παράδειγμα ηλεκτροδότησης ενός χειρουργείου σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-7-710:



Σχήμα 8.15

Πηγή: <http://omtechnicalsolutions.com/download/Electrical-Safety.pdf>

Το παραπάνω σχήμα χωρίζεται σε δυο χρωματικές περιοχές μια γκρι και μια ροζ. Η γκρι περιλαμβάνει την κύρια πηγή τροφοδότησης, η οποία τροφοδοτεί το TN-S σύστημα τροφοδότησης, ενώ το ροζ παρουσιάζει την τροφοδοσία ασφαλείας και την εφεδρική τροφοδότηση που καταλήγει στο IT σύστημα (το οποίο προφανώς τροφοδοτείται και από την κύρια τροφοδοσία-ΔΕΗ).

8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι φανερό, πως η διαρκής εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταστήσει την ηλεκτροπληξία έναν ζωτικής σημασίας κίνδυνο για τον άνθρωπο, κυρίως στις νοσοκομειακές εγκαταστάσεις. Οι χώροι παροχής ιατρικών υπηρεσιών έχουν λάβει, όπως έχει ήδη περιγραφεί στην παρούσα εργασία, τα απαραίτητα μέτρα για την προφύλαξη των ασθενών και του προσωπικού. Επιπλέον, γίνεται φανερή η σημασία των ρευμάτων διαρροής και ο κίνδυνος που αποτελούν, όπως διευκρινίζεται στα παραδείγματα που παρατίθενται παραπάνω, στα οποία απεικονίζονται διάφορες συνθήκες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένας ασθενής ή ένα μέλος του ιατροτεχνολογικού προσωπικού. Επιπρόσθετα, αναδεικνύεται η σημασία της σωστής εγκατάστασης γείωσης, με μεγαλύτερη έμφαση σε χώρους όπως τα χειρουργεία, όπου μεγάλο ρόλο παίζει το Ιατρικό IT σύστημα. Το σύστημα αυτό, αν και δεν προτιμάται σε οικιακές εγκαταστάσεις, είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι προστασίας, εφόσον χρησιμοποιείται στο πιο ευπαθές κομμάτι του νοσοκομείου. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, υπάρχει ένα συγκεντρωτικό και λεπτομερές υλικό για τις προδιαγραφές που ακολουθούνται και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις υπηρεσίες υγείας. Περιγράφονται τα συστήματα τελευταίας τεχνολογίας που προτείνονται για τις σύγχρονες εγκαταστάσεις, οι οποίες παρέχουν έναν πολύ μεγάλο βαθμό προστασίας έναντι στους κινδύνους ηλεκτροπληξίας, συγκριτικά με τον παλιότερο εξοπλισμό. Σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η καταγραφή και ενημέρωση των σύγχρονων (state of the art) μέσων προστασίας, καθώς η ύπαρξη συγκεντρωτικού up to date υλικού είναι πολύ μικρή, όσον αφορά τις νοσοκομειακές εγκαταστάσεις. Βέβαια, για τη διασφάλιση της προστασίας αυτής, το πιο σημαντικό στοιχείο είναι ο διαρκής έλεγχος των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και των συσκευών, για τυχόν δυσλειτουργίες, σφάλματα ή φθορές, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_shock
- [2] Πρότυπο IEC 60364-7-710: 2002 “*Electrical installations of buildings – Part 7-710: Requirements for special installations or locations – Medical locations*”, International Electrotechnical Commission
- [3] http://www.texnikosafaleias.gr/RTE/my_documents/my_files/84ELSHOCKsec.pdf
- [4] <http://greekelectrician.blogspot.gr/2011/12/blog-post.html>
- [5] http://users.sch.gr/nchatzigeo/Biblia/Biomhx_egkatas_ypost.pdf
- [6] Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384: Απατήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις- Requirements for electrical installations
- [7] http://civil.teipir.gr/web/uploads/HLEKTROLOGIKES_2.pdf
- [8] faraday.ee.auth.gr/kosmanis/files/prostasia.ppt
- [9] <http://www.eetemher.gr/bio/Sarrhs.pdf>
- [10] <http://www.jimkava.com/wp-content/uploads/2011/10/%CE%9A%CE%B5%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF-5.pdf>
- [11] <http://alexander.ee.auth.gr:8083/eTHMMY/archive/106/customStore/ergaskgp2012-2013.pdf>
- [12] http://civil.teipir.gr/web/uploads/ANAKOINOSEIS%20KATHIGITON/HLEKTROLOGIKES_3X12.pdf
- [13] [http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/\\$file/ilektrismos.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/248B0AD129F4F64CC2257168003765BC/$file/ilektrismos.pdf)
- [14] http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Parousiasi9.pdf
- [15] http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/KYKLOS%20SEMINARION%20MIKRIS%20DIARKIAS/SHMEIWSEIS/YGEIA%20KAI%20ASFALEIA%20STH%20BIOMHXANIA/5%C7%CB%C5%CA%D4%D1%CF%D0%CB%C7%CE%C9%C1.pdf
- [16] «Πρωτόκολλο ελέγχων ηλεκτρικής ασφάλειας ηλεκτροϊατρικού εξοπλισμού», Παληκαράκης Νικόλαος, Γκίκας-Πανούσης Σ. , Μαλατάρης Παναγιώτης, ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ, τ.-,τχ. 52, 1998, σ. 29-34
- [17] faculty.etsu.edu/Blanton/Safety_1.ppt

- [18] [http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender medical appliances hq.pdf](http://www.dimoulas.com.gr/PDF%20EIDIKES%20AGORES/DIM/120925%20Bender%20medical%20appliances%20hq.pdf)
- [19] [http://www.bender-cn.com/fileadmin/products/b/e/Electrical-safety-costs-little PROSP en.pdf](http://www.bender-cn.com/fileadmin/products/b/e/Electrical-safety-costs-little_PROSP_en.pdf)
- [20] <http://omtechnicalolutions.com/download/Electrical-Safety.pdf>
- [21] «The electric shock hazard in Hospitals», J. A. HOPPS, B.Sc.E.E., Ottawa, Ont, Canad.Med.Ass.J
- [22] <http://www.pglifelink.com/pdf/isolated-power-explanation.pdf>
- [23] [http://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cacf3c125793d0034c65a/\\$file/installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf](http://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cacf3c125793d0034c65a/$file/installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf)
- [24] « Ειδικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Α' Τεύχος», Δημητρόπουλος Βασίλειος, Βαρβατσουλάκης Μιχαήλ, Κουτουλάκος Χρήστος, Γεωργάκης Θεόδωρος, Αθήνα 2001
- [25] ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ, 3η Έκδοση Συγγραφέας: Seip G. Έτος έκδοσης: 2004, Σελίδες: 1032, ISBN 960-418-029-5,
- [26] « Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ιατρικών εφαρμογών: Προτεραιότητα στην Ιατρική ασφάλεια » Δημ. Αθ. Μπουρνάκας, 2004
- [27] « Εφαρμογές Εγκαταστάσεων σε Νοσοκομεία », Π.Δ Μπούρκας, 1991, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [28] « Electricity in Hospitals: elimination of lethal hazards », Gordon D. Friedlander
- [29] «Προδιαγραφές ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων των κύριων τμημάτων των νοσοκομείων», Υπουργείο Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης, ΔΥ8/Β/οικ.49727/26-04-2010
- [30] <http://hlektrologia.gr/%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%82-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%B1/>