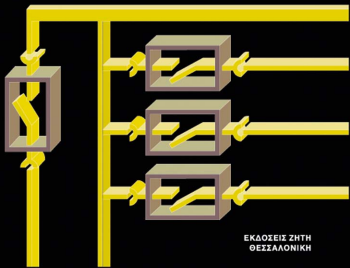


ΠΕΤΡΟΣ ΝΤΟΚΟΠΟΥΛΟΣ

# ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Β' ΕΚΔΟΣΗ



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ**

*Το σύγγραμμα αυτό έχει γραφτεί σαν βοήθημα των σπουδαστών ηλεκτρολόγων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ασχολείται με την τεχνολογία των εγκαταστάσεων χαμηλής τάσης και των υποσταθμών καταναλωτών μέσης - χαμηλής τάσης. Αντικείμενό του είναι να δώσει στους σπουδαστές τις βάσεις για να κάνουν μελέτες ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Ο πίνακας περιεχομένων δείχνει τα πλαίσια που κινείται αυτό το διβλίο.*

*Ορισμένα θέματα δεν έχουν αναπτυχθεί σε πληρότητα γιατί είναι αντικείμενο άλλων μαθημάτων. Αυτά είναι κυρίως ο λεπτομερής υπολογισμός φωτισμού, οι θερμικές απώλειες κτιρίων στους υπολογισμούς θερμοσυσσωρευτών, η πυρασφάλεια και ο έλεγχος με PLC.*

*Χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των διαφόρων θεμάτων η ελληνική νομοθεσία και οι Κανονισμοί Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων, όπου αυτοί κάλυπταν το αντικείμενο. Πέραν αυτού, ιδιαίτερα σε θέματα καλωδίων και υλικών προστασίας, χρησιμοποιήθηκαν και άλλοι εθνικοί κανονισμοί, κυρίως οι VDE, οι διεθνείς IEC και οι Ευρωπαϊκοί EN.*

*Στην ανάπτυξη του παρόντος βοήθησαν οι συνεργάτες του Εργαστηρίου των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, και ιδιαίτερα οι κύριοι Στέλιος Θεοδωρόπουλος και Γρηγόρης Παπαγιάννης. Την δακτυλογράφηση των πρωτοτύπων έκαναν οι κυρίες Μαρία Κηπουρίδου, Ελισάβετ Κοιλιαράκη, Νίκη Σωτίδου και η κ. Κατερίνα Παλιούρα επιμελήθηκε ορισμένα σχέδια. Τη φωτοστοιχειοθέτηση και την πρώτη έκδοση του παρόντος έκανε η Παρατηρητής Α.Ε. και την επιμέλεια για την έκδοση, διορθώσεις, εικόνες και σχέδια, είχε η κ. Μαριάνθη Γρηγοριάδου.*

Θεσσαλονίκη, 1987

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ**

*Η δεύτερη έκδοση του παρόντος συγγράμματος διαφέρει από την πρώτη στο ότι έγιναν διορθώσεις και επεκτάσεις σύμφωνα με τα σχόλια και τις παρατηρήσεις που προέκυψαν από την χρήση του βιβλίου, τόσο από μηχανικούς και φοιτητές όσο και από τον συγγραφέα. Οι συγκεκριμένες αλλαγές έχουν ως εξής:*

*Έγιναν διορθώσεις λαθών και βελτιώσεις στο κείμενο. Προσαρμόστηκε το κείμενο στα διεθνή πρότυπα IEC 364, στα Κοινοτικά πρότυπα HD 384, καθώς και τα αντίστοιχα πρότυπα του ΕΛΟΤ που αφορούν εγκαταστάσεις κτηρίων. Προστέθηκαν κεφάλαια με αντικείμενα την κίνηση με υψηλή τάση, την αντικεραυνική προστασία, τις δυνάμεις σε ζυγούς, την παρουσίαση σχεδίων κατά DIN 40719 και ένα παράδειγμα μελέτης κίνησης υψηλής τάσης.*

*Στην δεύτερη έκδοση βοήθησαν οι συνεργάτες που είχαν βοηθήσει στην πρώτη έκδοση και επιπροσθέτως οι κ.κ. Α. Καρλός και Α. Σαραμούρτσος, συνεργάτες του Εργαστηρίου Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.*

*Το βιβλίο περιέχει πληροφορίες και φωτογραφικό υλικό που διέθεσαν οι πιο κάτω κατά αλφαβητική σειρά αναφερόμενες εταιρείες: ABB, AEG, Βορειοελλαδική ΑΤΕ, ΔΕΗ (περιφέρεια Θεσσαλονίκης), Klöckner Moeller, Siemens.*

*Την έκδοση ανέλαβε ο οίκος "Εκδόσεις Ζήτη" και την επιμέλεια για τα κείμενα και την εμφάνιση την είχε ο κ. Νίκος Ζήτης.*

*Ευχαριστώ θερμά όλους που συνέβαλλαν στην υλοποίηση αυτού του συγγράμματος, ιδιαίτερα δε το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο και το Ελληνικό Κράτος.*

*Θεσσαλονίκη, 1992*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Γενικά, Βασικές αρχές.....	1
1.2. Κανονισμοί, Πρότυπα.....	3
Βιβλιογραφία 1ου Κεφαλαίου.....	5
 <b>2. ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ - ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ .....</b>	 <b>7</b>
2.1. Οι κίνδυνοι σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις .....	7
2.2. Γενικά για την επίδραση του ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό.....	9
2.4. Συντελεστής ρεύματος - καρδιάς .....	11
2.5. Επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος.....	11
2.6. Επίδραση του συνεχούς ρεύματος.....	14
2.7. Επίδραση της συχνότητας του ρεύματος.....	15
2.8. Ασφαλής τάση επαφής σε περιπτώσεις σφαλμάτων .....	15
2.9. Επίδραση φορτισμένων πυκνωτών, βραχυχρόνιες επιδράσεις.....	18
2.10. Ενέργειες σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας και προληπτικά μέτρα. Κανονισμοί DIN/VDE 57105 για εργασίες σε εγκαταστάσεις.....	18
Βιβλιογραφία 2ου Κεφαλαίου.....	21
 <b>3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ.....</b>	<b>23</b>
3.1. Γενικά, κανονισμοί.....	23
3.2. Μέθοδοι προστασίας.....	28
3.2.1. Μέθοδοι σύμφωνα με τους ΚΕΗΕ.....	28
3.2.2. Μέθοδοι σύμφωνα με τους κανονισμούς HD384, 400.1, IEC 364 400.1.....	28
3.2.3. Ορισμένες βασικές διαφορές μεταξύ ΚΕΗΕ και IEC 364/HD384.....	29
3.3. Μια ανάλυση των μέσων προστασίας .....	30
3.3.1. Χαμηλή τάση λειτουργίας (IEC 364-411.1, -411.2).....	30
3.3.2. Διπλή μόνωση (IEC 364-413.2).....	31
3.2.3. Προστασία με περίβλημα ή περίφραξη ή απόσταση.....	34
(IEC 364-412.2, ..., 4.12.4) .....	34
3.2.4. Εγκατάσταση σε μονωμένο χώρο (IEC 364-413.3) .....	34
3.2.5. Ηλεκτρική, γαλβανική απομόνωση (IEC 364-413.5).....	34
3.2.6. Προστασία με άμεση γείωση σε δίκτυα TT (IEC 364-413.1).....	36
3.2.7. Η ουδετέρωση με αγωγό προστασίας (IEC 364-413.1.13).....	40
3.2.8. Ο αγωγός γείωσης προστασίας (PE).....	48
3.2.9. Ισοδυναμικές συνδέσεις.....	51

3.2.10. Προστασία με διακόπτες διαφυγής τάσης (ΔΔΤ) .....	55
3.2.11. Προστασία με διακόπτες διαφυγής έντασης (ΔΔΕ) .....	56
3.2.12. Συμπέρασμα για μεθόδους προστασίας σε εγκαταστάσεις καταναλωτών του δημόσιου δικτύου ΧΤ .....	60
3.2.13. Εγκαταστάσεις μονωμένου ουδέτερου, ΙΤ-δίκτυα (IEC 364-413.1.5) .....	60
Βιβλιογραφία 3ου Κεφαλαίου .....	63
 <b>4. ΓΕΙΩΣΕΙΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ</b> .....	65
4.1. Γενικά, ορισμοί .....	65
4.2. Είδη ηλεκτροδίων γείωσης, αντίσταση γείωσης .....	66
4.2.1. Γειωτής ράβδου .....	68
4.2.2. Γειωτής ταινίας ή συρματόσχοινου .....	71
4.2.3. Γειωτής πλάκας .....	71
4.2.4. Γειωτής ακτινικός .....	71
4.2.5. Γειωτής πλέγματος .....	71
4.2.6. Το δίκτυο ύδρευσης σαν γειωτής .....	72
4.2.7. Επιφανειακοί και βαθείς γειωτές .....	73
4.2.8. Απολήξεις και συνδέσεις των ηλεκτροδίων γείωσης .....	73
4.3. Θεμελιακή γείωση .....	73
4.4. Η αντίσταση γείωσης .....	78
4.5. Εξίσωση δυναμικών γης .....	81
4.6. Συνδέσεις διαφόρων εγκαταστάσεων σε κοινό γειωτή .....	81
4.7. Μέτρηση της αντίστασης γείωσης .....	86
4.7.1. Μέτρηση της αντίστασης μέσω τάσης και έντασης .....	86
4.7.2. Μέτρηση της αντίστασης με γέφυρα .....	88
4.8. Διάβρωση στους γειωτές .....	89
Βιβλιογραφία 4ου Κεφαλαίου .....	92
 <b>5. ΜΟΝΩΜΕΝΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ</b> .....	93
5.1. Αγωγοί καλωδίων .....	94
5.2. Μονωτικά καλωδίων .....	94
5.3. Μηχανική καταπόνηση των καλωδίων .....	99
5.4. Εγκατάσταση των καλωδίων .....	99
5.5. Ακροδέκτες, μούφες .....	115
5.6. Γείωση των καλωδίων .....	120
5.7. Πρότυπα - σημάνσεις, τύποι καλωδίων .....	121
Βιβλιογραφία 5ου Κεφαλαίου .....	130
 <b>6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥΣ</b> .....	131
6.1. Παράγοντες που προσδιορίζουν το μέγιστο διαρκώς επιτρεπόμενο θερμικό ρεύμα .....	133

6.2.	Μέγιστο επιτρεπόμενο θερμικό ρεύμα σε καλώδια και αγωγούς εγκαταστάσεων ΧΤ κατά τους ΚΕΗΕ.....	135
6.3.	Μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα σε καλώδια ΧΤ και ΜΤ κατά VDE 0298 και οδηγία 26 της ΔΕΗ .....	141
6.3.1.	Καλώδια εγκατεστημένα στον αέρα.....	148
6.4.	Διαρκώς επιτρεπόμενο ρεύμα σε γυμνούς, μη μονωμένους αγωγούς .....	166
6.5.	Μεταβαλλόμενη και βραχυχρόνια υπερφόρτιση.....	169
6.5.1.	Περιοδικά μεταβαλλόμενο ρεύμα .....	169
6.5.2.	Βραχυχρόνια φόρτιση, χρονική σταθερά καλωδίων.....	170
6.5.3.	Περιοδικές φορτίσεις με σταθερό ρεύμα .....	174
6.6.	Επιτρεπόμενο ρεύμα σε βραχυκυκλώματα.....	177
6.7.	Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης, ισχύς βραχυκύκλωσης .....	191
6.8.	Προσδιορισμός μιάς γραμμής από την επιτρεπόμενη πτώση τάσης.....	200
6.8.1.	Επιτρεπόμενη πτώση τάσης .....	200
6.8.2.	Υπολογισμός πτώσης τάσης σε απλή γραμμή με ένα φορτίο και μία τροφοδότηση.....	201
6.8.3.	Πτώση τάσης σε γραμμή με πολλά φορτία.....	202
6.9.	Προστασία γραμμών και καλωδίων.....	208
6.9.1.	Όργανα προστασίας σε καλώδια μέσης τάσης .....	209
6.9.2.	Προστασία γραμμών χαμηλής τάσης.....	209
	Βιβλιογραφία 6ου Κεφαλαίου.....	214
<b>7.</b>	<b>ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΣΑ ΖΕΥΞΗΣ.....</b>	<b>215</b>
7.1.	Διακόπτες, γενικά .....	215
7.2.	Διακόπτες βοηθητικοί ή ελέγχου.....	217
7.3.	Μηχανικοί διακόπτες φορτίου για κυκλώματα ισχύος.....	218
7.4.	Ρελαί ισχύος .....	225
7.5.	Όργανα προστασίας σε υπερρεύματα, υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα στην χαμηλή τάση.....	236
7.5.1.	Ασφάλειες τήξης.....	236
7.5.2.	Αυτόματοι διακόπτες προστασίας σε υπερρεύματα .....	250
7.5.3.	Διακόπτες ισχύος, αυτόματοι.....	256
7.6.	Επιλεκτική συνεργασία των μέσων προστασίας.....	258
	Βιβλιογραφία 7ου Κεφαλαίου.....	261
<b>8.</b>	<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....</b>	<b>263</b>
8.1.	Γενικά, υπευθυνότητα για την εγκατάσταση.....	263
8.2.	Χώροι και χαρακτηρισμοί των εγκαταστάσεων .....	264
8.3.	Διευθέτηση κυκλωμάτων. Πορεία καλωδίων.....	269
8.4.	Η εγκατάσταση παροχέτευσης ΧΤ .....	270
8.4.1.	Ασφάλειες μετρητή.....	273
8.4.2.	Μετρητές .....	273
8.4.3.	Τηλεχειρισμός Ακουστικής Συχνότητας (ΤΑΣ).....	275
8.4.4.	Γραμμή μετρητή-γενικού-πίνακα .....	276
8.4.5.	Γενικές ασφάλειες του κεντρικού πίνακα.....	278

8.5.	Πίνακες και διανομή χαμηλής τάσης.....	278
8.5.1.	Είδη πινάκων.....	282
8.5.1.1.	Τυποποιημένοι χαλύβδινοι πίνακες γενικών καταναλω- τών.....	283
8.5.1.2.	Πίνακες κιβωτίων.....	285
8.5.1.3.	Πίνακες πεδίου.....	288
8.5.1.4.	Διανομή με σύστημα συνεχούς ρευματοληψίας .....	291
8.6.	Εγκαταστάσεις σε διαμερίσματα ή κατοικίες .....	293
8.6.1.	Παροχέτευση-κατανάλωση.....	293
8.6.2.	Πίνακες .....	293
8.6.3.	Κυκλώματα.....	294
8.6.4.	Εγκατάσταση λουτρών, τουαλέτας .....	297
8.6.5.	Εγκατάσταση κουζίνας .....	297
8.6.6.	Εγκαταστάσεις σαλονιού.....	297
8.6.7.	Εγκαταστάσεις υπνοδωματίων .....	298
8.6.8.	Εγκαταστάσεις μπαλκονιών.....	298
8.6.9.	Εγκατάσταση κήπου και εισόδου.....	298
8.6.10.	Λεβητοστάσιο κεντρικής θέρμανσης.....	299
8.7.	Εγκατάσταση θερμοσυσσωρευσης .....	302
8.7.1.	Θερμικές απώλειες .....	302
8.7.2.	Επιλογή σωμάτων .....	302
8.7.3.	Σώματα θερμοσυσσωρευτών.....	304
8.7.4.	Έλεγχος θερμοσυσσωρευτών.....	305
8.7.5.	Κεντρική μονάδα ελέγχου συσσωρευτών (ελεγκτής) .....	309
8.7.6.	Η ηλεκτρική εγκατάσταση θερμοσυσσωρευτών.....	309
8.8.	Εγκαταστάσεις φωτισμού .....	312
8.8.1.	Μεγέθη φωτομετρίας.....	312
8.8.2.	Τύποι λαμπτήρων.....	314
8.8.2.1.	Λαμπτήρες πυράκτωσης γενικής χρήσης.....	315
8.8.2.2.	Λαμπτήρες φθορισμού (υδραργύρου χαμηλής πίεσης) .....	317
8.8.2.3.	Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης, απλοί και μικτού φωτισμού.....	319
8.8.2.4.	Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης (Υψηλή Ενεργειακή Απόδοση) .....	322
8.8.2.5.	Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης.....	322
8.8.2.6.	Εκκίνηση λαμπτήρων φθορισμού με εκκινητές (στάρτερ).....	323
8.8.3.	Μελέτη εγκαταστάσεων φωτισμού.....	324
8.8.4.	Εγκατάσταση των φωτιστικών.....	326
8.8.5.	Σωλήνες φωτισμού διαφημίσεων. Φωτισμός νέον.....	330
8.8.6.	Αντιστάθμιση λαμπτήρων εκκένωσης.....	334
	Βιβλιογραφία 8ου Κεφαλαίου.....	335

## 9. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ

<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ.....</b>	<b>337</b>
9.1. Είδη και χρήση ηλεκτρικών κινητήρων .....	337
9.2. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.....	340

9.3.	Κινητήρες σειράς εναλλασσόμενου ρεύματος.....	348
9.4.	Ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού.....	349
9.5.	Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες .....	351
9.6.	Ασύγχρονοι κινητήρες με μετατροπείς συχνότητας .....	355
9.6.1.	Εκκίνηση .....	356
9.6.2.	Τάση, ισχύς, ροπή.....	356
9.6.3.	Ψύξη.....	356
9.6.4.	Απώλειες λόγω αρμονικών.....	357
9.6.5.	Θόρυβοι.....	357
9.6.6.	Όριο ταχύτητας.....	357
9.6.7.	Παρατηρήσεις .....	357
9.7.	Εκκίνηση ασύγχρονων κινητήρων .....	357
9.8.	Πέδηση των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	366
9.9.	Λειτουργία τριφασικών κινητήρων σε μονοφασικό δίκτυο .....	370
9.10.	Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες σε λειτουργία γεννήτριας.....	370
9.10.1.	Λειτουργία στο δίκτυο.....	370
9.10.2.	Αυτόνομη λειτουργία.....	371
9.11.	Εκλογή κινητήρων σύμφωνα με τις συνθήκες περιβάλλοντος.....	371
9.11.1.	Θερμοκρασία περιβάλλοντος, μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία, κλάση μόνωσης.....	371
9.11.2.	Βαθμοί προστασίας σε εισδοχή ξένων σωμάτων και νερού.....	374
9.11.3.	Κινητήρες για εκρηκτικό περιβάλλον.....	379
9.12.	Τυποποίηση της μορφής του μεγέθους και της ψύξης των κινητήρων .....	385
9.12.1.	Μορφή. Έδραση κινητήρων.....	385
9.12.2.	Μέγεθος κινητήρα.....	387
9.12.3.	Τρόπος ψύξης των κινητήρων .....	387
9.13.	Ισχύς, ροπή, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά κινητήρα.....	390
9.13.1.	Ισχύς του κινητήρα.....	390
9.13.2.	Η ισχύς του δικτύου, ρεύματα, άεργη ισχύς.....	390
9.13.3.	Η περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα.....	391
9.13.4.	Η ροπή στον άξονα .....	392
9.13.5.	Ονομαστικά στοιχεία (rated values) μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη ισχύς.....	392
9.13.6.	Υπερφόρτιση του κινητήρα .....	394
9.13.7.	Διακύμανση της τάσης.....	395
9.13.8.	Συχνότητα .....	397
9.13.9.	Εκλογή της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα .....	397
9.13.10.	Τυποποίηση της ονομαστικής λειτουργίας.....	398
9.14.	Προσδιορισμός του φορτίου κατά την συνεχή λειτουργία ενός κινητήρα .....	402
9.15.	Μέσα ηλεκτρικής προστασίας και ζεύξης κινητήρων.....	414
9.15.1.	Προστασία του κινητήρα, διακόπτες.....	414
9.15.2.	Θερμική προστασία κινητήρων με θερμίστορες.....	425
9.15.3.	Εκλογή των διακοπών.....	431
9.16.	Η σύνδεση του κινητήρα με το δίκτυο .....	432
9.16.1.	Τάση σύνδεσης.....	432
9.16.2.	Ακροδέκτες, φορά περιστροφής.....	434
9.16.3.	Ζεύξη, εκκινήτες .....	437
9.16.4.	Γραμμή τροφοδοσίας κινητήρα και διάταξη διακοπών.....	439



9.17. Κίνηση με υψηλή τάση και ασύγχρονους κινητήρες .....	444
9.17.1. Γενικά περί κίνησης μεγάλης ισχύος .....	444
9.17.2. Εκκίνηση κινητήρων υψηλής τάσης στο δίκτυο της ΔΕΗ .....	447
9.17.3. Ιδιομορφίες κινητήρων υψηλής τάσης.....	452
9.17.3.1. Μηχανικά χαρακτηριστικά.....	452
9.17.3.2. Συμπεριφορά μεγάλων κινητήρων σε σφάλματα δικτύου .....	453
9.17.3.3. Αντιστάθμιση αέργου ισχύος .....	454
9.17.3.4. Προστασία κινητήρων ΥΤ σε υπερφόρτιση και σφάλματα .....	454
9.17.3.5. Όργανα ζεύξης κινητήρων υψηλής τάσης .....	457
9.17.3.6. Καλώδια ,γείωση, κινητήρων υψηλής τάσης .....	457
Βιβλιογραφία 9ου Κεφαλαίου.....	458

## **10. ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ.....459**

10.1. Γενικά.....	459
10.2. Εξοπλισμός ζεύξης και προστασίας του Δικτύου ΜΤ .....	463
10.2.1. Αναχώρηση γραμμών ΜΤ.....	463
10.2.2. Διακλάδωση σε καταναλωτή ΜΤ .....	464
10.3. Χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος των μέσων προστασίας.....	468
10.3.1. Αναχωρήσεις εναερίων δικτύων.....	468
10.3.2. Αναχωρήσεις καλωδίων.....	470
10.3.3. Διακόπτες απομόνωσης ΔΑ (Sectionalizer).....	470
10.3.4. Ασφάλειες.....	472
10.3.5. Διακόπτες ισχύος σε καταναλωτές.....	473
10.4. Τυποποιημένες παροχές μέσης τάσης.....	473
10.4.1. Παροχή Α1, υπαίθρια μέτρηση, μέχρι 630 kVA .....	474
10.4.2. Παροχή Α2, υπαίθρια μέτρηση, απεριόριστη ισχύς.....	480
10.4.3. Παροχή Β1, εσωτερική εγκατάσταση μέχρι 1250 kVA.....	481
10.4.4. Παροχές Β2, εσωτερική εγκατάσταση, απεριόριστη ισχύς .....	483
10.5. Γειώσεις σε υποσταθμούς καταναλωτών ΜΤ.....	488
10.6. Προστασία των ΥΣ μέσης τάσης κατά των υπερτάσεων.....	494
10.7. Ο Μετασχηματιστής ισχύος.....	494
10.7.1. Εκλογή των μετασχηματιστών.....	496
10.7.2. Παράλληλισμός μετασχηματιστών.....	498
10.7.3. Ισχύς, θερμοκρασία υπερφόρτιση μετασχηματιστών.....	498
10.7.4. Απώλειες χαλκού και σιδήρου .....	500
10.7.5. Τάση βραχυκύκλωσης.....	503
10.7.6. Πτώση τάσης.....	504
10.7.7. Προστασία των μετασχηματιστών.....	506
10.7.7.1. Προστασία σε βραχυκυκλώματα .....	506
10.7.7.2. Προστασία μετασχηματιστών σε υπερφόρτιση .....	508
10.7.7.3. Προστασία κατά εσωτερικών σφαλμάτων και έλλειψης λαδιού, ηλεκτρονόμοι Buchholz.....	508
10.7.7.4. Διαφορική προστασία.....	510
10.7.8. Εγκατάσταση και ψύξη μετασχηματιστών.....	511
10.8. Υλικά και διατάξεις υποσταθμών ΜΤ.....	514
10.8.1. Ασφάλειες ΜΤ.....	514

10.8.2. Διακόπτες μέσης τάσης .....	521
10.8.2.1. Διακόπτες ισχύος .....	521
10.8.2.2. Διακόπτες φορτίου.....	526
10.8.2.3. Αποξεύκτες, Γειωτές .....	528
10.8.3. Μετασχηματιστές μέτρησης.....	529
10.8.3.1. Μετασχηματιστές τάσης .....	531
10.8.3.2 Μετασχηματιστές έντασης .....	533
10.8.4. Απαγωγείς τάσεων (αλεξιμέρανα).....	534
10.8.5. Διατάξεις κυψελών μέσης τάσης .....	540
10.9. Υπολογισμός των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων σε ζυγούς υποσταθμών τριφασικού συστήματος.....	547
Βιβλιογραφία 10ου κεφαλαίου.....	555

## **11. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ, ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ.....557**

11.1. Χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας και τρόποι μείωσής της.....	557
11.1.1. Χρέωση της κατανάλωσης .....	557
11.1.2. Τρόποι μείωσης της χρέωσης.....	561
11.2. Διόρθωση του συντελεστή ισχύος, γενικά.....	561
11.3. Διόρθωση του συντελεστή ισχύος σε διαφόρους καταναλωτές αέριου ισχύος.....	563
11.3.1. Ασύγχρονοι κινητήρες.....	563
11.3.2. Μετασχηματιστές.....	564
11.3.3. Ηλεκτρονικά ισχύος .....	565
11.3.4. Λαμπτήρες φθορισμού.....	565
11.3.5. Κεντρική αντιστάθμιση.....	565
11.4. Οικονομική σύγκριση τεχνικών λύσεων.....	569

## **12. ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....575**

12.1. Γενικά, ορισμοί.....	575
12.2. Εγκαταστάσεις που χρειάζονται αντικεραυνική προστασία .....	580
12.2.1. Κτήρια ή κατασκευές που προεξέχουν σημαντικά από γειτονικά κτίρια. ....	580
12.2.2. Εγκαταστάσεις εκτεθειμένες στην ύπαιθρο ή θάλασσα. ....	580
12.2.3. Εγκαταστάσεις βασικών κοινωνικών αναγκών.....	580
12.2.4. Εγκαταστάσεις σημαντικής ιστορικής ή πνευματικής αξίας.....	581
12.2.5. Εγκαταστάσεις μεγάλης αξίας (>5 εκ. δολάρια) όπου συναθ- ροίζονται άτομα.....	581
12.2.6. Κτίρια συνάθροισης πολλών ατόμων (πάνω από 200).....	581
12.2.7. Κτίρια με πάνω από 100 άτομα περιορισμένης κινητικότητας .....	581
12.2.8. Μεγάλες αγροτικές εγκαταστάσεις.....	581
12.2.9. Εγκαταστάσεις εύφλεκτες .....	581
12.3. Εξωτερική προστασία, αλεξιμέρανα, περιοχές προστασίας.....	582
12.3.1. Σύλλεκτρηια συστήματα κεραυνών.....	582
12.3.2. Σύλλεκτρηιες εγκαταστάσεις πάνω σε κτήρια .....	593

12.3.3. Συλλεκτήριες εγκαταστάσεις μονωμένες από τις λοιπές εγκαταστάσεις .....	599
12.4. Απαγωγοί ή αγωγοί καθόδου.....	601
12.4.1. Εγκαταστάσεις σε κτήρια.....	603
12.5. Σύστημα γειωτών .....	605
12.6. Εσωτερική προστασία .....	607
12.6.1. Ισοδυναμικές συνδέσεις.....	607
12.6.2. Επικίνδυνες προσεγγίσεις.....	611
12.6.2.1. Προσεγγίσεις σε μεταλλικά μέρη .....	611
12.6.2.2. Ασφαλής προσέγγιση.....	611
12.7. Ειδικές εγκαταστάσεις .....	613
12.7.1. Αντικεραυνική προστασία καμινάδων .....	613
12.7.2. Εγκαταστάσεις με εκρηκτική ατμόσφαιρα.....	613
12.7.3. Εγκαταστάσεις πυρομαχικών.....	614
12.7.3.1. Η μονωμένη εγκατάσταση .....	614
12.7.3.2. Η εσωτερική συλλεκτήρια εγκατάσταση .....	614
12.7.4. Νοσοκομεία.....	614
12.8. Προστασία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε υπερτάσεις.....	614
12.8.1. Γενικά .....	614
12.8.2. Απαγωγείς τάσεων.....	617
12.8.3. Προστασία κυκλωμάτων διανομής 380 V .....	620
12.8.4. Προστασία κυκλωμάτων ηλεκτρονικών ή μετρήσεων.....	621
Βιβλιογραφία 12ου κεφαλαίου .....	623

### **13. ΣΧΕΔΙΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ**

<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....</b>	<b>625</b>
13.1. Γενικά.....	625
13.2. Χαρακτηρισμός στοιχείων μιας εγκατάστασης .....	626
13.3. Χαρακτηρισμός εγκατάστασης (=).....	628
13.4. Χαρακτηρισμός Συσκευής (-).....	633
13.5. Χαρακτηρισμός Χώρου (+).....	635
13.6. Χαρακτηρισμός κλεμμών (: ).....	638
13.7. Παρουσίαση σχεδίων κατά DIN 40719/Teil 3 .....	639
13.8. Παρουσίαση συσκευών.....	640
13.9. Επιγραφές στα σύμβολα .....	643
13.10. Αναφορές.....	644
13.11. Επιγραφές σε διακοπές ή συνέχειες των κυκλωμάτων.....	646
13.13. Στοιχεία πολλαπλά.....	649
13.14. Σχεδιασμός πολλών ομοίων στοιχείων.....	649
13.15. Σχεδιασμός πορείας γραμμών.....	650
13.16. Γραμμές τροφοδοσίας.....	650
13.17. Απλοποιημένη παράσταση συσκευών.....	651
13.18. Διαγράμματα και Πίνακες κλεμμοσειρών (κλεμμολίστες).....	651
13.19. Κατάλογος Υλικών.....	656
Βιβλιογραφία 13ου κεφαλαίου.....	656

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b> .....	657
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π1</b> .....	659
<b>ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟ-ΔΟΤΗΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ (Χ.Τ.)</b> .....	659
<b>(ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΔΕΗ)</b> .....	659
A. Διαδικασία.....	659
1. Γενικά.....	659
2. Τρόπος σύνταξης Υπεύθυνης Δήλωσης Εγκαταστάτη .....	660
3. Θεώρηση Υπεύθυνης Δήλωσης Εγκαταστάτη.....	662
4. Έλεγχοι τους οποίους πραγματοποιεί η ΔΕΗ πριν από την ηλεκτρο-δότηση των εγκαταστάσεων .....	662
5. Ειδικές ρυθμίσεις για ορισμένα είδη εγκαταστάσεων.....	663
B. Τεχνικά στοιχεία .....	663
1. Γενικά.....	663
2. Τυποποιημένες παροχές.....	664
3. Γραμμή μετρητή-πίνακα.....	665
4. Γείωση .....	667
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π2</b> .....	669
<b>ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΑΥΤΟΥΣ ΠΟΥ ΑΙΤΟΥΝ ΠΑΡΟΧΗ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΗ</b> .....	669
<b>(ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ)</b> .....	669
2.1. Σκοπός.....	669
2.2. Τύπος παροχής.....	669
2.3. Τάση τροφοδότησης .....	669
2.4. Λοιπά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δικτύου της ΔΕΗ.....	670
2.5. Μέσα ξεύξης και προστασίας του υποσταθμού.....	670
2.6. Διαμόρφωση του διατιθέμενου στη ΔΕΗ χώρου.....	671
2.7. Γείωση του υποσταθμού .....	671
2.8. Παροχή στοιχείων .....	672
2.9. Κατασκευή και θέση υπό τάση της παροχής ΜΤ .....	674
2.10. Χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών ιδιωτικών υποσταθμών.....	675
2.11. Οδηγίες για τη διαμόρφωση του χώρου που παραχωρείται στη ΔΕΗ .....	675
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π3</b> .....	678
<b>ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ</b> .....	678
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π4</b> .....	681
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ</b> .....	681
Γραμμή παροχής.....	681
Διακόπτης ισχύος, αποξεύκτης.....	682
Ζυγοί μέσης τάσης.....	682
Αναχωρήσεις μετασχηματιστών.....	682
Κεντρικός Πίνακας ΧΤ.....	683

Διερεύνηση άλλων δυνατοτήτων παράλληλης λειτουργίας μετασχηματιστών.....	683
Σχήμα Π4.1 Παράλληλισμός με δύο διακόπτες φορτίου.....	684
Σχήμα Π4.2 Παράλληλισμός με δύο διακόπτες ισχύος.....	684
Σχήμα Π4.3 Παράλληλισμός κατ' ευθείαν.....	685
Σχήμα Π4.4 Δύο ανεξάρτητοι κλάδοι, δύο ζυγοί στην ΧΤ .....	685
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π5.....</b>	<b>690</b>
<b>ΣΥΜΒΟΛΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ</b>	
<b>ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....</b>	<b>690</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π6.....</b>	<b>702</b>
<b>ΜΕΛΕΤΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ.....</b>	<b>702</b>
1. Αντικείμενο.....	702
2. Επιλογή διάταξης πινάκων .....	703
3. Επιλογή μετασχηματιστών με οικονομικά κριτήρια .....	704
4. Εκλογή κινητήρων .....	704
5. Σημείο λειτουργίας κινητήρων.....	705
6. Εκλογή τρόπου εκκίνησης.....	705
7. Αντιστάθμιση.....	707
8. Ρεύματα βραχυκύκλωσης.....	708
9. Ζυγοί 15 kV και 6,3 kV.....	711
10. Υπόμνημα στην σχεδιασμένη.....	712

## **2 . ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ - ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑ**

### **2.1. Οι κίνδυνοι σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις**

Οι εγκαταστάσεις πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων που απειλούν τις συσκευές, τα περιουσιακά στοιχεία, αλλά προπάντων τους ανθρώπους.

Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι που αφορούν στις συσκευές είναι :

- Η δυναμική καταπόνηση σε βραχυκυκλώματα.
- Οι εκρήξεις σε ατμόσφαιρα εκρηκτικών μιγμάτων λόγω σπινθήρων, π.χ. σε περιβάλλον με ατμούς βενζίνης.
- Η πυρκαγιά που προκαλείται από ηλεκτρικό τόξο σε βραχυκυκλώματα ή και στην ομαλή λειτουργία.
- Η πυρκαγιά λόγω κατεστραμμένης μόνωσης. Πυρκαγιά προκαλείται π.χ. όταν δεν μπορεί να απαχθεί επαρκώς η θερμότητα Joule ή απωλειών λόγω υψηλού ρεύματος ή λόγω διάσπασης σε υψηλή τάση.
- Η πυρκαγιά ή έκρηξη λόγω υπερυψωμένης θερμοκρασίας λειτουργίας (λαμπτήρες, φούρνοι).
- Η ηλεκτροχημική διάβρωση στο συνεχές ρεύμα.

Οι σημαντικοί κίνδυνοι που αφορούν στα άτομα είναι δύο:

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

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

## 2.2. Γενικά για την επίδραση του ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό

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

**Πίνακας 2.1:** Επίδραση του ρεύματος στον οργανισμό κατά τη δημοσίευση IEC 479. Η καταπόνηση εκτείνεται σε χρόνους τάξης μεγέθους του 1 sec.

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

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

Αυτή η σκιαγράφηση σημαίνει αντίδραση σε συνηθισμένες συνθήκες.

Η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο διαμορφώνεται από τους πιο κάτω παράγοντες:

- ένταση του ρεύματος,
- χρονική διάρκεια του ρεύματος,
- δρόμος του ρεύματος δια του σώματος,
- συχνότητα ή μορφή του ρεύματος, δηλαδή εναλλασσόμενο, συνεχές, κρουστικό ρεύμα.

Υποκειμενικοί παράγοντες συμπροσδιορίζουν το αποτέλεσμα μιάς ηλεκτροπληξίας. Υπάρχουν, δηλαδή, λιγότερο και περισσότερα ανθεκτικά άτομα. Επίσης, η φυσική και ψυχική κατάσταση παίζουν ρόλο. Έτσι, τα αποτελέσματα όλων των ερευνών υπόκεινται σε μεγάλες στατιστικές διακυμάνσεις. Ο πίνακας 2.1 δίνει γενικά για διάφορα ρεύματα τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

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

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

### 2.3. Η ηλεκτρική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος

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

Η τιμή της εξαρτάται από τα εξής:

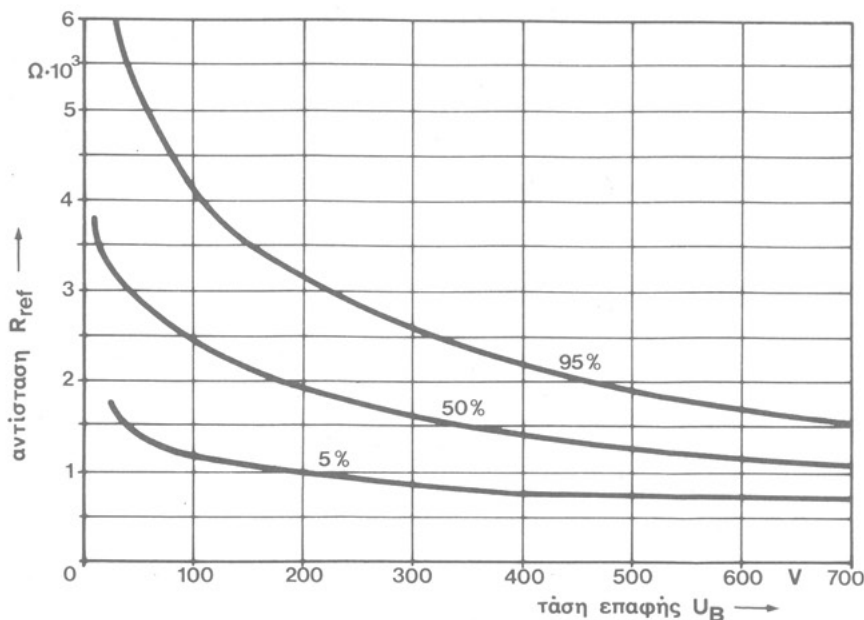
- Δύναμη και επιφάνεια επαφής του σώματος με τον αγωγό (μειώνουν την αντίσταση).
- Δρόμος του ρεύματος δια του σώματος.
- Τάση επαφής. Η αντίσταση είναι μη γραμμική και μειώνεται με την αύξηση της τάσης.
- Σωματική διάπλαση.
- Κατάσταση της επιδερμίδας. Το πάχος της επιδερμίδας και η υγρασία παίζουν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

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



λεπτό, υγρό και η επιφάνεια επαφής μεγάλη.

Το σχήμα 2.1. δίνει την αντίσταση του ανθρώπινου σώματος από το ένα χέρι στα δύο πόδια για διάφορες τάσεις. Οι τρεις καμπύλες αντιστοιχούν σε ποσοστά των ατόμων που παρουσιάζουν μία συγκεκριμένη ελάχιστη αντίσταση. Π.χ., στα 200 V η αντίσταση είναι σε 5% των ατόμων κάτω από 1000 Ω, ενώ ο μέσος όρος 50% είναι κάτω από 1900 Ω. Ασυμπτωτικά η τιμή της αντίστασης, για 95% των ατόμων και τάσεις κάτω του 1 kV, είναι το λιγότερο 650 Ω.



**Σχ. 2.1:** Αντίσταση του ανθρώπινου σώματος,  $R_{ref}$ , σαν συνάρτηση της τάσης κατά IEC 64-342 (το δέρμα είναι υγρό). Σχεδιάστηκαν τρεις καμπύλες που αντιστοιχούν σε διαφορετικά ποσοστά 5%, 50%, 95% του πλήθους των ανθρώπων που έγιναν οι μετρήσεις. Η αντίσταση είναι η  $R_{ref}$  από το ένα χέρι στα δύο πόδια. Η ελάχιστη τιμή είναι 650 Ω περίπου, για 95% των ατόμων.

Οι τιμές ισχύουν για ροή ρεύματος μεταξύ ενός χεριού και δύο ποδιών. Η αντίσταση για άλλους δρόμους μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη κατά  $\pm 30\%$  περίπου. Ο πίνακας 2.2 δείχνει την αντίσταση  $R$  για διάφορους δρόμους, σαν ποσοστό  $F_1$  της αντίστασης αναφοράς χέρι-δύο πόδια,  $R_{ref}$ .

$$R = F_1 \cdot R_{ref} \quad (2.1)$$

## 2.4. Συντελεστής ρεύματος - καρδιάς

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

$$I_{ref} = F_2 \cdot I \quad (2.2)$$

όπου το  $F_2$  είναι ένας παράγοντας 0,4... 1,5 και δίνεται στον πίνακα 2.3.

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

**Πίνακας 2.2:** Αντίσταση του ανθρώπινου σώματος για διάφορους δρόμους του ρεύματος ηλεκτροπληξίας κατά IEC 64-342. Η αντίσταση ενός δρόμου ισούται με την αντίσταση χέρι-δύο πόδια,  $R_{ref}$ , επί τη σχετική αντίσταση  $F_1$ :

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

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

## 2.5. Επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος

Στο διάγραμμα ρεύματος και χρόνου του σχήματος 2.2 παρουσιάζονται 4 περιοχές επιδράσεων του ρεύματος στον οργανισμό. Βλέπουμε ότι κάτω από 0,5 mA δεν γίνεται αντιληπτό το ρεύμα (περιοχή 1), όσο μεγάλος και να είναι ο χρόνος. Στην περιοχή 2 το ρεύμα γίνεται μεν αντιληπτό αλλά δεν προ-

καλεί συνήθως φυσιοπαθολογικές ζημιές. Στην περιοχή 3 υπάρχει κίνδυνος ασφυξίας αλλά όχι μαρμαρυγής. Ο παθών μπορεί να μην είναι σε θέση να απελευθερωθεί από τον ηλεκτροφόρο αγωγό. Η περιοχή 4 είναι εξαιρετικά επικίνδυνη, γιατί προκαλείται μαρμαρυγή με διάφορες πιθανότητες που δίνονται από τις καμπύλες  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ . Η καμπύλη  $b$  που χωρίζει τις περιοχές 2 και 3 μπορεί να θεωρηθεί σαν όριο κινδύνου και έχει την εξίσωση:

$$I_{ac} = I_1 + \frac{10}{t} \quad (2.3)$$

όπου  $I_{ac}$  = ενεργός τιμή σε mA,

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

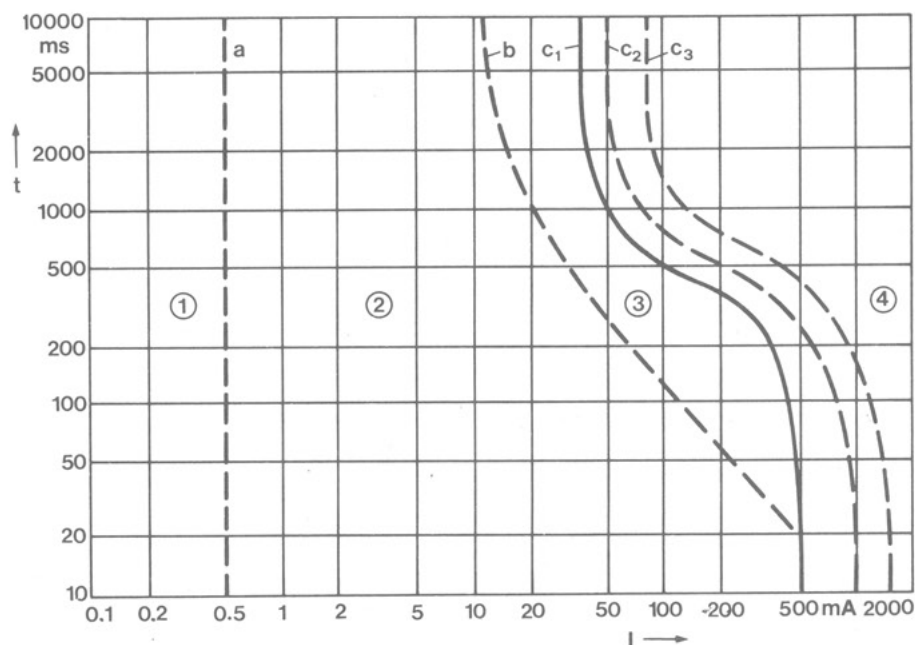
$t$  = χρόνος σε δευτερόλεπτα.

**Πίνακας 2.3:** Συντελεστής ρεύματος καρδιάς  $F_2$ . Για ένα ρεύμα  $I$  το ισοδύναμο ρεύμα  $I_{ref}$  που δρα είναι:  $I_{ref} = I \cdot F_2$

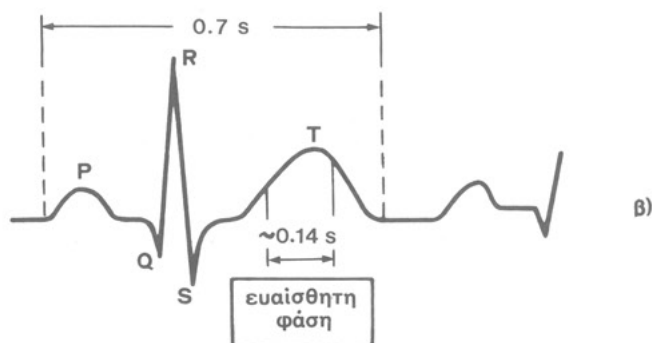
Δρόμος	Συντελεστής $F_2$	Δρόμος	Συντελεστής $F_2$
Αριστερό χέρι-ένα ή δύο πόδια και δύο χέρια -δύο πόδια	1,0	Αριστερό χέρι-πλάτη	0,7
Χέρι-χέρι	0,4	Δεξί χέρι-στήθος	1,3
Δεξί χέρι-ένα ή δύο πόδια	0,8	Αριστερό χέρι-στήθος	1,5
Δεξί χέρι-πλάτη	0,3	Οπίσθια-δύο χέρια ή ένα χέρι δεξί ή αριστερό	0,7

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

Πειράματα έδειξαν, ότι σε μικρούς χρόνους το ρεύμα που προκαλεί μαρμαρυγή είναι σχετικά μεγάλο. Όταν δε η διάρκεια του ρεύματος είναι μικρότερη του ενός τρίτου της περιόδου της καρδιάς, τότε προκαλείται μαρμαρυγή σε αυξημένο ποσοστό όταν το ρεύμα περάσει κατά τη διάρκεια της ευαίσθητης φάσης της καρδιάς (vulnerable phase), σχ. 2.2.β.



α)



β)

**Σχ. 2.2:** α) 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.

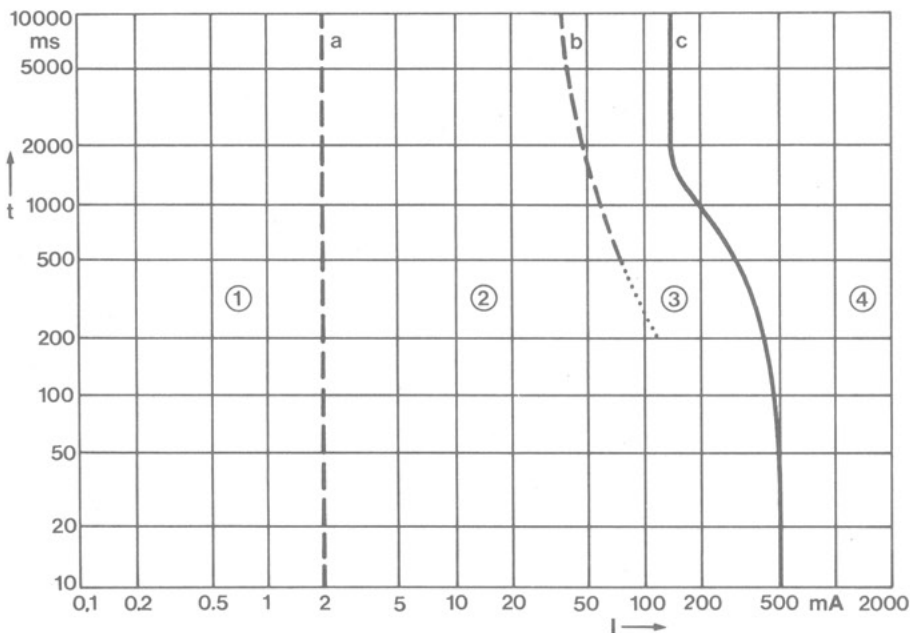
Ζώνη 4: Πιθανότητα μαρμαρυγής  $c_1 = 0\%$ ,  $c_2 = 5\%$ ,  $c_3 = 50\%$ .

β) Περίοδος καρδιογραφήματος, P, Q, R, S, T είναι οι φάσεις της λειτουργίας της καρδιάς. Στη φάση T έχουμε την μεγαλύτερη ευαισθησία στο ρεύμα κατά τη διάρκεια 0,14 sec.

## 2.6. Επίδραση του συνεχούς ρεύματος

Υπάρχουν 4 περιοχές (ζώνες) επίδρασης του συνεχούς ρεύματος στον άνθρωπο, σύμφωνα με το σχήμα 2.3. Αυτές ισχύουν ανεξάρτητα από την ηλικία και το βάρος. Το συνεχές ρεύμα γίνεται αντιληπτό σε ένταση άνω των 2 mA. Στη ζώνη 2, άνω των 2 mA, το ρεύμα προκαλεί συστολή των μυών, όχι όμως οργανική βλάβη, μόνο αν αυτό μεταβληθεί απότομα, δηλαδή κατά την επαφή ή κατά τη διακοπή της επαφής. Στη ζώνη 3 είναι πιθανές καρδιακές διαταραχές. Λόγω έλλειψης δεδομένων τα όρια μεταξύ των περιοχών 2 και 3 είναι ασαφή. Στη ζώνη 4, δηλαδή άνω των 150-500 mA υπάρχει κίνδυνος μαρμαρυγής.

Σύγκριση των σχημάτων 2.2 και 2.3 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, το συνεχές ρεύμα είναι πιο ακίνδυνο απ' ό,τι ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, με τιμή μέγιστου ίση με αυτή του συνεχούς.



**Σχ. 2.3:** Επίδραση του συνεχούς ρεύματος σε ανθρώπους ανεξαρτήτως ηλικίας και βάρους. Ο δρόμος του ρεύματος είναι από το αριστερό χέρι τα δύο πόδια.

Ζώνη 1: Συνήθως κανένα αίσθημα.

Ζώνη 2: Συνήθως κανένας φυσιολογικός κίνδυνος.

Ζώνη 3: Καμμία οργανική βλάβη, αλλά στα όρια με τη ζώνη 4 έχουμε πιθανές διαταραχές των καρδιακών παλμών.

Ζώνη 4: Πιθανή μαρμαρυγή. Με αύξηση του χρόνου και του ρεύματος έχουμε πιθανότητα εγκανυμάτων.

## 2.7. Επίδραση της συχνότητας του ρεύματος

Η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο γίνεται πιο ακίνδυνη καθώς αυξάνεται η συχνότητα από 50 Hz σε υψηλότερες συχνότητες. Φαίνεται ότι η περιοχή γύρω από τα 50 Hz είναι η πιο επικίνδυνη. Δηλαδή στο συνεχές και σε υψηλότερες συχνότητες η δράση του ρεύματος είναι πιο ακίνδυνη. Για συχνότητες διαφορετικές των 50 Hz ισχύει το σχήμα 2.2 των επιδράσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος, αλλά με αλλαγμένη κλίμακα. Για να βρούμε την τιμή ενός υψίσυχνου ρεύματος,  $I_{eq}$ , που προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα όπως το ρεύμα των 50 Hz, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το ρεύμα  $I$  των 50 Hz (σχ. 2.2) με συντελεστές που δίνονται στο σχήμα 2.4.

$$I_{eq} = I \cdot \kappa_1 \quad \text{ή} \quad I_{eq} = I \cdot \kappa_2 \quad \text{ή} \quad I_{eq} = I \cdot \kappa_3 \quad (2.4)$$

Το  $\kappa_1$  ισχύει για την καμπύλη α, το  $\kappa_2$  για β, το  $\kappa_3$  για  $c_1, c_2, c_3$  στο σχήμα 2.2α. Για 1000 Hz, π.χ., δεν υπάρχει καμιά αντίδραση (καμπύλη α) για  $0,5 \times 2,1 = 1,02$  mA. Το όριο μαρμαρυγής (καμπύλη  $c_1$ ) είναι για καταπόνηση 5 δευτερολέπτων  $40 \times 15,3 = 612$  mA.

## 2.8. Ασφαλής τάση επαφής σε περιπτώσεις σφαλμάτων

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

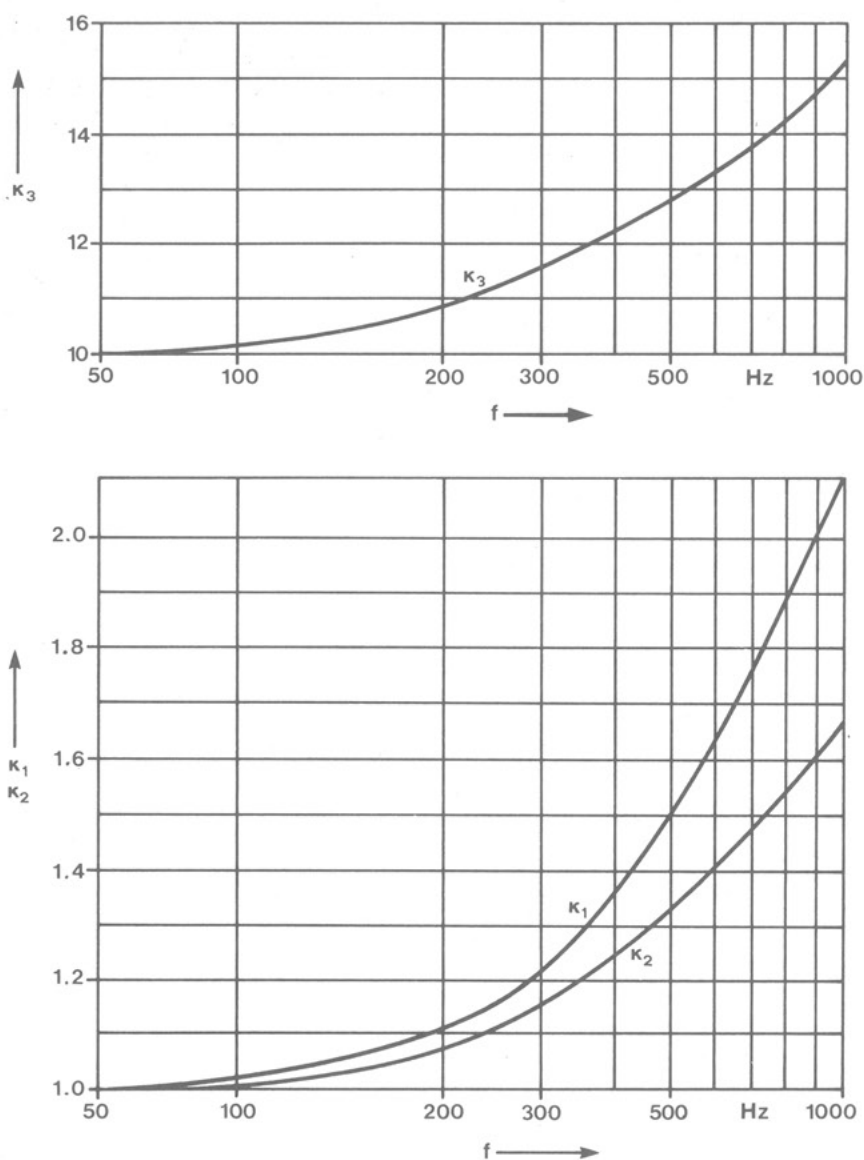
$U_{AC} = 50$  V ενεργός τιμή, 50 Hz,

$U_{DC} = 120$  V συνεχής τάση.

Αυτές οι τιμές ισχύουν για άπειρο χρόνο επαφής. Επιτρέπεται δε να ισχύουν μόνο σε περίπτωση σφάλματος, δηλαδή δεν πρέπει να σχεδιάζει κανείς συσκευές όπου υπό κανονική λειτουργία τάσεις 50 V E.P. ή 120 V Σ.P. εφαρμόζονται συνεχώς στο ανθρώπινο σώμα. Για υψηλότερες τάσεις οι χρόνοι επαφής είναι περιορισμένοι. Αν θέλει κανείς να προσδιορίσει τη μέγιστη επιτρεπόμενη διάρκεια για τάσεις επαφής μεγαλύτερες των πιο πάνω, καταφεύγει στο σχήμα 2.5, που έγινε σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 364-4-41 και CENELEC HD 384-4-41.

Πρέπει εδώ να παρατηρηθεί ότι, τάσεις επαφής μεγαλύτερες των 50 V, π.χ. 110 V, μπορούν κάλλιστα να εμφανιστούν σε μεταλλικά περιβλήματα ουδετερουμένων συσκευών κατά τη διάρκεια σφαλμάτων, όπως αυτό υπολογίζεται στο κεφάλαιο 3.

Οι κανονισμοί ΚΕΗΕ επιτρέπουν μέγιστους χρόνους απόξευξης 5 sec, σε στερεό σφάλμα ως προς γη, σε ουδετερωμένα συστήματα. Αντίθετα, οι κανονισμοί VDE 100/410 επιτρέπουν 5 sec γενικά, ειδικά όμως μόνο 0,2 sec



**Σχ. 2.4:** Επίδραση ρευμάτων διαφορετικής συχνότητας στον ανθρώπινο οργανισμό κατά R. Hauf. Οι καμπύλες  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$ ,  $\kappa_3$  δείχνουν πόσο πρέπει να αυξηθούν οι τιμές του σχήματος 2.2 για να έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα όπως στα 50 Hz.  
 $\kappa_1$  συντελεστής αύξησης αντίδρασης του οργανισμού (0,5 mA στα 50 Hz),  
 $\kappa_2$  συντελεστής αύξησης του ορίου απελευθέρωσης του χεριού από τον ρευματοφόρο αγωγό (10 mA στα 50 Hz),  
 $\kappa_3$  συντελεστής αύξησης του ορίου μαρμαρυγής, καμπύλη  $c_1$  του σχήματος 2.2.