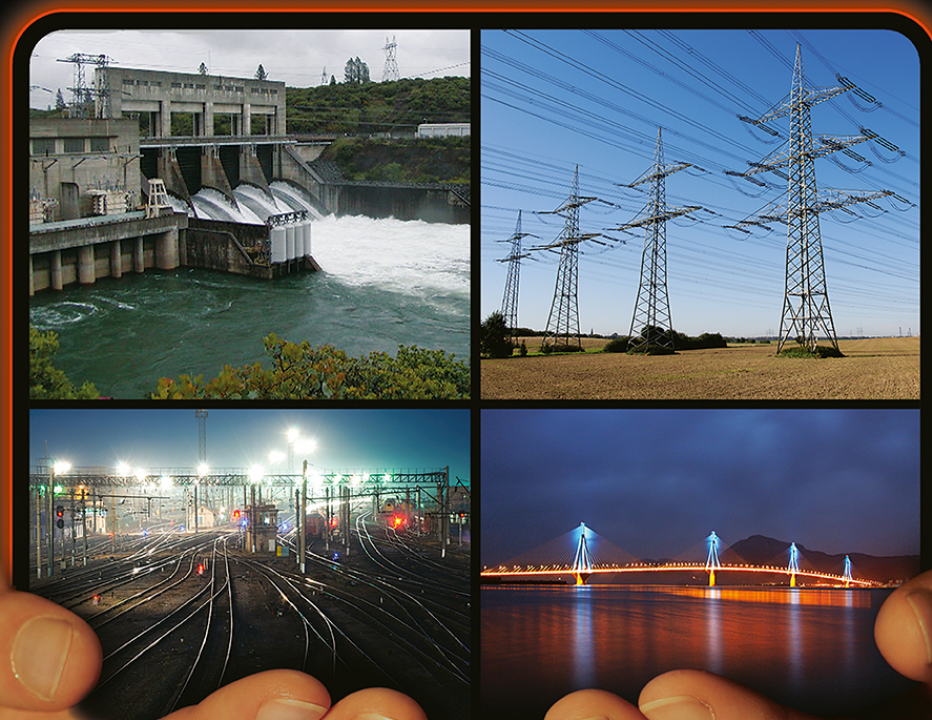


ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΒΟΒΟΣ

Ομότιμος Καθηγητής Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστημίου Πατρών

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ **ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ** **ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

2η ΕΚΔΟΣΗ



ISBN 978-960-456-612-9

© Copyright: Βοβός Ν., Εκδόσεις Ζήτη, Σεπτέμβριος 2023

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη και συγγραφέα κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία

Εκτύπωση
Βιβλιοδεσία



Π. ΖΗΤΗ & Σια Ι.Κ.Ε.

18^ο χλμ Θεσσαλονίκης - Περαιάς
Τ.Θ. 4171 • Περαιά Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:

Αρμενοπούλου 27 - 546 35 Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-203.720 • Fax 2310-211.305
e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ:

Χαριλάου Τρικούπη 22 - Τ.Κ. 106 79, Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210-3816.650
e-mail: athina@ziti.gr

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Η αυξανόμενη εξάρτηση της σύγχρονης κοινωνίας από την ηλεκτρική ενέργεια οδήγησε στα σημερινά πολύπλοκα και εκτεταμένα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Με τη σημερινή οργάνωση της ζωής μας και η συντομότερη διακοπή της λειτουργίας των ΣΗΕ προκαλεί τρομακτική αναστάτωση στις δραστηριότητές μας, λόγω του μεγάλου πλήθους των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούμε στις σύγχρονες κοινωνίες. Επειδή όμως ανεξάρτητα των προσπαθειών μας πάντα θα συμβαίνουν σφάλματα στα ΣΗΕ, η αντιμετώπισή τους απαιτεί συστήματα προστασίας με τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία και ακρίβεια. Η εξέλιξη των ηλεκτρονόμων προστασίας ξεκίνησε με τους ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους, προχώρησε στους ηλεκτρονόμους στερεάς κατάστασης ή στατικούς και σήμερα διαθέτουμε και ψηφιακούς ηλεκτρονόμους βασισμένους σε μικροεπεξεργαστές με αυτονομία για λήψη λογικών αποφάσεων.

Αναγνωρίζοντας την αδυναμία κάλυψης σε ένα μόνο τόμο όλων των προηγούμενων εξελίξεων, του τεράστιου όγκου της θεωρίας και των ποικίλων προβλημάτων που σχετίζονται με την ανάπτυξη και εφαρμογή των συστημάτων προστασίας, στο βιβλίο αυτό περιοριζόμαστε μόνο στην ανάπτυξη των βασικών αρχών της προστασίας. Το βιβλίο καλύπτει την ύλη του εξαμηνιαίου μαθήματος «Προστασία ΣΗΕ», που διδάσκεται στους φοιτητές του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών. Σκοπός του βιβλίου είναι να εξοικειώσει τους νέους ηλεκτρολόγους μηχανικούς με τα προβλήματα της προστασίας ΣΗΕ και τους τρόπους επίλυσής τους, ώστε στο μέλλον με την περαιτέρω λεπτομερέστερη μελέτη των ειδικών θεμάτων και την πρακτική εφαρμογή να καταστούν γνώστες του αντικειμένου. Η ανάπτυξη της ύλης έγινε έτσι ώστε να μην απαιτείται καμία προηγούμενη γνώση του αντικειμένου.

Για να επιτευχθούν οι προηγούμενοι στόχοι τα τέσσερα πρώτα κεφάλαια του βιβλίου είναι εισαγωγικά. Στόχο έχουν την εξοικείωση του νέου μηχανικού με τους όρους και τις θεμελιώδεις έννοιες της προστασίας, τις θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας των ηλεκτρονόμων προστασίας και τις σύγχρονες εξελίξεις στα συστήματα προστασίας των ΣΗΕ. Τα υπόλοιπα έξι κεφάλαια πραγματεύονται την προστασία του βασικού εξοπλισμού ενός ΣΗΕ. Τα κεφάλαια 5, 6 και 7 ασχολού-

νται με την προστασία των γραμμών μεταφοράς, όπου χρησιμοποιούνται τα τρία βασικά είδη προστασίας, δηλαδή υπερρεύματος, απόστασης και ενιαία προστασία. Στο κεφάλαιο 8 αναπτύσσονται τα θέματα που σχετίζονται με την προστασία ζυγών, στο κεφάλαιο 9 αναπτύσσεται η προστασία μετασχηματιστών και στο κεφάλαιο 10 εξετάζεται η προστασία μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος.

Με ιδιαίτερη προσοχή επελέγησαν τα αριθμητικά Παραδείγματα, που αποτελούν απαραίτητο συμπλήρωμα στην κατανόηση των θεμάτων που αναπτύσσονται. Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλουν σημαντικά και οι επιλεγμένες λύσεις ασκήσεων που υπάρχουν στο τέλος του βιβλίου. Τα προβλήματα που επιλύονται, έχουν επιλεγεί, ώστε να διευκρινίζουν σημαντικά θεωρητικά θέματα που αναπτύσσονται στη θεωρία του βιβλίου.

Για την προσεγμένη εργασία τους θερμές ευχαριστίες επιθυμώ να εκφράσω στους γιους μου Παναγή και Ανέστη για την επιμέλεια των σχημάτων.

Θερμές ευχαριστίες επιθυμώ να εκφράσω και προς την οικογένειά μου και τους γονείς μου για τη συνεχή συμπαράσταση και κατανόησή τους κατά τη συγγραφή του βιβλίου.

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2023

Νικόλαος Α. Βοβός

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1	Εισαγωγή	13
1.2	Ορισμοί	14
1.3	Σημαντικές απαιτήσεις	15
1.4	Πρωτεύουσα προστασία	15
1.5	Προστασία υποστήριξης ή εφεδρική προστασία	17
1.6	Αξιολόγηση των συστημάτων προστασίας	18
1.7	Αρχές λειτουργίας των ηλεκτρονόμων προστασίας	20
1.8	Επίτευξη επιλεκτικότητας στα διάφορα συστήματα προστασίας	22
1.8.1	Χρόνου-Υπερέντασης Ηλεκτρονόμοι (Time-Overcurrent Relays)	22
1.8.2	Ηλεκτρονόμοι Κατεύθυνσης (Directional Relays)	22
1.8.3	Προστασία Απόστασης (Distance Protection)	23
1.8.4	Ενιαία Προστασία (Unit Protection)	23
1.8.5	Προστασία Ισορροπημένου Ρεύματος (Balanced Current Protection)	24
1.9	Μετασχηματιστές ρεύματος για μέτρηση	24
1.10	Μετασχηματιστές τάσης για μέτρηση	27

Κεφάλαιο 2

ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ

2.1	Γενικές θεωρήσεις	29
2.2	Χρονική καθυστέρηση ηλεκτρονόμων	30
2.3	Ηλεκτρομαγνητικής έλξης ηλεκτρονόμοι μιας δρώσης ποσότητας	32
2.4	Ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης τύπου ηλεκτρομαγνητικής έλξης	34
2.5	Ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης επαγωγικού τύπου	35
2.6	Υπολογισμός ροπής σε επαγωγικούς ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης	40
2.6.1	Ηλεκτρονόμοι Ρεύματος - Ρεύματος	40
2.6.2	Ηλεκτρονόμοι ρεύματος-τάσης	42

2.7	Λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης	43
2.8	Γενική εξίσωση ροπής ηλεκτρονόμων	45

Κεφάλαιο 3

ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

3.1	Εισαγωγή	47
3.2	Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου σύνθετης αντίστασης	47
3.3	Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου τροποποιημένης σύνθετης αντίστασης	52
3.4	Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου μιγαδικής αντίστασης	53
3.5	Ηλεκτρονόμος απόστασης τύπου ΜΗΟ	56
3.6	Γενικές παρατηρήσεις για όλους τους ηλεκτρονόμους απόστασης	57

Κεφάλαιο 4

ΣΤΑΤΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

4.1	Εισαγωγή	59
4.2	Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονόμων	61
4.3	Αξιοποίηση του τελεστικού ενισχυτή στην κατασκευή αναλογικού στατικού ηλεκτρονόμου	63
4.4	Αναλογικοί στατικοί ηλεκτρονόμοι	66
4.4.1	Στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης ή υπέρτασης	67
4.4.2	Ηλεκτρονόμοι υπερέντασης με χρονική καθυστέρηση και αντίστροφου χρόνου χαρακτηριστικά	68
4.5	Ψηφιακοί στατικοί ηλεκτρονόμοι	71

Κεφάλαιο 5

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥΣ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ

5.1	Εισαγωγή	73
5.2	Λειτουργία και ρυθμίσεις ηλεκτρονόμων υπερέντασης	74
5.2.1	Λειτουργία	74
5.2.2	Ρύθμιση του επιπέδου επιλογής ή επαναφοράς	75
5.2.3	Ρύθμιση του χρόνου λειτουργίας	77
5.3	Χρονικά χαρακτηριστικά	77

5.4	Ρύθμιση ηλεκτρονόμων αντίστροφου χρόνου	79
5.5	Ηλεκτρονόμοι ρεύματος ορισμένου χρόνου	81
5.6	Ηλεκτρονόμοι ρεύματος αντίστροφου χρόνου	82
5.7	Ρύθμιση ηλεκτρονόμων υπερέντασης σε βροχοειδή συστήματα με μια πηγή παραγωγής	83
5.8	Χρησιμοποίηση στιγμιαίων ηλεκτρονόμων υπερέντασης	85
5.9	Παράδειγμα ρύθμισης ηλεκτρονόμων υπερέντασης για προστασία ακτινωτών γραμμών	87
5.10	Παράδειγμα ρύθμισης ηλεκτρονόμων υπερέντασης για προστασία βροχοειδών συστημάτων	92
5.11	Χρησιμοποίηση δυο ηλεκτρονόμων αντί τριών για προστασία βραχυ- κυκλωμάτων μεταξύ φάσεων	95
5.12	Σύγκριση μονοφασικών και πολυφασικών ηλεκτρονόμων κατεύ- θυνσης – υπερέντασης	97
5.13	Χαρακτηριστικά ασφαλειών	98
5.14	Διακόπτες ισχύος	101
5.15	Αυτόματοι διακόπτες με επανακλείσιμο	103
5.16	Προστασία ακτινωτών γραμμών διανομής	105
5.17	Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης	107

Κεφάλαιο 6

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

6.1	Μέτρηση απόστασης	109
6.2	Προβλήματα στη μέτρηση απόστασης	112
	Παράδειγμα 6.1	115
6.3	Παράμετροι σύνθετης αντίστασης γραμμών	116
6.4	Αντιστάθμιση των σημάτων που τροφοδοτούνται σε ηλεκτρονόμους απόστασης για προστασία σφαιμάτων γης	120
6.5	Σήματα αντιστάθμισης για φασικούς ηλεκτρονόμους	122
6.6	Μη αντιμετατιθέμενοι αγωγοί	123
6.7	Επέκταση της πρώτης ζώνης	124
6.8	Ρύθμιση της πρώτης και δεύτερης ζώνης	124
	Παράδειγμα 6.2	127
6.9	Ρύθμιση της τρίτης ζώνης	129
6.10	Πλήρες σύστημα μονάδας προστασίας απόστασης	130

Κεφάλαιο 7

ΕΝΙΑΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.1	Εισαγωγή	133
7.2	Διαφορικοί ηλεκτρονόμοι	133
7.3	Προστασία οδηγού	139
7.4	Προβλήματα στη χρήση ηλεκτρονόμων με οδηγούς σύρματος στις γραμμές	140
7.5	Οδηγοί ενεργοποίησης και φραγμού	140
7.6	Ηλεκτρονόμοι οδηγού σύρματος ΣΡ	141
7.7	Προβλήματα ηλεκτρονόμων οδηγού σύρματος ΣΡ	144
7.8	Ηλεκτρονόμοι οδηγού σύρματος ΕΡ	144
7.9	Τύπος κυκλοφορούντος ρεύματος	147
7.10	Τύπος αντιτιθέμενης τάσης	148
7.11	Γενικά χαρακτηριστικά οδηγών σύρματος ΕΡ	149
7.12	Οδηγός φέροντος ρεύματος	150
7.13	Μικροκυματικός οδηγός	151
7.14	Συσκευές σύγκρισης φάσης	151
7.15	Σύστημα σύγκρισης κατεύθυνσης	156
7.16	Προστασία οδηγού για γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	159
7.17	Προβλήματα στη προστασία πολυτεματικών γραμμών	160
7.18	Προστασία υποστήριξης	162

Κεφάλαιο 8

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΝΗΣ ΖΥΓΟΥ

8.1	Γενικές αρχές	163
8.2	Διαφορική προστασία ρεύματος	165
8.3	Πολωμένη αναλογική διαφορική προστασία	166
8.4	Διαφορική προστασία τάσης	168
8.5	Μετασηματιστές ρεύματος χωρίς πυρήνα σιδήρου	172
8.6	Σύγκριση κατεύθυνσης	174
8.7	Προστασία ζυγών χωρισμένων σε τμήματα	176
8.8	Προστασία διαρροής περιβλήματος	178
8.9	Επίβλεψη και έλεγχος ενεργοποίησης	179

Κεφάλαιο 9

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

9.1	Εισαγωγή	181
9.2	Προστασία υπερθέρμανσης	183
9.3	Ηλεκτρονόμοι αερίων	183
9.4	Ηλεκτρονόμοι αιφνίδιας πίεσης	185
9.5	Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης	187
9.6	Πολωμένη διαφορική προστασία μετασχηματιστών	189
	Παράδειγμα 9.1	193
	Παράδειγμα 9.2	196
	Παράδειγμα 9.3	199
9.7	Μέθοδοι αντιμετώπισης του ρεύματος μαγνήτισης εισροής	201
9.8	Ενιαία προστασία γεννήτριας - μετασχηματιστή	205
9.9	Προστασία μετασχηματιστών και αγωγών τροφοδοσίας τους	207

Κεφάλαιο 10

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΡ

10.1	Προστασία γεννήτριας	211
10.2	Προστασία του στάτη	212
10.3	Βραχυκυκλώματα στο στάτη μεταξύ φάσεων και γης	213
	Παράδειγμα 10.1	215
10.4	Εσωτερικά βραχυκυκλώματα σπειρών του στάτη	216
10.5	Υπερθέρμανση του στάτη	218
10.6	Υπέρταση στο στάτη	219
10.7	Προστασία του δρομέα	219
	10.7.1 Βραχυκυκλώματα γης	219
	10.7.2 Ανοικτοκύκλωμα	220
	10.7.3 Ασύμμετρα ρεύματα στο στάτη	221
10.8	Σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα στο στάτη και στο δρομέα	222
10.9	Γενικό διάγραμμα προστασίας γεννήτριας	224
10.10	Προστασία συστήματος γεννήτριας - μετασχηματιστή	226
10.11	Προστασία κινητήρων ΕΡ	228
10.12	Προβλήματα κινητήρων	228
10.13	Προστασία στάτη επαγωγικών κινητήρων	230
	10.13.1 Προστασία φασικών βραχυκυκλωμάτων	230
	10.13.2 Προστασία βραχυκυκλωμάτων γης	231
	10.13.3 Προστασία κατά την απώλεια στήριξης	231

10.13.4	Προστασία υπερφόρτισης	232
10.13.5	Προστασία υπότασης	233
10.13.6	Προστασία σε ασύμμετρες τάσεις τροφοδοσίας	233
10.14	Προστασία βοηθητικών συσκευών σε ηλεκτρικούς σταθμούς	234
<i>Προβλήματα</i>		235
<i>Επιλεγμένες Λύσεις Ασκήσεων</i>		243
<i>Βιβλιογραφία</i>		263
<i>Αναφορές</i>		264
<i>Ευρετήριο Όρων</i>		267



Κεφάλαιο

ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα χρήματα που επενδύονται στην παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τόσο μεγάλα, ώστε πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα όχι μόνο για την καλύτερη δυνατή απόδοση των διαφόρων συστημάτων, αλλά και για την προφύλαξή τους από διάφορα βραχυκυκλώματα. Όταν συμβαίνει ένα βραχυκύκλωμα, η καταστροφική ικανότητα της τεράστιας ενέργειας των συστημάτων ισχύος μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στις διάφορες συσκευές του συστήματος. Με μία προσεκτική σχεδίαση τέτοια βραχυκυκλώματα μπορούν να γίνουν πολύ σπάνια, αλλά είναι αδύνατο να αποφευχθούν τελείως λόγω των κεραυνών και των ατυχημάτων.

Ο σκοπός των ηλεκτρονόμων προστασίας είναι να θέτουν σε λειτουργία τους κατάλληλους διακόπτες ισχύος, ώστε να αποσυνδέονται όσο το δυνατόν ταχύτερα τα τμήματα του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) που έχουν πάθει τη βλάβη και έτσι να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες οι ζημιές από τα βραχυκυκλώματα. Το ιδανικό θα ήταν αν τα συστήματα προστασίας προέβλεπαν και εμπόδιζαν τα βραχυκυκλώματα, αλλά αυτό είναι αδύνατο γενικά, εκτός των περιπτώσεων εκείνων που η αρχική αιτία του βραχυκυκλώματος δημιουργεί κάποιο αποτέλεσμα, που μπορεί να θέσει σε λειτουργία έναν ηλεκτρονόμο προστασίας. Μόνον ένας ηλεκτρονόμος προστασίας υπάρχει αυτού του τύπου. Είναι ο ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων, που χρησιμοποιείται για την προστασία των μετασχηματιστών και λειτουργεί όταν συσσωρεύονται αέρια λόγω της διάσπασης από υπερθέρμανση του λαδιού στο μετασχηματιστή, που προκαλείται από κακή σύνδεση ή τη διάσπασή του μονωτικού.

1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

Υπάρχουν ορισμένες έννοιες και ορισμοί που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των ηλεκτρονόμων και των συστημάτων προστασίας και πρέπει να ορισθούν από την αρχή. Αυτοί είναι:

Ροπή ή δύναμη λειτουργίας (Operating Force or Torque): Αυτή που τείνει να κλείσει τις επαφές του ηλεκτρονόμου.

Ροπή ή δύναμη αναχαίτισης (Restraining Force or Torque): Αυτή που ανθίσταται στη ροπή ή δύναμη λειτουργίας και εμποδίζει το κλείσιμο των επαφών του ηλεκτρονόμου.

Επίπεδο επιλογής (Pick-up level): Η τιμή του ρεύματος ή τάσης κ.λπ. που είναι το κατώφλι πάνω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος κλείνει τις επαφές του.

Επίπεδο επαναφοράς (Drop out or reset level): Η τιμή του ρεύματος ή τάσης κ.λπ. που είναι το κατώφλι κάτω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος ανοίγει τις επαφές του και επιστρέφει στην κανονική κατάσταση.

Χαρακτηριστική (του ηλεκτρονόμου στη μόνιμη κατάσταση) (Characteristic): Η γραφική παράσταση του επιπέδου επιλογής ή επαναφοράς. Σε μερικούς ηλεκτρονόμους αυτές οι δύο καμπύλες συμπίπτουν και τότε έχουμε τον τόπο μηδενικής ροπής.

Ηλεκτρονόμος ενίσχυσης (Reinforcing Relay): Ένας ηλεκτρονόμος που ενεργοποιείται από τις επαφές του κυρίου ηλεκτρονόμου και οι επαφές του, που είναι παράλληλες με αυτές του κυρίου ηλεκτρονόμου, τις βοηθούν στη μεταφορά του ρεύματος ώστε να αποφεύγεται η φθορά τους.

Ηλεκτρονόμος επισφράγισης (Seal-in Relay): Είναι όμοιος με τον ηλεκτρονόμο ενίσχυσης, αλλά είναι συνδεδεμένος έτσι ώστε να διατηρεί κλειστές τις επαφές του, μέχρις ότου ένας διακόπτης που ενεργοποιείται με τη λειτουργία του διακόπτη ισχύος διακόψει το κύκλωμα του.

Ηλεκτρονόμος υποστήριξης ή εφεδρικός (Back-up Relay): Ένας ηλεκτρονόμος που συνήθως λειτουργεί μετά από κάποια καθυστέρηση για να ενεργοποιήσει το διακόπτη ισχύος, όταν ο κανονικός ηλεκτρονόμος δεν λειτουργήσει.

Επιλεκτικότητα (Selectivity): Η ικανότητα του ηλεκτρονόμου να διακρίνει ένα βραχυκύκλωμα στη ζώνη που εποπτεύει από ένα βραχυκύκλωμα σε άλλη ζώνη.

Συνέπεια (Consistency): Η ακρίβεια με την οποία ένας ηλεκτρονόμος επαναλαμβάνει τα ηλεκτρικά ή χρονικά χαρακτηριστικά του.

Σημαία (Flag or target): Ένα σήμα μηχανικό ή ηλεκτρικό που εμφανίζεται μετά

τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου για να επιβεβαιώσει ότι ο ηλεκτρονόμος λειτουργήσε.

Χρόνος λειτουργίας (Operating time): Ο χρόνος που παρέρχεται από τη στιγμή που θα επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής μέχρις ότου ο ηλεκτρονόμος κλείσει τις επαφές του.

Επέκταση (Reach): Το μακρινότερο σημείο στο οποίο επεκτείνεται η ζώνη προστασίας του ηλεκτρονόμου.

Ο χρόνος **εκκαθάρισης** (clearing time) ενός βραχυκυκλώματος t_c ορίζεται ως ακολούθως:

$$t_c = t_p + t_o + t_b$$

όπου: t_p είναι ο **χρόνος σύγκρισης**, δηλαδή ο χρόνος που παρέρχεται από την είσοδο του βραχυκυκλώματος μέχρι να επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου.

t_o είναι ο **χρόνος λειτουργίας** του ηλεκτρονόμου.

t_b είναι ο **χρόνος λειτουργίας** του διακόπτη ισχύος.

1.3 ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

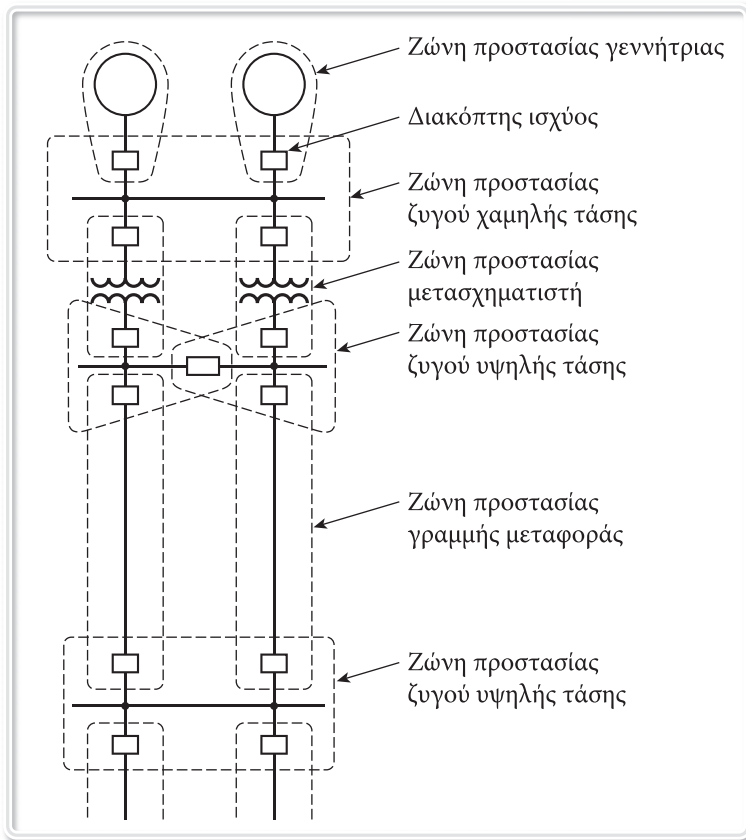
Οι βασικές απαιτήσεις από τους ηλεκτρονόμους είναι:

1. Υψηλός βαθμός αξιοπιστίας.
2. Ικανοποιητική ευαισθησία, που ορίζεται ως το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης που λειτουργεί τον ηλεκτρονόμο, όταν το βραχυκύκλωμα συμβαίνει μέσα στη ζώνη προστασίας.
3. Επιλεκτικότητα.
4. Μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας για να ελαχιστοποιεί τα καταστροφικά αποτελέσματα του βραχυκυκλώματος και να αποφεύγεται η αστάθεια των σύγχρονων γεννητριών.

1.4 ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Το Σχ. 1.1 διασαφηνίζει την πρωτεύουσα προστασία. Παρατηρούμε ότι οι διακόπτες ισχύος τοποθετούνται εκεί που συνδέονται μεταξύ τους δύο ηλεκτρικές συσκευές. Αυτή η τοποθέτηση επιτρέπει την αποσύνδεση μόνον των συσκευών που

έχουν το βραχυκύκλωμα. Περιστασιακά είναι δυνατόν ένας διακόπτης ισχύος να μην τοποθετηθεί σε μία τέτοια σύνδεση. Σε αυτήν την περίπτωση όμως αποσυνδέονται και οι δύο συσκευές όταν συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα σε μία από αυτές.



Σχ. 1.1: Μονοφασικό διάγραμμα ενός τμήματος ηλεκτρικού συστήματος που διασαφηνίζει την κύρια προστασία.

Η δεύτερη παρατήρηση είναι ότι μία ξεχωριστή ζώνη προστασίας δημιουργείται γύρω από κάθε συσκευή, αν και μέχρι τώρα δεν αναπτύχθηκε ο τρόπος που μία τέτοια ζώνη μπορεί να δημιουργηθεί. Η σημαντικότερη επιδίωξη είναι κάθε βραχυκύκλωμα που συμβαίνει μέσα σε μία δεδομένη ζώνη να ανοίγει τους διακόπτες ισχύος μέσα σε αυτήν τη ζώνη και μόνο αυτούς.

Είναι προφανές ότι για βραχυκυκλώματα στις περιοχές όπου δύο ζώνες προστασίας επικαλύπτονται ενεργοποιούνται περισσότεροι διακόπτες από όσους χρειά-

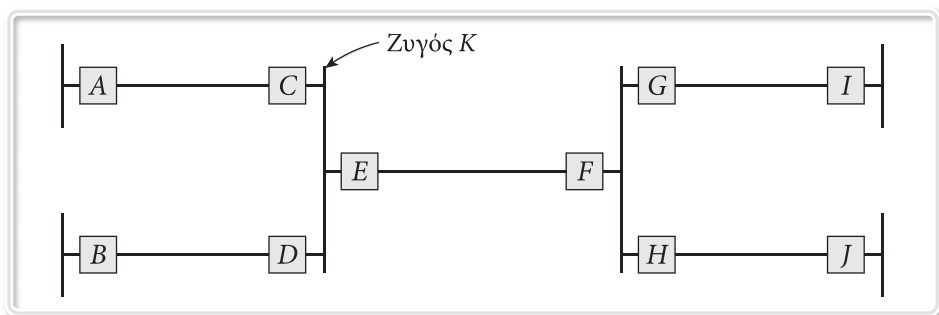
ζονται για την αποσύνδεση της περιοχής του βραχυκυκλώματος. Αλλά, αν δεν υπήρχε επικάλυψη, ένα βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο ζωνών δεν θα ενεργοποιούσε κανένα διακόπτη ισχύος. Η επικάλυψη είναι το μικρότερο κακό μεταξύ των δύο. Εξάλλου η έκταση της επικάλυψης είναι σχετικά μικρή και η πιθανότητα να συμβεί βραχυκύκλωμα στην περιοχή που έχουμε επικάλυψη είναι μικρή. Επομένως, η λειτουργία περισσότερων διακοπών των απαραίτητων συμβαίνει πολύ σπάνια.

Τέλος παρατηρούμε ότι οι ζώνες προστασίας επικαλύπτονται γύρω από ένα διακόπτη ισχύος, επειδή για βραχυκυκλώματα εκτός των περιοχών επικάλυψης απαιτείται η λειτουργία του ελάχιστου αριθμού διακοπών ισχύος.

1.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ή ΕΦΕΔΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η προστασία υποστήριξης χρησιμοποιείται μόνο για σφάλματα από βραχυκυκλώματα που είναι και τα πιο συχνά. Για αλλά είδη σφαλμάτων η προστασία υποστήριξης δεν συμφέρει οικονομικά. Με τον όρο **προστασία υποστήριξης** εννοούμε μία επί πλέον προστασία του κυκλώματος, που λειτουργεί με κάποια καθυστέρηση, όταν δε λειτουργήσει η πρωτεύουσα προστασία. Είναι προφανές ότι επιδιώκουμε κάθε αιτία που μπορεί να εμποδίσει την πρωτεύουσα προστασία να λειτουργήσει, να μην επηρεάζει την προστασία υποστήριξης. Πρακτικά αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση, όπου είναι δυνατόν, της προστασίας υποστήριξης σε διαφορετικό σταθμό από την πρωτεύουσα προστασία.

Εξετάζουμε για παράδειγμα, την προστασία υποστήριξης της γραμμής μεταφοράς EF του Σχ. 1.2. Η προστασία υποστήριξης για αυτήν τη γραμμή ρυθμίζεται έτσι ώστε να ανοίγει τους διακόπτες A, B, I και J. Αν ο διακόπτης E δεν λειτουργήσει λόγω κάποιου βραχυκυκλώματος στη γραμμή EF, τότε λειτουργούν οι δια-



Σχ. 1.2: Διασαφήνιση της προστασίας υποστήριξης για τη γραμμή μεταφοράς EF.

κόπτες A και B. Οι διακόπτες A και B και τα συνδεδεμένα σε αυτούς συστήματα προστασίας, είναι τοπολογικά μακριά από τα συστήματα που δε λειτούργησαν και είναι απίθανο να επηρεασθούν από τα αίτια που έκαναν το διακόπτη E να μην λειτουργήσει, πράγμα που πιθανά θα συνέβαινε, αν οι διακόπτες C και D είχαν εκλεγεί για την προστασία υποστήριξης.

Οι ηλεκτρονόμοι υποστήριξης στις θέσεις A, B και F παρέχουν προστασία υποστήριξης, αν συμβεί βραχυκύκλωμα στο ζυγό K. Επίσης οι ηλεκτρονόμοι υποστήριξης στα A και F παρέχουν προστασία υποστήριξης για βραχυκυκλώματα στη γραμμή DB. Δηλαδή η ζώνη προστασίας υποστήριξης αρχίζει από κάποιο ηλεκτρονόμο υποστήριξης και επικαλύπτει τουλάχιστον κάθε γειτονικό στοιχείο του συστήματος.

Μία δεύτερη εργασία της προστασίας υποστήριξης είναι να παρέχει πρωτεύουσα προστασία, όταν γίνεται συντήρηση ή επιδιόρθωση στην πρωτεύουσα προστασία.

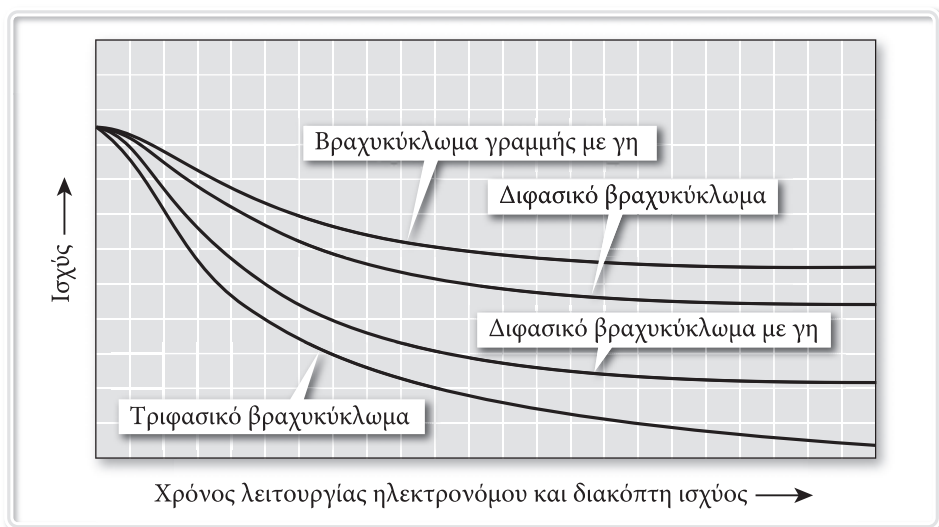
Όταν μία ομάδα ηλεκτρονόμων παρέχει προστασία υποστήριξης για μερικά γειτονικά στοιχεία του συστήματος, ο βραδύτερος ηλεκτρονόμος της πρωτεύουσας προστασίας προσδιορίζει τον απαραίτητο χρόνο καθυστέρησης των ηλεκτρονόμων υποστήριξης.

1.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Όπως όλα τα μέρη ενός συστήματος ισχύος, τα συστήματα προστασίας αξιολογούνται επί τη βάση της συμβολής τους στην καλύτερη και οικονομικότερη εξυπηρέτηση των πελατών. Η συμβολή των συστημάτων προστασίας είναι να βοηθούν το υπόλοιπο σύστημα ισχύος να επιτυγχάνει το σκοπό του κατά τον αποδοτικότερο και αποτελεσματικότερο τρόπο στην περίπτωση σφαλμάτων. Ελαττώνοντας τις ζημιές όταν συμβαίνει ένα βραχυκύκλωμα, τα συστήματα προστασίας ελαττώνουν:

1. Το κόστος επισκευής των ζημιών που προκαλούνται από τα βραχυκυκλώματα.
2. Την πιθανότητα να έχουμε επέκταση των ζημιών με το να πάψουν να λειτουργούν και άλλες συσκευές.
3. Το χρόνο που οι συσκευές είναι εκτός λειτουργίας.
4. Την απώλεια εισοδήματος και τη διατάραξη του τρόπου ζωής των πολιτών κατά τις ώρες που τα ηλεκτρικά συστήματα δεν λειτουργούν.

Τα συστήματα προστασίας αυξάνουν την ευστάθεια των ΣΗΕ και κατά συνέπεια μας επιτρέπουν καλύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του συστήματος. Το Σχ. 1.3 δείχνει πως η ταχύτητα του συστήματος προστασίας επηρεάζει την ισχύ που επιτρέπεται να μεταφέρει μία γραμμή, ώστε να μην έχουμε απώλεια του συγχρονισμού, όταν συμβαίνει ένα βραχυκύκλωμα. Με άλλα λόγια, το φορτίο που μπορεί να τροφοδοτήσει ένα υπάρχον σύστημα αυξάνεται, όταν αυξάνεται η ταχύτητα των συστημάτων προστασίας. Η αύξηση της ταχύτητας των συστημάτων προστασίας είναι ένας φθηνός τρόπος για να αυξήσουμε το μεταβατικό όριο ευστάθειας.



Σχ. 1.3: Καμπύλες μεταβολής της μέγιστης ισχύος που μπορούν να μεταφέρουν οι γραμμές, σε συνάρτηση με το χρόνο καθυστέρησης του ηλεκτρονόμου και του διακόπτη ισχύος για διάφορους τύπους βραχυκυκλωμάτων.

Σημειώνεται ότι το κόστος των ηλεκτρονόμων προστασίας δεν είναι πάντοτε ανάλογο με το κόστος του τμήματος του συστήματος που πρόκειται να προστατέψουν. Ένα βραχυκύκλωμα σε ένα τμήμα του ΣΗΕ μπορεί να προκαλέσει διαδοχικά βραχυκυκλώματα και να επηρεάσει τη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος, ενώ το αρχικό βραχυκύκλωμα πιθανόν να συνέβη σε ένα όχι τόσο σπουδαίο τμήμα του συστήματος, που δεν ήταν κατάλληλα προστατευμένο. Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν πολλά.

3^ο

Κεφάλαιο

ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στους ηλεκτρονόμους απόστασης υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ μίας τάσης και ενός ρεύματος. Ο λόγος αυτών των ποσοτήτων εκφράζει τη σύνθετη αντίσταση. Η σύνθετη αντίσταση είναι ένα ηλεκτρικό μέτρο της απόστασης κατά μήκος μίας γραμμής μεταφοράς και από αυτήν την ιδιότητα πήραν το όνομά τους οι ηλεκτρονόμοι αυτού του τύπου.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΥΠΟΥ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Σε ένα ηλεκτρονόμο σύνθετης αντίστασης η ροπή που παράγεται από ένα ρεύμα εξισορροπείται από τη ροπή που παράγεται από μία τάση. Το ρεύμα παράγει θετική ροπή (ενεργοποίησης), ενώ η τάση αρνητική ροπή (επαναφοράς). Με άλλα λόγια ένας ηλεκτρονόμος σύνθετης αντίστασης είναι ένας ηλεκτρονόμος υπερέντασης με αναχαίτιση τάσης. Η εξίσωση ροπής είναι:

$$T = K_1 I^2 - K_2 V^2 - K_3 \quad (3.1)$$

όπου: I και V είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος και της τάσης.

K_3 είναι η ροπή του ελατηρίου.

Στο σημείο ισορροπίας η συνισταμένη ροπή είναι μηδέν και:

$$K_2 V_2^2 = K_1 I^2 - K_3 \quad (3.2)$$

Με τη διαίρεση και των δύο μελών με $K_2 I^2$ έχουμε:

$$\frac{V^2}{I^2} = \frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}$$

ή

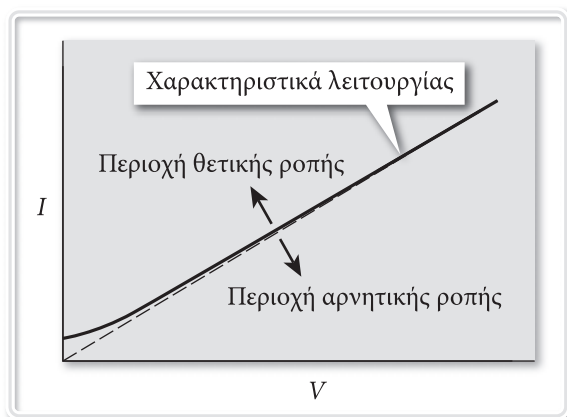
$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2} - \frac{K_3}{K_2 I^2}} \quad (3.3)$$

Επειδή η επίδραση του ελατηρίου είναι αισθητή μόνο για μικρές τιμές του ρεύματος, που ποτέ σχεδόν δεν έχουμε, μπορούμε να θέσουμε $K_3 = 0$ και η εξίσωση γίνεται:

$$Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} = \text{σταθερά} \quad (3.4)$$

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας σε ένα επίπεδο τάσης-ρεύματος φαίνονται στο Σχ. 3.1. Η επίδραση του ελατηρίου είναι μία κάμψη των χαρακτηριστικών για μικρές τιμές του ρεύματος. Για κάθε πρακτική εφαρμογή μπορούμε να δεχόμαστε τη διακεκομμένη γραμμή, που ισχύει για σταθερή τιμή του Z , ότι περιγράφει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται για κάθε συνδυασμό τιμών V και I που δίνουν ένα σημείο στη περιοχή θετικής ροπής ή με άλλα λόγια για κάθε τιμή του Z μικρότερη από την τιμή που δίνουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Με ρύθμιση μπορούμε να επιτύχουμε οποιαδήποτε κλίση των χαρακτηριστικών.

Ένας πιο χρήσιμος τρόπος για να παραστήσουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας είναι με τη χρήση του **διαγράμματος σύνθετης αντίστασης** ή **R-X διάγραμμα**.



Σχ. 3.1: Χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός ηλεκτρονόμου σύνθετης αντίστασης.

4^ο

Κεφάλαιο

ΣΤΑΤΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διεθνής Επιτροπή Ηλεκτροτεχνίας (International Electrotechnical Commission (IEC) προτείνει τον εξής ορισμό για τον στατικό ηλεκτρονόμο: «**στατικός ηλεκτρονόμος είναι ο ηλεκτρονόμος που η σχεδιασμένη απόκρισή του επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικές, μαγνητικές ή άλλες συσκευές χωρίς μηχανική κίνηση**». Παρ' όλα αυτά, ο στατικός ηλεκτρονόμος συχνά έχει μία συσκευή ηλεκτρομηχανικής εξόδου. Οι προδιαγραφές για τους στατικούς ηλεκτρονόμους είναι ίδιες με αυτές των ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων τους οποίους αντικαθιστούν.

Αρχικά χρησιμοποιούνταν μόνο ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι, γιατί οι ημιαγωγοί δεν εθεωρούντο αρκετά αξιόπιστοι και οι ηλεκτρονικές συσκευές πολύ σπάνια χρησιμοποιούνταν στην προστασία ηλεκτρικών συστημάτων. Με την πάροδο όμως του χρόνου η μεγάλη αύξηση του ποσού ισχύος που διαχειρίζονταν τα ηλεκτρικά συστήματα επέβαλε τη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών, που ήταν συχνά ο μόνος τρόπος για να κατασκευαστούν συστήματα προστασίας με τη μεγάλη ταχύτητα και υψηλή ακρίβεια που ήταν απαραίτητη. Ταυτόχρονα οι ηλεκτρονικές συσκευές έγιναν πολύ πιο αξιόπιστες και φτηνές και όλοι αυτοί οι παράγοντες συνέβαλαν στη γρήγορη ανάπτυξη των στατικών ηλεκτρονόμων (static relays).

Στην πρώτη προσπάθεια για την κατασκευή ηλεκτρονικών ηλεκτρονόμων χρησιμοποιήθηκαν λυχνίες κενού, που εμφανίστηκαν στην αγορά το 1930. Η χρήση αυτών των συστημάτων ήταν εξαιρετικά περιορισμένη λόγω της υπερβολικής συντήρησης και περιορισμένης αξιοπιστίας που είχαν. Η εμφάνιση στις αρχές της δεκαετίας του 1950 των τρανζίστορ απέδειξε αμέσως ότι αυτοί ήταν η αξιόπιστη ηλεκτρονική συσκευή που χρειαζόνταν στην κατασκευή των ηλεκτρονόμων

5^ο

Κεφάλαιο

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥΣ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γραμμές προστατεύονται με ηλεκτρονόμους υπερέντασης, απόστασης, ενιαία προστασία και ασφάλειες, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Η προστασία με ηλεκτρονόμους υπερέντασης είναι η απλούστερη και φθηνότερη από όλες, αλλά η πιο δύσκολη στην εφαρμογή και αυτή που χρειάζεται επαναρίθμηση πιο γρήγορα από τις άλλες ή ακόμα και αντικατάσταση καθώς μεταβάλλεται το ηλεκτρικό δίκτυο ή οι συνθήκες φόρτισης. Στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο ή τρεις ηλεκτρονόμοι υπερέντασης για προστασία από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων και ένας ηλεκτρονόμος υπερέντασης για βραχυκυκλώματα μίας φάσης με τη γη. Η προστασία υπερέντασης είναι καταλληλότερη για γραμμές διανομής.

Η προστασία απόστασης είναι συχνά η πρώτη επιλογή όταν για κάποια εφαρμογή αποδεικνύεται ότι είναι ανεπαρκής η προστασία υπερέντασης. Η προστασία απόστασης είναι συνηθισμένη για προστασία φάσεων και γης γραμμών μεταφοράς, όταν μια μικρή χρονική καθυστέρηση στην εκκαθάριση των βραχυκυκλωμάτων στα άκρα της γραμμής είναι αποδεκτή. Η προστασία απόστασης δεν επηρεάζεται όσο η προστασία υπερέντασης από τις μεταβολές του ηλεκτρικού δικτύου και τις συνθήκες φόρτισης. Υπάρχουν ηλεκτρονόμοι απόστασης με μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών, που είναι ένα πλεονέκτημα όταν αναζητούμε την καταλληλότερη συσκευή για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

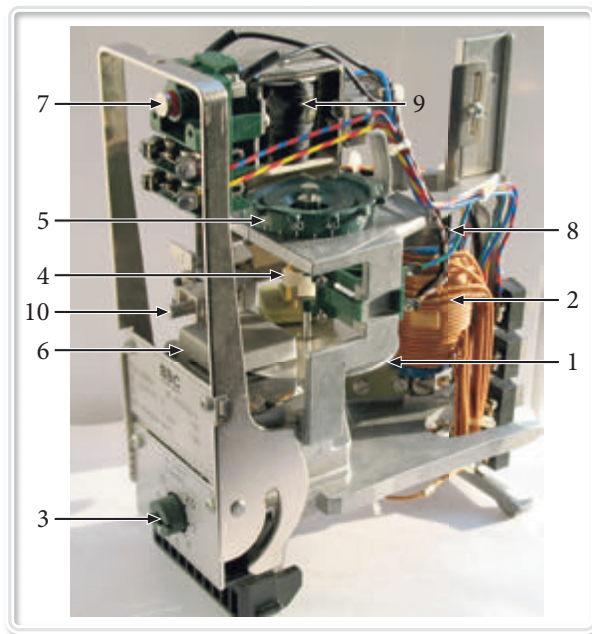
Η ενιαία προστασία εξασφαλίζει την καλύτερη επιλεκτικότητα και ταχύτητα εκκαθάρισης βραχυκυκλωμάτων, αλλά δεν μπορεί να παρέχει εφεδρική προστασία. Είναι η πιο δαπανηρή και πρακτικά χρησιμοποιείται σε όλες τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης. Σε αυτές, λόγω των μεγάλων ισχύων που μεταφέρουν, ο-

ποιαδήποτε καθυστέρηση στην εκκαθάριση βραχυκυκλώματος είναι απαράδεκτη για λόγους ευστάθειας και καταστροφικών συνεπειών στο ΣΗΕ. Χρησιμοποιείται και σε χαμηλότερης τάσης γραμμές μεταφοράς, όταν είναι ο μόνος τρόπος για να επιτύχουμε επιλεκτικότητα ή πρόκειται για πολύ σημαντικές γραμμές.

5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ

5.2.1 Λειτουργία

Η χαρακτηριστική των ηλεκτρονόμων υπερέντασης απεικονίζει το χρόνο λειτουργίας τους, που μειώνεται δραστικά με την αύξηση του ρεύματος στο πηνίο λειτουργίας τους, όπως θα δούμε αναλυτικότερα στη συνέχεια. Οι ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι υπερέντασης, Εικ. 5.1, έχουν ένα δίσκο αλουμινίου 1 που αυξάνει την ροπή και την ταχύτητα περιστροφής του όσο αυξάνει το ρεύμα που διέρχεται από το πηνίο λειτουργίας 2, επειδή αυξάνεται το μαγνητικό πεδίο που διαπερνά το δίσκο. Επειδή αύξηση της ταχύτητας περιστροφής συνεπάγεται μείωση του χρόνου λειτουργίας του ηλεκτρονόμου, ο χρόνος λειτουργίας του είναι αντίστροφα ανάλογος του ρεύματος λειτουργίας. Η ροπή περιστροφής που ασκείται στο δίσκο είναι ανάλογη των αμπεροστροφών του πηνίου λειτουργίας (δηλαδή του γινόμενου του ρεύματός του επί τον αριθμό στροφών του τυλίγματος του), άρα για να κινηθεί ο δίσκος πρέπει η ροπή περιστροφής του να γίνει λίγο μεγαλύτερη από τη ροπή αναχαίτισης, που ασκεί στο δίσκο ένα ελατήριο και αυτό γίνεται για ένα συγκεκριμένο αριθμό αμπεροστροφών. Επομένως, αν θέλουμε να έχουμε κίνηση του δίσκου (δηλαδή λειτουργία του ηλεκτρονόμου) για διαφορετικές τιμές του ρεύματος (επίπεδο επιλογής) παίρνουμε με το διακόπτη επιλογής 3 διαφορετικές λήψεις από το πηνίο, που αντιστοιχούν σε διαφορετικό αριθμό στροφών του πηνίου. Όταν περιστρέφεται ο δίσκος περιστρέφει και την επαφή 4, η οποία μετά από κάποια ρυθμιζόμενη απόσταση ακουμπά στην άλλη επαφή του ηλεκτρονόμου (δηλαδή ο ηλεκτρονόμος κλείνει τις επαφές του και ο χρόνος που διαρκεί αυτή η διαδικασία είναι ο χρόνος λειτουργίας του). Η απόσταση μεταξύ των επαφών ρυθμίζεται με το διακόπτη επιλογής 5 και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο αυξάνει ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου. Κατά την περιστροφή του ο δίσκος επιβραδύνεται από το μόνιμο μαγνήτη 6. Για να μην φορτίζουμε τις επαφές λειτουργίας του ηλεκτρονόμου με μεγάλα ρεύματα



Εικ. 5.1: Εκπαιδευτικός ηλεκτρονόμος υπερέντασης (παρόμοιος ηλεκτρονόμος της εταιρείας BBC).

και έτσι να τις προστατεύουμε, αυτές ελέγχουν ένα βοηθητικό ηλεκτρονόμο (ηλεκτρονόμο ενίσχυσης), που οι επαφές του μοιράζονται το ρεύμα με τις επαφές του ηλεκτρονόμου. Η λειτουργία του βοηθητικού ηλεκτρονόμου και φυσικά του ίδιου του ηλεκτρονόμου δείχνεται με την μετακίνηση προς τα έξω του κομβίου 7 (σημαία), που όταν το πιέσουμε επανέρχεται στην αρχική του θέση. Για πολύ μεγάλα ρεύματα λειτουργίας, μεγαλύτερα από κάποια ρυθμιζόμενη τιμή, το πεδίο σκέδασης του πηνίου 2 έλκει τον σπλισμό 8 που κλείνει αμέσως τις επαφές ενεργοποίησης ενός στιγμιαίου ηλεκτρονόμου 9. Αυτή η ταχύτατη ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου (αφού παρακάμπτεται το κύκλωμα καθυστέρησης) δείχνεται με το κομβίον 10 (σημαία).

5.2.2 Ρύθμιση του επίπεδου επιλογής ή επαναφοράς

Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης ρυθμίζονται για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία μεγάλη περιοχή εφαρμογών. Βέβαια η ρύθμιση αυτή δεν είναι απεριόριστη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πηνίο διέγερσης δεν μπορεί να γίνει α-

περιόριστα μεγάλο, ενώ ταυτόχρονα η κατασκευή του ηλεκτρονόμου πρέπει να είναι απλή. Η ρύθμιση του επίπεδου επιλογής των ηλεκτρονόμων με οπλισμό έλξης γίνεται με ρύθμιση του αρχικού διάκενου αέρα ή με ρύθμιση της τάσης του ελατήριου αναχαίτισης ή με μεταβλητές λήψεις από το πηνίο διέγερσης. Για ηλεκτρονόμους ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής η ρύθμιση γίνεται με μεταβλητές λήψεις από το πηνίο διέγερσης, όταν η ποσότητα που ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο είναι το ρεύμα (διακόπτης επιλογής 3 στο Εικ. 5.1). Η ρύθμιση γίνεται με μεταβλητές λήψεις από εν σειρά αντιστάσεις ή αυτομετασχηματιστές, όταν η ποσότητα που ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο είναι η τάση. Με τη χρήση μίας γέφυρας (Plug Setting Bridge) μπορούμε να μεταβάλλουμε το ονομαστικό επίπεδο επιλογής του ηλεκτρονόμου. Η ρύθμιση αυτή γίνεται από 25%-200% του ονομαστικού επίπεδου επιλογής, με βήματα του 25% για φασικούς ηλεκτρονόμους υπερέντασης και για ηλεκτρονόμους βραχυκυκλώματος γης από 20%-80% με βήματα 10%. Το ονομαστικό επίπεδο επιλογής των ηλεκτρονόμων υπερέντασης ταυτίζεται με το ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος του μετασχηματιστή ρεύματος με τον οποίο συνεργάζεται. Για παράδειγμα, αν ένας ηλεκτρονόμος τροφοδοτείται από ένα μετασχηματιστή ρεύματος με λόγο 300/5 και χρησιμοποιήσουμε μία λήψη 50%, το νέο ονομαστικό επίπεδο επιλογής για τον ηλεκτρονόμο είναι $(50/100) \times 300 = 150 \text{ A}$ για το πρωτεύον και $(50/100) \times 5 = 2.5 \text{ A}$ για το δευτερεύον. Με αυτήν τη νέα ονομαστική τιμή του επίπεδου επιλογής διαιρούμε το ρεύμα βραχυκυκλώματος για να βρούμε το πολλαπλάσιο του επίπεδου επιλογής (Plug Setting Multiplier (PSM), που χρησιμοποιούμε στον άξονα των τετμημένων (x) στα χαρακτηριστικά αυτού του ηλεκτρονόμου (παράγραφος 5.3).

Το νέο ονομαστικό επίπεδο επιλογής πρέπει να είναι αρκετά υψηλότερο από το πλήρες ρεύμα φορτίου, ώστε να αποφεύγονται εσφαλμένες λειτουργίες του ηλεκτρονόμου σε ταλαντωτικές συνθήκες του ΣΗΕ, αλλά όχι τόσο μεγάλο ώστε να μην ενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος από το ρεύμα βραχυκυκλώματος σε συνθήκες ελάχιστης φόρτισης. Στην πράξη το πλήρες ρεύμα φορτίου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 85% του επίπεδου επιλογής που θα επιλέξουμε. Σε βιομηχανικά συστήματα με μεγάλους κινητήρες το ονομαστικό επίπεδο επιλογής πρέπει να είναι αρκετά υψηλό ώστε να μην έχουμε μετακίνηση του δίσκου του ηλεκτρονόμου όταν ξεκινούν οι κινητήρες. Στην πράξη το μέγιστο ρεύμα όταν ξεκινάει ο μεγαλύτερος κινητήρας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 110% του επίπεδου επιλογής. Φυσικά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος εκκίνησης του κινητήρα.

10°

Κεφάλαιο

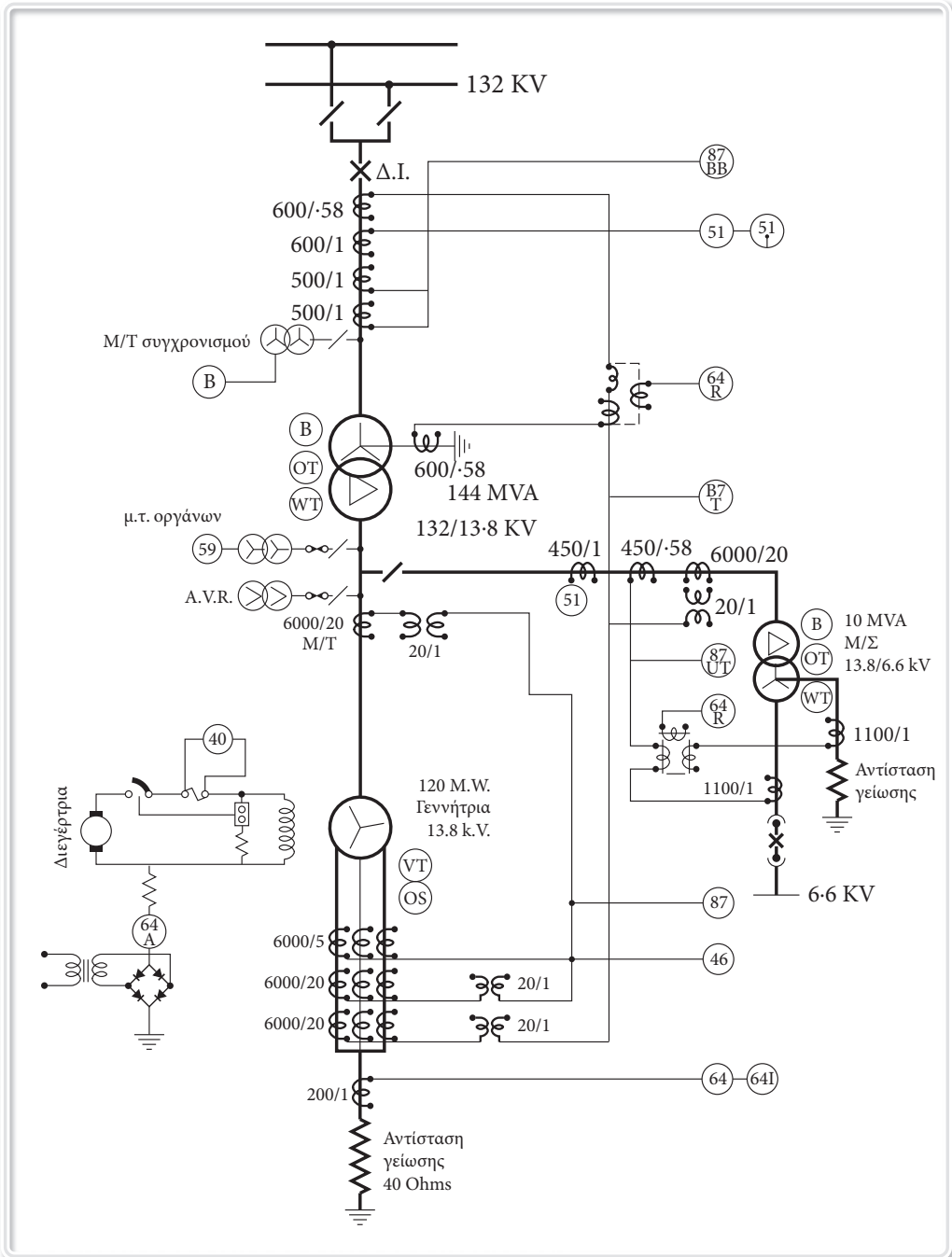
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΡ

10.1 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Οι γεννήτριες είναι οι πιο ακριβές και πιο πολύπλοκες συσκευές ενός ηλεκτρικού συστήματος και γι' αυτό υπόκεινται σε πολλούς διαφορετικούς τύπους σφαλμάτων. Στη πολυπλοκότητά τους συμβάλει επί πλέον και το γεγονός ότι σημαντικά τμήματά τους είναι σε μηχανική κίνηση. Η εκλογή του συστήματος προστασίας πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά, γιατί ανεπιθύμητη λειτουργία του επιφέρει σχεδόν τα ίδια προβλήματα, όπως και η αποτυχία λειτουργίας του. Αυτό συμβαίνει επειδή η μη αναγκαία αποσύνδεση μίας μεγάλης γεννήτριας οδηγεί σε υπερφόρτιση του συστήματος, πιθανό αποσυγχρονισμό και άλλων γεννητριών και αποσύνδεση μεγάλων τμημάτων του συστήματος. Από την άλλη μεριά, η μη κατάλληλη εκκαθάριση βραχυκυκλωμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές ζημιές των γεννητριών.

Μία άλλη δυσκολία στην προστασία γεννητριών είναι το γεγονός ότι το άνοιγμα ενός διακόπτη για την απομόνωση της γεννήτριας με το σφάλμα δεν είναι σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετό. Για παράδειγμα η γεννήτρια συνεχίζει να τροφοδοτεί ισχύ σε ένα βραχυκύκλωμα με τη γη του τυλίγματος του στάτη και μετά την αποσύνδεση της, μέχρις ότου μηδενισθεί το πεδίο διέγερσης. Πολύ λίγες γεννήτριες έχουν ένα ακόμα τριφασικό διακόπτη για την αποσύνδεση του τυλίγματος από τον ουδέτερο και τη διακοπή του δρόμου βραχυκυκλώματος. Γι' αυτό, εκτός από τη λειτουργία του διακόπτη σύνδεσης, είναι απαραίτητος ο μηδενισμός του πεδίου, η διακοπή του ατμού, του νερού ή του καύσιμου στη συσκευή που δίνει τη μηχανική ενέργεια και σε μερικές περιπτώσεις η χρησιμοποίηση φρένου. Επί πλέον, σε μερικές μεγάλες γεννήτριες τροφοδοτείται διοξείδιο του άνθρακα για το σβήσιμο πιθανού τόξου.

Τα τυλίγματα των γεννητριών υφίστανται τους ίδιους τύπους βραχυκυκλωμάτων όπως των μετασχηματιστών, υπερθέρμανση που περιορίζει τη ζωή των μο-



Σχ. 10.8: Τυπική προστασία συστήματος γεννήτριας-μετασχηματιστή.

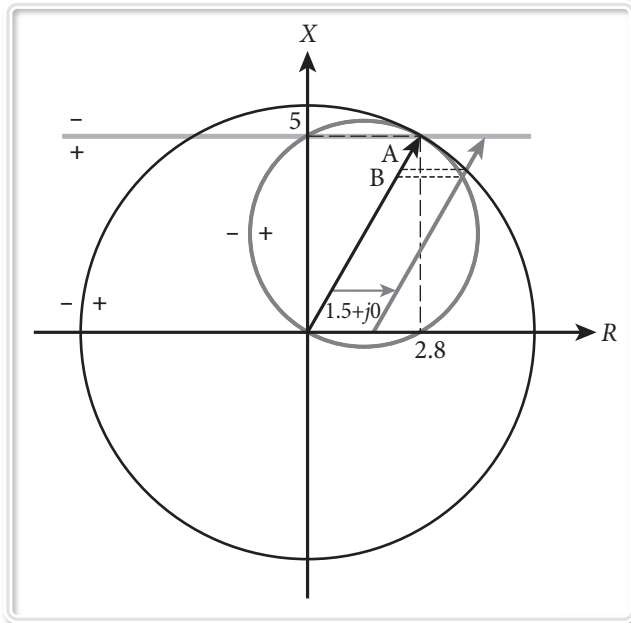
ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

* Ο πρώτος αριθμός των ασκήσεων δηλώνει το κεφάλαιο με το οποίο σχετίζεται η άσκηση.

ΑΣΚΗΣΗ 3+1

Στο διάγραμμα R-X σχεδιάστε το διάνυσμα μιας γραμμής με σύνθετη αντίσταση $2.8+j5 \Omega$. Στο ίδιο διάγραμμα δείξτε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των ηλεκτρονόμων σύνθετης αντίστασης, μιγαδικής αντίστασης και mho, κάθε ένας από τους οποίους μόλις λειτουργεί για μηδενική αντίσταση βραχυκυκλώματος στο τέλος της γραμμής. Υποθέστε ότι το κέντρο των χαρακτηριστικών λειτουργίας του ηλεκτρονόμου mho βρίσκεται πάνω στο διάνυσμα σύνθετης αντίστασης της γραμμής (τι σημαίνει αυτό;). Υπολογίστε (γεωμετρικά) το μέγιστο τμήμα γραμμής, που κάθε ηλεκτρονόμος μπορεί να προστατέψει, όταν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα οπουδήποτε στη γραμμή με αντίσταση τόξου $1.5+j0 \Omega$.

Λύση:



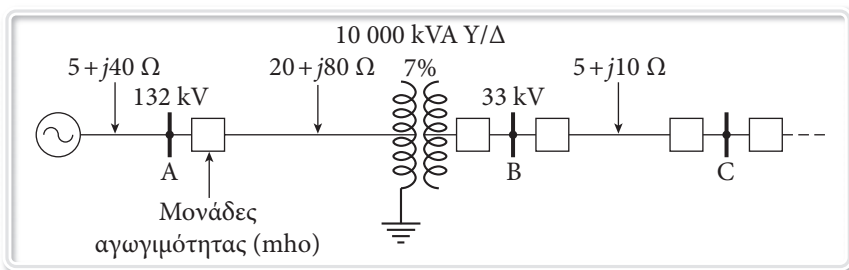
Η αντίσταση τόξου προστιθέμενη στη χαρακτηριστική βραχυκυκλώματος της γραμμής δημιουργεί τη νέα χαρακτηριστική βραχυκυκλώματος της γραμμής που

δείχνεται με το δεξί βέλος. Αυτή η μετατόπιση προκαλεί τα ακόλουθα αποτελέσματα:

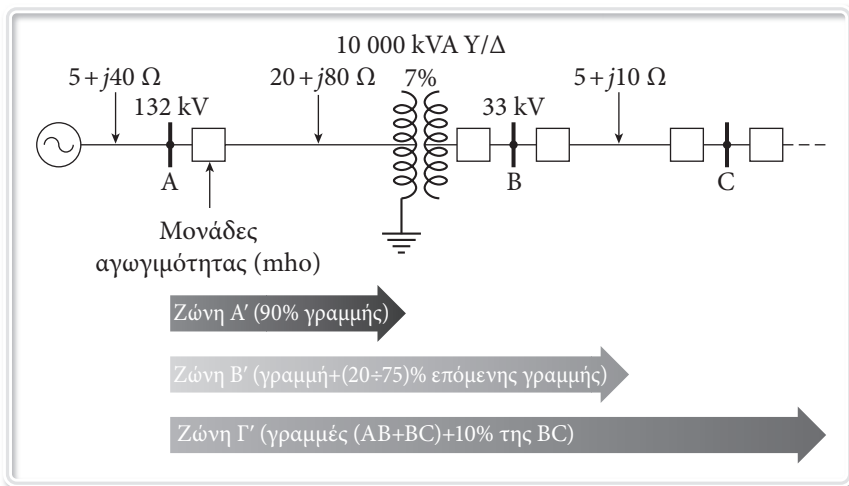
- 1) Ο ηλεκτρονόμος μιγαδικής αντίστασης εξακολουθεί να προστατεύει το σύνολο της γραμμής.
- 2) Ο ηλεκτρονόμος σύνθετης αντίστασης προστατεύει τη γραμμή μέχρι το σημείο A.
- 3) Ο ηλεκτρονόμος mho προστατεύει τη γραμμή μέχρι το σημείο B.

ΑΣΚΗΣΗ 3+2

Δίνεται το σύστημα που φαίνεται στο Σχήμα, που περιλαμβάνει δυο γραμμές μεταφοράς AB και BC και ηλεκτρονόμους απόστασης τύπου mho για την προστασία των γραμμών από φασικά βραχυκυκλώματα. Στο διάγραμμα $R-X$ δείξτε τις χαρακτηριστικές των τριών μονάδων mho για τον ηλεκτρονόμο που παρέχει πρωτεύουσα προστασία στη γραμμή AB και εφεδρική προστασία στη γραμμή BC. Υποθέστε ότι τα κέντρα των χαρακτηριστικών των μονάδων mho βρίσκονται σε ευθεία με κλίση 60° στο διάγραμμα $R-X$.



Λύση:



Ευρετήριο Όρων

Αγγλικών Όρων

B

Balanced current protection, 24

Burden, 25

Bushing device, 27

Bushing transformer, 25

C

Carrier pilot directional comparison, 150

Carrier pilot phase comparison, 150

Characteristic, 14

Consistency, 14

Coupling capacitor device, 27

D

Drop out or reset level, 14

F

Flag or target, 14

O

Operating force or torque, 14

P

Pick-up level, 14

R

Relay

– back-up, 14

– seal in, 14

Residual-current compensation, 121

Restraining force or torque, 14

S

Selectivity, 14

Sound-phase compensation, 121

T

Time

– clearing, 15

– operating, 15

Transverse differential current protection, 24

U

Unit protection, 23

Ελληνικών Όρων

A

Αντιστάθμιση υγιών φάσεων, 121
 Ασφάλεια, 98
 Αυτόματος διακόπτης με επανακλείσιμο, 103, 106

Γ

Γωνία μέγιστης ροπής, 41

Δ

Δακτυλιοειδής συσκευή, 27
 Διακόπτης ισχύος, 101
 Διαφορική προστασία με γραμμικούς συζεύκτες, 172
 Διαφορική προστασία τάσης, 168
 Δράση μνήμης, 57

Ε

Επαφές ανοικτές ή “a”, 30
 Επαφές κλειστές ή “b”, 30
 Επέκταση, 15
 Επιλεκτικότητα, 14
 Επίπεδο επαναφοράς, 14
 Επίπεδο επιλογής, 14
 Ευαισθησία, 15

Η

Ηλεκτρονόμος
 – αερίων Buchholz, 184
 – αιφνίδιας πίεσης, 185
 – αναλογικός ή πολωμένος ή ποσοστιαίος, 136, 167, 191
 – απόστασης, 23, 130-131
 – διαφορικός, 133
 – ενίσχυσης, 14
 – επισφράγισης, 14
 – ηλεκτρομαγνητικής έλξης, 29, 34
 – ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, 29
 – κατεύθυνσης, 22, 34, 35, 40, 43

– μιγαδικής αντίστασης, 53, 54
 – μονάδας εκκίνησης, 54, 55
 – ορισμένου χρόνου, 30, 31
 – προστασίας, 13
 – στιγμιαίος ή μεγάλης ταχύτητας, 30, 67
 – σύνθετης αγωγιμότητας ή mho, 54, 56
 – σύνθετης αντίστασης, 47
 – τροποποιημένης σύνθετης αντίστασης, 52
 – υποστήριξης, 14
 – χρόνου-υπερέντασης, 22, 31, 68-70, 74-77

Ηλεκτρονόμος οδηγού σύρματος

– αντιτιθεμένης τάσης, 144-146, 148-149
 – ΕΡ, 144
 – κυκλοφορούντος ρεύματος, 144, 145
 – ΣΡ, 141, 144

Ηλεκτρονόμος στατικός, 59

– ψηφιακός, 71
 – με τελεστικό ενισχυτή, 63
 – με τρανζίστορ, 60

Ηλεκτρονόμου χρονική καθυστέρηση, 30, 33

I

Ισχύς επιβάρυνσης, 25

M

Μέθοδος υπολειμματικού ρεύματος, 121
 Μεταβατική τάση αποκατάστασης, 102
 Μετασχηματιστής ρεύματος δακτυλιοειδής, 25
 Μετασχηματιστής ρεύματος, 24
 Μετασχηματιστής τάσης, 27

Ο

Οδηγός

- ενεργοποίησης, 140
 - μικροκυματικός, 139, 151
 - σύρματος, 139-141
 - φέροντος ρεύματος σύγκρισης κα-
τεύθυνσης, 150, 156
 - φέροντος ρεύματος σύγκρισης φά-
σης, 150, 151
- φέροντος ρεύματος, 139
φραγμού, 140

Π

Ποσότητα πόλωσης, 43

Προστασία γεννήτριας, 211

- στάτη-δρομέα, 222-224
- στο δρομέα, 219-221
- στο στάτη, 212-219

Προστασία γραμμών με

- ασφάλειες, 101, 105
- ενιαία προστασία, 133
- ηλεκτρονόμους
- - απόστασης, 109-112, 120-131
- - ορισμένου χρόνου, 81
- - στιγμιαίους, 85
- - υπερέντασης, 74, 83, 85, 87, 92,
97
- οδηγούς φέροντος ρεύματος, 150-
155
- οδηγούς σύρματος, 139-148
- παράδειγμα, 87-91

Προστασία εγκάρσια διαφορική, 24, 213

Προστασία ενιαία, 23

Προστασία ζώνης ζυγού, 163, 168, 172,
174, 178

Προστασία ισορροπημένου ρεύματος, 24

Προστασία κινητήρων, 228

- επαγωγικών στο στάτη, 230-232

Προστασία μετασχηματιστών, 181-189

Προστασία πρωτεύουσα, 15

Προστασία υπερθέρμανσης, 183, 218

Προστασία υποστήριξης ή βοηθητική, 17

Προστασίας ζώνη, 16

Ρ

Ρεύμα μαγνήτισης, 201

Ροπή ή δύναμη αναχαίτισης, 14

Ροπή ή δύναμη λειτουργίας, 14

Σ

Σημαία, 14

Συνέπεια, 14

Συσκευή συζευγμένων πυκνωτών, 27

Συσκευή συμμετρική, 40

Υ

Υπερεπέκταση, 57

Χ

Χαρακτηριστική, 14

Χρόνος εκκαθάρισης, 15

Χρόνος λειτουργίας, 15

Χρόνος σύγκρισης, 15