



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Εργαστηριακό σύστημα προστασίας & εποπτείας  
μονάδας παραγωγής & μεταφοράς  
ηλεκτρικής ενέργειας – Μελέτη και έλεγχος  
προστασίας του μετασχηματιστή ανύψωσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος Α. Παπασπηλιωτόπουλος

Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Εργαστηριακό σύστημα προστασίας & εποπτείας  
μονάδας παραγωγής & μεταφοράς  
ηλεκτρικής ενέργειας – Μελέτη και έλεγχος  
προστασίας του μετασχηματιστή ανύψωσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος Α. Παπασπηλιωτόπουλος

**Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές**

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5<sup>η</sup> Ιουνίου 2012.

.....  
Γεώργιος Κορρές  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Κωνσταντίνος Βουρνάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Πάυλος Γεωργιλάκης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2012

.....  
Βασίλειος Α. Παπασπηλιωτόπουλος

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

Copyright © Βασίλειος Α. Παπασπηλιωτόπουλος, 2012

Με 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 τον συγγραφέα.

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

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια απόκτησης του διπλώματος Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Η/Υ. Η εκπόνησή της ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2011 και ολοκληρώθηκε το Μάιο του 2012. Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή, ο τρόπος χρήσης και οι δοκιμές επί του συστήματος προστασίας και επιτήρησης μονάδας παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, που βρίσκεται στο εργαστήριο Σ.Η.Ε. του τμήματος ΗΜΜΥ και υλοποιήθηκε από την εταιρεία PROT.A.S.I.S SA.

Στην αρχή της εργασίας και συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο, κάνουμε εκτενή αναφορά στα διάφορα είδη και σχήματα προστασιών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, αναλύοντας τη χρησιμότητα και τον τρόπο λειτουργίας τους.

Στη συνέχεια και στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφουμε αναλυτικά το εργαστηριακό σύστημα προστασίας μονάδας παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφερόμαστε σε όλες τις συνιστώσες του συστήματος, στον τρόπο επικοινωνίας των συσκευών και παραθέτουμε χρήσιμες πληροφορίες για τον ορθό χειρισμό του.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύουμε τις δυνατότητες και τα στοιχεία που διαθέτει ο ψηφιακός ηλεκτρονόμος SEL-587 του συστήματος, με στόχο να κατανοήσει ο αναγνώστης πλήρως τον τρόπο λειτουργίας του. Επιδίωξή μας είναι να γίνει σαφής ο τρόπος που παρέχει διαφορική προστασία και προστασία υπερέντασης ο εν λόγω ηλεκτρονόμος.

Στο σημείο αυτό, μεταβαίνουμε στην αξιοποίηση του εργαστηριακού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο 4, πραγματοποιούμε μελέτη βραχυκυκλωμάτων κατά IEC 60909 (2001) στο δίκτυο που έχουμε ορίσει να επιτηρεί το εργαστηριακό μας σύστημα, με τη βοήθεια του προγράμματος NEPLAN. Εν συνεχεία, με χρήση των αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής υλοποιούμε μελέτη προστασίας υπερέντασης για το δίκτυό μας. Επιπλέον, υπολογίζουμε όλες τις απαραίτητες παραμέτρους ρύθμισης του ηλεκτρονόμου SEL-587, με σκοπό την πλήρη και ολοκληρωμένη προστασία του μετασχηματιστή ανύψωσης, που διαθέτει η μονάδα παραγωγής μας. Κλείνοντας το κεφάλαιο 4, παραθέτουμε ένα συνοπτικό και περιεκτικό οδηγό χρήσης του προγράμματος AcSELerator® QuickSet, μέσω του οποίου στέλνουμε τις ρυθμίσεις που υπολογίσαμε στον SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής μας εργασίας, ελέγχουμε την ορθότητα των ρυθμίσεων που αφορούν τον ηλεκτρονόμο SEL-587, μέσω δοκιμών που διενεργήσαμε, υπό συνθήκες βραχυκυκλωμάτων σε διάφορα σημεία του δικτύου μας. Οι δοκιμές αυτές έγιναν με τη βοήθεια της συσκευής OMICRON CMC 356, η οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον στις εφαρμογές δευτερογενούς ελέγχου των σχημάτων προστασίας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και στη βιομηχανία. Τέλος, συγκρίνουμε τους χρόνους λειτουργίας του SEL-587 που προέκυψαν από τις δοκιμές με τους θεωρητικά αναμενόμενους.

### Λέξεις Κλειδιά

Εργαστηριακό σύστημα προστασίας, προστασία υπερέντασης, διαφορική προστασία, προστασία μετασχηματιστή, ψηφιακός ηλεκτρονόμος, μελέτη βραχυκυκλωμάτων, ρυθμίσεις ηλεκτρονόμου, δευτερογενής έλεγχος

# **ABSTRACT**

---

This diploma thesis was an important part of my studies in Electrical and Computer Engineering. The elaboration of this work began in October 2011 and was completed in May 2012. Its purpose is to present and describe the manner of use and the application of the power plant and transmission protection system, which is located in the Electric Energy Systems Laboratory of the ECE department and was designed by the company PROT.A.S.I.S SA.

Initially and specifically in the first chapter, we make extensive mention to the various types and elements of protection schemes used in modern power systems, analyzing their applications.

In the second chapter, we describe in detail the power plant and transmission protection system. We refer to all system devices, explain the way that they communicate with each other and give useful information about its proper manipulation.

In the third chapter, we analyze the features and elements of digital relay SEL-587. Our aim is to make clear the manner this relay provides differential and overcurrent protection.

In chapter 4, we calculate short-circuits currents in different places of our power plant and transmission line, according to the IEC 60909 (2001), with the help of the software NEPLAN. Using these results, we implement overcurrent protection study for our network. Furthermore, we calculate all the necessary setting parameters of the relay SEL-587, in order to achieve a complete protection scheme of the step-up transformer, which has our power plant. Closing the fourth chapter, we present a concise instruction manual of the software AcSELerator® QuickSet, which was used to send the calculated settings parameters to SEL-587.

In the fifth and final chapter of our diploma thesis, we check the correctness of our settings concerning the relay SEL-587, through secondary testing. These tests were carried out by OMICRON CMC 356 device, which is widely used in applications that concern protection systems commissioning. Finally, we compare the operating times of the SEL-587, obtained from tests, with the theoretically expected.

## **Keywords**

Laboratory protection system, overcurrent protection, differential protection, transformer protection, digital relays, short circuit study, relay settings, secondary testing, commissioning

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

---

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ.κ. Κορρέ Γεώργιο, για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ενασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την ιδανική συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Η βοήθεια και η επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε ήταν άκρως πολύτιμα εφόδια για την επιτυχή ολοκλήρωση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω το συμφοιτητή και συνεργάτη μου, Καραλέξη Δημήτρη, για τη βοήθεια, την επικοινωνιακή ανταλλαγή πληροφοριών και απόψεων, καθώς και τη συμπαράσταση που μου παρείχε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Κλείνοντας, ευχαριστώ θερμά τους διπλωματούχους ηλεκτρολόγους μηχανικούς της εταιρείας PROT.A.S.I.S SA, Γιώργο Αρβανίτη και Νίκο Κάρλοβιτς, για την πολύτιμη υποστήριξη τους κατά τη διάρκεια υλοποίησης των επιμέρους σταδίων της διπλωματικής εργασίας μου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Σ.Η.Ε.....1

<b>1.1</b>	<b>Εισαγωγικά στοιχεία .....</b>	<b>1</b>
1.1.1	Σκοπός και ρόλος της προστασίας ( <i>Role of protection</i> ).....	1
1.1.2	Ζώνες προστασίας ( <i>Protection zones</i> ) .....	1
1.1.3	Παράγοντες αξιολόγησης της προστασίας ( <i>Quality factors of protection</i> ).....	2
1.1.4	Είδη σφαλμάτων ( <i>Types of faults</i> ) .....	2
1.1.5	Ηλεκτρονόμοι ( <i>Relays</i> ) .....	3
1.1.6	Μετασχηματιστές έντασης και τάσης ( <i>Current transformers CTs, Voltage or Potential transformers VTs or PTs</i> ) .....	5
<b>1.2</b>	<b>Είδη Προστασίας (Protection principles).....</b>	<b>7</b>
1.2.1	Προστασία κατεύθυνσης.....	7
1.2.2	Προστασία υπερέντασης με ή χωρίς στοιχεία κατεύθυνσης.....	10
1.2.3	Διαφορική προστασία.....	13
1.2.4	Προστασία απόστασης .....	14
<b>1.3</b>	<b>Προστασία Εξοπλισμού Σ.Η.Ε. (Protection Of Power Apparatus) .....</b>	<b>17</b>
1.3.1	Προστασία γεννήτριας ( <i>Generator protection</i> ).....	18
1.3.1.1	Προστασίες στάτη .....	19
1.3.1.2	Προστασίες δρομέα.....	24
1.3.1.3	Προστασίες έναντι μηχανικών καταπονήσεων.....	25
1.3.2	Προστασία μετασχηματιστή ισχύος ( <i>Power transformer protection</i> ).....	28
1.3.3	Προστασία γραμμών μεταφοράς και διανομής ( <i>Transmission and distribution line protection</i> ) .....	37
1.3.3.1	Προστασία εναέριων γραμμών διανομής.....	37
1.3.3.2	Προστασία εναέριων γραμμών μεταφοράς .....	38
1.3.4	Προστασία ζυγών ( <i>Bus protection</i> ).....	43
1.3.5	Προστασία κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος ( <i>AC motor protection</i> ) .....	50
1.3.5.1	Κινητήρες μικρού και μεσαίου μεγέθους <i>XT</i> .....	51
1.3.5.2	Κινητήρες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους <i>MT</i> .....	52
1.3.6	Προστασία πηνίων ( <i>Reactor protection</i> ) .....	55
1.3.6.1	Πηνία αέρος ( <i>Dry-type or air-core reactors</i> ).....	55
1.3.6.2	Πηνία ελαίου ( <i>Oil-immersed reactors</i> ).....	58
1.3.7	Προστασία πυκνωτών ( <i>Capacitor bank protection</i> ) .....	58
<b>1.4</b>	<b>Προστασία έναντι υπερτάσεων (Overvoltage protection).....</b>	<b>64</b>
1.4.1	Είδη υπερτάσεων.....	64
1.4.2	Μέσα προστασίας έναντι υπερτάσεων .....	64
1.4.2.1	Αγωγοί προστασίας (γης) σε εναέριες γραμμές μεταφοράς <i>YT</i> και <i>YYT</i> ( <i>overhead earth or ground wires</i> ).....	65



1.4.2.2	Αλεξικέραυνα ( <i>surge or lightning arresters</i> ).....	65
1.4.2.3	Διάκενα ( <i>spark gaps</i> ).....	69
<b>1.5</b>	<b>Μέθοδοι γείωσης Σ.Η.Ε. (System grounding).....</b>	<b>69</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b>		
<b>ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....</b>		<b>71</b>
<b>2.1</b>	<b>Εισαγωγή – Γενική παρουσίαση και περιγραφή του συστήματος .....</b>	<b>71</b>
<b>2.2</b>	<b>Εκκίνηση και τερματισμός εργαστηριακού συστήματος προστασίας.....</b>	<b>81</b>
2.2.1	Διαδικασία εκκίνησης .....	81
2.2.2	Διαδικασία τερματισμού.....	81
<b>2.3</b>	<b>Περιγραφή των συσκευών που διαθέτει το εργαστηριακό σύστημα .....</b>	<b>82</b>
2.3.1	<i>SEL 3354: Ενσωματωμένη υπολογιστική πλατφόρμα αυτοματοποίησης.....</i>	<i>82</i>
2.3.1.1	Εισαγωγή.....	82
2.3.1.2	Γενική περιγραφή.....	82
2.3.1.3	<i>SEL SysMon</i> .....	85
2.3.1.4	Εγκατεστημένο λογισμικό .....	85
2.3.2	Μονάδα PC.....	89
2.3.2.1	Εισαγωγή.....	89
2.3.2.2	Περιγραφή υλικού & λογισμικού.....	89
2.3.2.3	Χρήση του <i>Zenon Runtime (SCADA)</i> .....	90
2.3.2.4	Εισαγωγή στο <i>Zenon Editor</i> .....	96
2.3.3	<i>SEL-311B: Ψηφιακός ηλεκτρονόμος προστασίας γραμμών μεταφοράς .....</i>	<i>105</i>
2.3.3.1	Εισαγωγή.....	105
2.3.3.2	Ακριβές μοντέλο του ηλεκτρονόμου .....	107
2.3.3.3	Στοιχεία προστασίας του ηλεκτρονόμου ( <i>Protection elements</i> ).....	108
2.3.3.4	Σχέδια όψεων ηλεκτρονόμου .....	110
2.3.4	<i>SEL-587: Ψηφιακός ηλεκτρονόμος διαφορικής προστασίας – προστασίας υπερέντασης .....</i>	<i>111</i>
2.3.4.1	Εισαγωγή.....	111
2.3.4.2	Ακριβές μοντέλο του ηλεκτρονόμου .....	113
2.3.4.3	Στοιχεία προστασίας του ηλεκτρονόμου.....	113
2.3.4.4	Σχέδια όψεων ηλεκτρονόμου .....	115
2.3.5	<i>SEL-300G: Ψηφιακός ηλεκτρονόμος προστασίας σύγχρονης γεννήτριας .....</i>	<i>116</i>
2.3.5.1	Εισαγωγή.....	116
2.3.5.2	Ακριβές μοντέλο του ηλεκτρονόμου .....	118
2.3.5.3	Περίληψη τρόπου λειτουργίας ηλεκτρονόμου.....	119
2.3.5.4	Στοιχεία προστασίας του ηλεκτρονόμου ( <i>Protection elements</i> ).....	121
2.3.5.5	Σχέδια όψεων ηλεκτρονόμου .....	130
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ SEL-587 .....</b>		<b>132</b>
<b>3.1</b>	<b>Εισαγωγή .....</b>	<b>132</b>

3.1.1	Διαφορική προστασία.....	132
3.1.2	Προστασία υπερέντασης.....	132
3.1.3	Προγραμματιζόμενες επαφές λογικών εξόδων.....	132
3.1.4	Προστασία από τον κορεσμό των μετασχηματιστών έντασης.....	133
<b>3.2</b>	<b>Περιγραφή και ρυθμίσεις στοιχείων ηλεκτρονόμου (Περιοχή SET Command στο setting sheet) .....</b>	<b>133</b>
3.2.1	Πεδίο <i>General Data</i> .....	133
3.2.3	Πεδίο <i>Input Assignment</i> .....	137
3.2.4	Πεδίο <i>Differential Elements</i> .....	137
3.2.5	Πεδία <i>Winding 1, 2 Phase, Negative-Sequence, Residual Overcurrent Elements</i> .....	143
3.2.5.1	Στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης ( <i>Instantaneous overcurrent element</i> ).....	143
3.2.5.2	Στοιχείο υπερέντασης σταθερού χρόνου ( <i>Definite-time overcurrent element</i> ).....	144
3.2.5.3	Στοιχείο υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου ( <i>Inverse-time overcurrent element</i> ).....	144
3.2.5.4	Ρυθμίσεις παραμέτρων .....	144
3.2.6	Πεδίο <i>Power System Data</i> .....	145
<b>3.3</b>	<b>Λογικές ενεργοποίησης (tripping), κλεισίματος (closing) και στόχευσης (targeting) – Περιγραφή των αντίστοιχων ρυθμίσεων (Περιοχή SET L Command (Logic) στο setting sheet).....</b>	<b>146</b>
3.3.1	<i>Relay Word Bits</i> .....	146
3.3.2	Εξισώσεις ελέγχου <i>SELogic</i> .....	148
3.3.3	Λογικές λειτουργίες ηλεκτρονόμου .....	149
3.3.3.1	Λειτουργίες ενεργοποίησης ( <i>tripping functions</i> ) – Πεδίο <i>Tripping logic</i> .....	149
3.3.3.2	Λειτουργίες κλεισίματος ( <i>closing functions</i> ) – Πεδίο <i>Input assignment</i> .....	150
3.3.3.3	Λειτουργίες χρονικών ( <i>timers functions</i> ) – Πεδίο <i>Logic variables</i> .....	150
3.3.3.4	Λειτουργίες επαφών εξόδου ( <i>output contact functions</i> ) – Πεδίο <i>Output contact logic</i> .....	151
3.3.4	Γενικές οδηγίες για την ρύθμιση των πεδίων της περιοχής <i>SET L Command (Logic)</i> .....	151
<b>3.4</b>	<b>Επικοινωνία χρήστη – ηλεκτρονόμου (Operator Interface).....</b>	<b>151</b>
3.4.1	Τρόποι επικοινωνίας.....	151
3.4.2	Επικοινωνία μέσω της εμπρόσθιας όψης του ηλεκτρονόμου.....	151
3.4.2.1	Φωτεινές ενδείξεις ( <i>LEDs</i> ).....	152
3.4.2.2	Κομβία χειρισμού .....	152
<b>3.5</b>	<b>Αναφορές γεγονότων (Event Reports) .....</b>	<b>153</b>
3.5.1	Παραγωγή αναφοράς γεγονότος – Πεδίο <i>Event Report Trigger Condition Logic</i> .....	153
3.5.2	Περιγραφή περίληψης αναφοράς γεγονότος ( <i>event report summary</i> ) .....	154
3.5.3	Περιγραφή αναφοράς γεγονότος .....	154

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ – ΡΥΘΜΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ SEL-587.....</b>	<b>158</b>
<b>4.1 Το πρότυπο IEC 60909 (2001) .....</b>	<b>158</b>
4.1.1 IEC 60909-0: Short-circuit currents in three-phase ac systems – Calculation of currents.....	158
<b>4.2 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων στο Σ.Η.Ε. που επιτηρεί το εργαστηριακό σύστημα προστασίας .....</b>	<b>161</b>
4.2.1 Απεικόνιση του Σ.Η.Ε. ....	161
4.2.2 Παράμετροι στοιχείων του Σ.Η.Ε. ...	162
4.2.3 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης.....	164
<b>4.3 Μελέτη προστασίας υπερέντασης .....</b>	<b>168</b>
4.3.1 Υπολογισμός ρυθμίσεων στοιχείων υπερέντασης φάσης (phase overcurrent elements, 50P/51P).....	169
4.3.1.1 Υπολογισμός ρευμάτων ρύθμισης ( $I_{pu}$ ).....	170
4.3.1.2 Υπολογισμός χρονικών σταθερών (TD).....	172
4.3.2 Υπολογισμός ρυθμίσεων στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας (negative-sequence overcurrent elements, 50Q/51Q).....	176
4.3.3 Υπολογισμός ρυθμίσεων στοιχείων υπερέντασης ουδετέρου (residual overcurrent elements, 50N/51N).....	178
<b>4.4 Ρυθμίσεις ηλεκτρονόμου SEL-587 (βάσει του setting sheet) .....</b>	<b>181</b>
4.4.1 Περιοχή SET Command.....	181
4.4.1.1 Πεδίο General Data .....	181
4.4.1.2 Πεδίο Current TAPs.....	182
4.4.1.3 Πεδίο Input Assignment .....	182
4.4.1.4 Πεδίο Differential Elements .....	182
4.4.1.5 Πεδίο Winding 1 Phase Overcurrent Elements.....	182
4.4.1.6 Πεδίο Winding 1 Negative-Sequence Overcurrent Elements.....	183
4.4.1.7 Πεδίο Winding 1 Residual Overcurrent Elements .....	183
4.4.1.8 Πεδίο Winding 2 Phase Overcurrent Elements.....	183
4.4.1.9 Πεδίο Winding 2 Negative-Sequence Overcurrent Elements.....	183
4.4.1.10 Πεδίο Winding 2 Residual Overcurrent Elements .....	184
4.4.1.11 Πεδίο Miscellaneous Timers .....	184
4.4.1.12 Πεδίο Power System Data.....	184
4.4.2 Περιοχή SET L Command (Logic).....	184
4.4.2.1 Πεδίο Logic Variables.....	184
4.4.2.2 Πεδίο Tripping Logic .....	184
4.4.2.3 Πεδίο Event Report Trigger Condition Logic .....	184
4.4.2.4 Πεδίο Output Contact Logic .....	185
4.4.3 Περιοχή SET P Command (Port Settings).....	185
4.4.3.1 Πεδίο Protocol and Communications Settings.....	185

<b>4.5</b>	<b>Περιγραφή του προγράμματος AcSELarator® Quickset .....</b>	<b>185</b>
4.5.1	Εισαγωγή .....	185
4.5.2	Περιβάλλον εργασίας .....	186
4.5.3	Μενού προγράμματος.....	188
4.5.3.1	File menu (μενού αρχείου) .....	188
4.5.3.2	Edit Menu (μενού επεξεργασίας) .....	191
4.5.3.3	View menu (μενού όψης) .....	192
4.5.3.4	Communications Menu (μενού επικοινωνιών).....	193
4.5.3.5	Tools Menu (μενού εργαλείων).....	196
4.5.3.6	Windows Menu (μενού παραθύρων), Help menu (μενού βοήθειας).....	198
4.5.4	Δημιουργία αρχείου ρύθμισης, επικοινωνία και μεταφορά ρυθμίσεων στον ηλεκτρονόμο SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας, μέσω του AcSELarator® QuickSet .....	198
4.5.4.1	Δημιουργία αρχείου ρύθμισης.....	198
4.5.4.2	Επικοινωνία με τον SEL-587.....	200
4.5.4.3	Μεταφορά ρυθμίσεων στον SEL-587.....	201

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....202**

<b>5.1</b>	<b>Συσκευή OMICRON CMC 356 .....</b>	<b>202</b>
5.1.1	Γενική περιγραφή .....	202
5.1.2	Συνδεσμολογία συσκευής OMICRON CMC 356 με τους ακροδέκτες του SEL-587 .....	204
<b>5.2</b>	<b>Σενάρια δοκιμών.....</b>	<b>208</b>
5.2.1	Τριφασικό βραχυκύκλωμα εντός της διαφορικής ζώνης προστασίας του SEL-587 .....	209
5.2.2	Διφασικό βραχυκύκλωμα εντός στους διαφορικής ζώνης προστασίας του SEL-587 .....	212
5.2.3	Τριφασικό βραχυκύκλωμα στο 50% της γραμμής μεταφοράς.....	215
5.2.4	Μονοφασικό βραχυκύκλωμα προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς.....	217
5.2.5	Διφασικό βραχυκύκλωμα στο 50% της γραμμής μεταφοράς .....	219
5.2.6	Διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς .....	221
<b>5.3</b>	<b>Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών χρόνων λειτουργίας του ηλεκτρονόμου SEL-587.....</b>	<b>224</b>
5.3.1	Σενάρια λειτουργίας διαφορική προστασίας (δοκιμές 1,2).....	224
5.3.2	Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης φάσης σε τριφασικό βραχυκύκλωμα (δοκιμή 3) .....	224
5.3.3	Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης ουδετέρου σε μονοφασικό βραχυκύκλωμα προς γη (δοκιμή 4) .....	225
5.3.4	Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας σε διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη (δοκιμή 5).....	225

5.3.5	Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης ουδετέρου σε διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη (δοκιμή 6) .....	226
5.3.6	Πίνακας αποτελεσμάτων .....	226
<b>5.4</b>	<b>Παρουσίαση και περιγραφή παραδειγμάτων Event Report του ηλεκτρονόμου SEL-587.....</b>	<b>227</b>
5.4.1	Παλμογραφήματα (oscillographs) .....	227
5.4.2	Αναλυτικές αναφορές γεγονότος.....	230
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>		<b>237</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>		<b>255</b>

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

- Σχήμα 1.1:** Παράδειγμα επιλογής ζωνών προστασίας 1<sup>ης</sup> βαθμίδας [6]
- Σχήμα 1.2:** Δομή στατικού ηλεκτρονόμου υπερέντασης και κυματομορφές διαφόρων μεγεθών του [7]
- Σχήμα 1.3:** Μπλοκ διάγραμμα βασικών λειτουργιών ψηφιακών ηλεκτρονόμων [7]
- Σχήμα 1.4:** Συνδεσμολογία ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης με πόλωση τάσης [6]
- Σχήμα 1.5:** Συνδεσμολογία ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης με πόλωση έντασης [6]
- Σχήμα 1.6:** Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης [8]
- Σχήμα 1.7:** Χαρακτηριστική λειτουργίας στιγμιαίου ηλεκτρονόμου υπερέντασης
- Σχήμα 1.8:** Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμου υπερέντασης σταθερού χρόνου
- Σχήμα 1.9:** Οικογένεια χαρακτηριστικών λειτουργίας ηλεκτρονόμου υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου
- Σχήμα 1.10:** Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης [31]
- Σχήμα 1.11:** Συνδεσμολογία κλασικού διαφορικού ηλεκτρονόμου (απεικόνιση μιας φάσης) [4]
- Σχήμα 1.12:** Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμου διαφορικής προστασίας [8]
- Σχήμα 1.13:** Εφαρμογή ηλεκτρονόμου απόστασης [6]
- Σχήμα 1.14:** Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμων απόστασης [8]
- Σχήμα 1.15:** Χαρακτηριστικές λειτουργίας, σε διάγραμμα R – X, ηλεκτρονόμων απόστασης: (a) τύπου σύνθετης αντίστασης (impedance), (b) τύπου mho, (c) τύπου offset-mho, (d) τύπου lens, (e) τύπου simple blinders, (f) τύπου επαγωγικής αντίστασης (reactance) [6]
- Σχήμα 1.16:** Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμου απόστασης τύπου τετραπλεύρου (quadrilateral distance relay) [6]
- Σχήμα 1.17:** Διαφορική προστασία γεννήτριας σε συνδεσμολογία: (α) αστέρα, (β) τρίγωνο [6]
- Σχήμα 1.18:** Διαφορική προστασία γεννήτριας με παράλληλους κλάδους στα τυλίγματα ίδιας φάσης [6]
- Σχήμα 1.19:** Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου με το όριο αντοχής της γεννήτριας [11]
- Σχήμα 1.20:** Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου Volts/Hertz (a) με διπλό στοιχείο σταθερού χρόνου, (β) με συνδυασμό σταθερού και αντιστρόφου χρόνου [35]
- Σχήμα 1.21:** Σύστημα προστασιών σε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [24]
- Σχήμα 1.22:** Κύκλωμα ελέγχου προστασιών της μονάδας παραγωγής του σχήματος 1.21 [24]
- Σχήμα 1.23:** Ρεύμα μαγνήτισης μετασχηματιστή (α) σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, (β) κατά τη ζεύξη [9]
- Σχήμα 1.24:** Συνδέσεις ηλεκτρονόμου διαφορικής προστασίας σε μετασχηματιστή ισχύος συνδεσμολογίας τρίγωνο – αστέρα [6]
- Σχήμα 1.25:** Χαρακτηριστικές καμπύλες αντοχής M/Σ σε βραχυκυκλώματα [6]
- Σχήμα 1.26:** Προστασία έναντι σφαλμάτων γης με ηλεκτρονόμο υπερέντασης ουδετέρου και διαφορικό ηλεκτρονόμο γης [25]
- Σχήμα 1.27:** Προστασία έναντι σφαλμάτων γης με ηλεκτρονόμο υπερέντασης ουδετέρου και ηλεκτρονόμο υπερέντασης ουδετέρου με στοιχείο κατεύθυνσης [25]
- Σχήμα 1.28:** Εσωτερική δομή ηλεκτρονόμου Buchholz
- Σχήμα 1.29:** Λειτουργία προστασίας κελύφους του μετασχηματιστή κατά την εκδήλωση (α) εσωτερικού, (β) εξωτερικού σφάλματος [4]
- Σχήμα 1.30:** Ζώνες προστασίας ηλεκτρονόμων απόστασης (α) διάγραμμα απόστασης – χρόνου λειτουργίας, (β) χαρακτηριστικές τύπου mho σε διάγραμμα R – X για τους ηλεκτρονόμους των ζυγών G, H [6]
- Σχήμα 1.31:** Εφαρμογή συνδυασμού ηλεκτρονόμων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου με στιγμιαίας λειτουργίας σε ακτινικό κομμάτι συστήματος μεταφοράς [7]
- Σχήμα 1.32:** Τυπική κατασκευή καλωδίου – πιλότου [7]
- Σχήμα 1.33:** Κύκλωμα διαφορικής προστασίας με αγωγούς – πιλότους [7]
- Σχήμα 1.34:** Τυπική κατασκευή καλωδίου με οπτικές ίνες [7]
- Σχήμα 1.35:** Τρόποι εγκατάστασης οπτικών ινών επί των γραμμών μεταφοράς για τη μετάδοση πληροφοριών [7]
- Σχήμα 1.36:** Είδη ζυγών με τις διαφορικές ζώνες προστασίας τους, (α) απλός Δ.Ι. – απλός ζυγός, (β) απλός Δ.Ι. – κύριος ζυγός με ζυγό μεταφοράς, (γ) απλός Δ.Ι. – διπλός ζυγός με διακόπτη παράκαμψης, (δ) δακτυλιδοειδής ζυγός [6]
- Σχήμα 1.37:** Εφαρμογή διαφορικής προστασίας πολλαπλών πηνίων αναστολής [15]
- Σχήμα 1.38:** Κύκλωμα λειτουργίας ηλεκτρονόμου τάσης υψηλής σύνθετης αντίστασης [7]

**Σχήμα 1.39:** Προστασία ζυγού με γραμμικά πηνία ζεύξης και συμπεριφορά (α) σε εξωτερικό, (β) σε εσωτερικό σφάλμα [4]

**Σχήμα 1.40:** Διαφορική προστασία με ηλεκτρονόμο υπερέντασης [15]

**Σχήμα 1.41:** Παράδειγμα διαφορικής προστασίας με σύγκριση κατεύθυνσης [15]

**Σχήμα 1.42:** (α) Παράδειγμα εφαρμογής μερικής διαφορικής προστασίας, (β) συμπεριφορά για εσωτερικό σφάλμα, (γ) συμπεριφορά για εξωτερικό σφάλμα [6]

**Σχήμα 1.43:** Προστασία γης του εξοπλισμού ενός ζυγού [8]

**Σχήμα 1.44:** Σχήμα προστασίας κινητήρων [4]

**Σχήμα 1.45:** Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα επαγωγής [6]

**Σχήμα 1.46:** Παράδειγμα προστασίας υπερέντασης κινητήρα επαγωγής [6]

**Σχήμα 1.47:** Παράδειγμα εφαρμογής διαφορικής προστασίας σε κινητήρα επαγωγής [6]

**Σχήμα 1.48:** Προστασίες κινητήρα επαγωγής [6]

**Σχήμα 1.49:** Εγκατάσταση πηνίων αέρος και μετασχηματιστή γείωσης στο τριτεύον μετασχηματιστή ισχύος με το διακόπτη χειρισμού (α) στην πλευρά τροφοδοσίας, (β) στην πλευρά του ουδέτερου [16]

**Σχήμα 1.50:** Σχήματα προστασίας πηνίων έναντι σφαλμάτων φάσης [27]

**Σχήμα 1.51:** Σχήμα προστασίας πηνίων για σφάλματα μεταξύ των σπειρών τους [27]

**Σχήμα 1.52:** Πυκνωτική μονάδα (Capacitor unit) [19]

**Σχήμα 1.53:** Εξωτερικά ασφαλισμένη συστοιχία πυκνωτών [19]

**Σχήμα 1.54:** Εσωτερικά ασφαλισμένη συστοιχία πυκνωτών [19]

**Σχήμα 1.55:** Σχήμα προστασίας έναντι ασύμμετρων καταστάσεων σε συστοιχία πυκνωτών (α) με αγείωτο ουδέτερο κόμβο, (β) με γειωμένο ουδέτερο κόμβο [19]

**Σχήμα 1.56:** Εσωτερικό σφάλμα μεταξύ φάσεων συστοιχίας (Mid-rack phase to phase fault) [19]

**Σχήμα 1.57:** Προστασία υπερέντασης συστοιχίας πυκνωτών [7]

**Σχήμα 2.1:** Μονάδα παραγωγής – μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

**Σχήμα 2.2:** Παράδειγμα εφαρμογής συσκευής SEL-3354 [32]

**Σχήμα 2.3:** Λειτουργίες ηλεκτρονόμου SEL-311B [33]

**Σχήμα 2.4:** Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείων απόστασης του SEL-311B [33]

**Σχήμα 2.5:** Απεικόνιση της χαρακτηριστικής λειτουργίας του ηλεκτρονόμου, με ενεργοποιημένη την παράμετρο load encroachment [33]

**Σχήμα 2.6:** Χαρακτηριστικές καμπύλες στοιχείων υπερέντασης στιγμιαίας λειτουργίας, σταθερού χρόνου και αντιστρόφου χρόνου, που χρησιμοποιεί ο SEL-311B [33]

**Σχήμα 2.7:** Παράδειγμα εφαρμογής του SEL-587 και λειτουργίες που διαθέτει [34]

**Σχήμα 2.8:** Χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικού στοιχείου αναστολής, με διπλή κλίση [34]

**Σχήμα 2.9:** Διαδικασία μέτρησης και αντιστάθμισης διαφορικών ρευμάτων τυλίγματος 1 [34]

**Σχήμα 2.10:** Σχήμα πρωτεύουσας και δευτερεύουσας προστασίας μεγάλης γεννήτριας, με χρήση του SEL-300G [35]

**Σχήμα 2.11:** Παράδειγμα συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων της γεννήτριας με τις ac εισόδους του SEL-300G [35]

**Σχήμα 2.12:** Θερμική προστασία γεννήτριας μέσω μονάδας RTD της σειράς SEL-2600 [35]

**Σχήμα 2.13:** Σχήμα προστασίας γης του κυκλώματος διέγερσης γεννήτριας [35]

**Σχήμα 2.14:** Στάδια επεξεργασίας ηλεκτρονόμου SEL-300G, σε έναν κύκλο λειτουργίας [35]

**Σχήμα 2.15:** Λειτουργικό διάγραμμα ηλεκτρονόμου SEL-300G [35]

**Σχήμα 2.16:** Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου απώλειας πεδίου, με αρνητική δεύτερη ζώνη [35]

**Σχήμα 2.17:** Περιοχές κάλυψης του στάτη από τα στοιχεία 64G1, 64G2 [35]

**Σχήμα 2.18:** Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου 78, με ένα ζευγάρι παρωπίδων [35]

**Σχήμα 2.19:** Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου προστασίας συχνότητας-χρόνου [35]

**Σχήμα 2.20:** Χαρακτηριστική λειτουργίας τύπου offset mho πρώτης ζώνης με αποκλεισμένη περιοχή κανονικής λειτουργίας [35]

**Σχήμα 3.1:** Παράδειγμα συνδεσμολογίας μετασχηματιστή ισχύος και μετασχηματιστών έντασης

**Σχήμα 3.2:** Χαρακτηριστική λειτουργίας τριφασικού στοιχείου 87 διαφορικής προστασίας

**Σχήμα 3.3:** Κύκλωμα λογικής αποφάσεων του διαφορικού στοιχείου 87

**Σχήμα 3.4:** Κύκλωμα λογικής DC Blocking

**Σχήμα 3.5:** Κύκλωμα λογικής blocking του διαφορικού στοιχείου 87

**Σχήμα 3.6:** Κυκλώματα αποφάσεων των διαδικασιών Common και Independent Harmonic Blocking

**Σχήμα 3.7:** Στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης φάσης

**Σχήμα 3.8:** Κύκλωμα λογικής στοιχείου υπερέντασης σταθερού χρόνου φάσης

**Σχήμα 3.9:** Στοιχείο υπερέντασης φάσης αντιστρόφου χρόνου

- Σχήμα 3.10 :** Λογική ενεργοποίησης (trip logic diagram – TRP1)
- Σχήμα 3.11:** Λογική λειτουργίας κλεισίματος (close logic diagram)
- Σχήμα 3.12:** Λειτουργία X & Y μεταβλητών
- Σχήμα 3.13:** Λειτουργίες κομβίων πρόσθιας όψης
- Σχήμα 4.1:** Κυματομορφή ρευμάτων βραχυκύκλωσης για σφάλματα a) μακριά από γεννήτρια, b) κοντά σε γεννήτρια [22]
- Σχήμα 4.2:** Διάγραμμα καθορισμού του είδους σφάλματος με μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης συναρτήσει των συνιστωσών ακολουθίας σύνθετης αντίστασης, όπου  $k_1$  μονοφασικό σφάλμα προς γη,  $k_2$  διφασικό σφάλμα χωρίς γη,  $kE2E$  διφασικό σφάλμα προς γη,  $k_3$  τριφασικό σφάλμα [22]
- Σχήμα 4.3:** Επιτηρούμενο Σ.Η.Ε. από το εργαστηριακό σύστημα προστασίας
- Σχήμα 4.4:** Στοιχεία υπερέντασης και μετασχηματιστές έντασης στο Σ.Η.Ε. που επιτηρεί του εργαστηριακό σύστημα προστασίας
- Σχήμα 4.5:** Γραφικές παραστάσεις καμπυλών  $U_1$  των στοιχείων υπερέντασης φάσης
- Σχήμα 4.6:** Γραφικές παραστάσεις καμπυλών  $U_3$  των στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας
- Σχήμα 4.7:** Γραφικές παραστάσεις καμπυλών  $C_2$  των στοιχείων υπερέντασης ουδετέρου
- Σχήμα 5.1:** Τροφοδότηση ηλεκτρονόμου SEL-587 και φορές ρευμάτων
- Σχήμα 5.2:** Τρόπος συνδεσμολογίας ηλεκτρονόμου SEL-587 με τη συσκευή OMICRON CMC 356
- Σχήμα 5.3:** Σφάλματα εντός της διαφορικής ζώνης του SEL-587
- Σχήμα 5.4:** Σφάλματα στο 50% της γραμμής μεταφοράς
- Σχήμα 5.5:** Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 1, διαφορική προστασία)
- Σχήμα 5.6:** Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 2, διαφορική προστασία)
- Σχήμα 5.7:** Χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικών στοιχείων φάσης A και σημείο τριφασικού σφάλματος
- Σχήμα 5.8:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 1, διαφορική προστασία)
- Σχήμα 5.9:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 2, διαφορική προστασία)
- Σχήμα 5.10:** Χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικών στοιχείων φάσης B και σημείο διφασικού σφάλματος
- Σχήμα 5.11:** Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)
- Σχήμα 5.12:** Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)
- Σχήμα 5.13:** Διάγραμμα φασιθετών (1φ σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)
- Σχήμα 5.14:** Διάγραμμα φασιθετών (1φ σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)
- Σχήμα 5.15:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)
- Σχήμα 5.16:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)
- Σχήμα 5.17:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ προς γη σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)
- Σχήμα 5.18:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ προς γη σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)



## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

---

- Εικόνα 1.1:** Ηλεκτρομηχανικός ηλεκτρονόμος επαγωγικού τύπου με το μαγνητικό του κύκλωμα [9]
- Εικόνα 1.2:** (α) Μετασχηματιστής έντασης, (β) Μετασχηματιστής τάσης, (γ) Πυκνωτικός μετασχηματιστής τάσης
- Εικόνα 1.3:** Υδρόψυκτη διπολική γεννήτρια 60 Hz ισχύος 1120 MVA
- Εικόνα 1.4:** Μετασχηματιστής ισχύος με OLTC 110 KV/6,6 KV, 63 MVA
- Εικόνα 1.5:** Γραμμή μεταφοράς διπλού κυκλώματος 115 KV
- Εικόνα 1.6:** Ζυγοί YT
- Εικόνα 1.7:** Ασύγχρονη μηχανή ονομαστικής ισχύος 2 MW
- Εικόνα 1.8:** Πηνία αέρος για εφαρμογή σε σειρά ή παράλληλα
- Εικόνα 1.9:** Εσώκλειστη συστοιχία πυκνωτών (Metal enclosed capacitor bank)
- Εικόνα 1.10:** Εξωτερική συστοιχία πυκνωτών (Open-rack capacitor bank)
- Εικόνα 1.11:** Συστοιχία πυκνωτών σε εναέρια γραμμή MT (Pole-mounted capacitor bank)
- Εικόνα 1.12:** Αγωγοί προστασίας σε πυλώνα γραμμής μεταφοράς [17]
- Εικόνα 1.13:** Γραμμή μεταφοράς εφοδιασμένη με αλεξικέραυνα
- Εικόνα 1.14:** Αλεξικέραυνο δύο μονάδων με τοροειδές
- Εικόνα 1.15:** Τομή αλεξικέραυνου χωρίς διάκενα [18]
- Εικόνα 2.1:** Πρόσθια όψη εργαστηριακού συστήματος προστασίας
- Εικόνα 2.2:** Ηλεκτρονόμοι προστασίας με τους ακροδέκτες εισόδου – εξόδου τους
- Εικόνα 2.3:** Κομβία χειρισμών
- Εικόνα 2.4:** Οπίσθια όψη εργαστηριακού συστήματος προστασίας
- Εικόνα 2.5:** Φωτιστικό θαλάμου πίνακα
- Εικόνα 2.6:** Γενικός διπολικός μικροαυτόματος διακόπτης πίνακα και μονοπολικοί μικροαυτόματοι διακόπτες στην πλευρά DC των ανορθωτών
- Εικόνα 2.7:** Διπολικοί αποζεύκτες ηλεκτρονόμων και υπολογιστών πίνακα και ασφάλειες στην πλευρά AC των ανορθωτών
- Εικόνα 2.8:** Ηλεκτρονόμοι K1, K2
- Σχήμα 2.9:** Ηλεκτρονόμοι BK1, BK2, BK3
- Εικόνα 2.10:** Κλεμοσειρές και καλωδιώσεις
- Εικόνα 2.11:** Ανορθωτές PS1, PS2
- Εικόνα 2.12:** Μπάρες και καλώδια γείωσης
- Εικόνα 2.13:** Οπίσθια όψη SEL-3354
- Εικόνα 2.14:** Πρόσθια όψη SEL-3354
- Εικόνα 2.15:** SEL SysMon παράθυρο
- Εικόνα 2.16:** Κεντρικό παράθυρο SUBNET SubSTATION Server™
- Εικόνα 2.17:** Πρωτόκολλο επικοινωνίας SEL Fast Messaging
- Εικόνα 2.18:** Πρωτόκολλο επικοινωνίας IEC 101/104 & Διευθυνσιοδότηση δεδομένου/μεγέθους
- Εικόνα 2.19:** Διαδικασία για force/unforce value
- Εικόνα 2.20:** Πεδίο ρυθμίσεων Port Server για σύνδεση μέσω τερματικού
- Εικόνα 2.21:** Οπίσθια όψη μονάδας PC
- Εικόνα 2.22:** Πρόσθια όψη μονάδας PC
- Εικόνα 2.23:** Κεντρική οθόνη SCADA
- Εικόνα 2.24:** Παράθυρο LOGIN του SCADA
- Εικόνα 2.25:** Οθόνη DATA NETWORK του SCADA
- Εικόνα 2.26:** Οθόνη ALARM LIST του SCADA
- Εικόνα 2.27:** Οθόνη EVENT LIST του SCADA
- Εικόνα 2.28:** Οθόνη TRANSFORMER DETAIL του SCADA
- Εικόνα 2.29:** Παράθυρο & Οθόνη TREND SELECTION του SCADA
- Εικόνα 2.30:** Οθόνη ARCHIVES του SCADA
- Εικόνα 2.31:** Οθόνη VARIABLE TEST του SCADA
- Εικόνα 2.32:** Παράθυρο SYSTEM INFO του SCADA
- Εικόνα 2.33:** Κεντρικό παράθυρο του Zenon Editor
- Εικόνα 2.34:** File menu
- Εικόνα 2.35:** Δημιουργία/Εισαγωγή/Επαναφορά backup
- Εικόνα 2.36:** Επίπεδο ρυθμίσεων μεταβλητών & διευθυνσιοδότησή τους

**Εικόνα 2.37:** Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Driver  
**Εικόνα 2.38:** Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Datatypes  
**Εικόνα 2.39:** Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Alarm groups  
**Εικόνα 2.40:** Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Alarm classes  
**Εικόνα 2.41:** Επίπεδο ρυθμίσεων Screens  
**Εικόνα 2.42:** Επίπεδο ρυθμίσεων Screens/Frames  
**Εικόνα 2.43:** Επίπεδο ρυθμίσεων Screens/Font lists  
**Εικόνα 2.44:** Επίπεδο ρυθμίσεων Screens/Project symbol library  
**Εικόνα 2.45:** Επίπεδο ρυθμίσεων Functions  
**Εικόνα 2.46:** Επίπεδο ρυθμίσεων Historian  
**Εικόνα 2.47:** Επίπεδο ρυθμίσεων Command  
**Εικόνα 2.48:** Επίπεδο ρυθμίσεων Menus  
**Εικόνα 2.49:** Επίπεδο ρυθμίσεων Users  
**Εικόνα 2.50:** Επίπεδο ρυθμίσεων Files  
**Εικόνα 2.51:** Επίπεδο History of changes  
**Εικόνα 2.52:** Πρόσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-311B  
**Εικόνα 2.53:** Οπίσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-311B  
**Εικόνα 2.54:** Πρόσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-587  
**Εικόνα 2.55:** Οπίσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-587  
**Εικόνα 2.56:** Πρόσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-300G  
**Εικόνα 2.57:** Οπίσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-300G  
**Εικόνα 3.1:** Πρόσθια όψη SEL-587  
**Εικόνα 3.2:** Παράδειγμα αναφοράς γεγονότος  
**Εικόνα 4.1:** Περιβάλλον εργασίας προγράμματος AcSELerator® QuickSet  
**Εικόνα 4.2:** Μενού αρχείου  
**Εικόνα 4.3:** Στυλ εκτύπωσης  
**Εικόνα 4.4:** Πλαίσιο διαλόγου της Classic μορφής εκτύπωσης  
**Εικόνα 4.5:** Πλαίσιο διαλόγου Database Manager  
**Εικόνα 4.6:** Μενού επεξεργασίας  
**Εικόνα 4.7:** Πλαίσιο διαλόγου Part number  
**Εικόνα 4.8:** Μενού Όψης  
**Εικόνα 4.9:** Μενού επικοινωνιών  
**Εικόνα 4.10:** Πλαίσιο διαλόγου Communication Parameters  
**Εικόνα 4.11:** Πλαίσιο διαλόγου Network Address Book  
**Εικόνα 4.12:** Λειτουργία Logging  
**Εικόνα 4.13:** Μενού εργαλείων  
**Εικόνα 4.14:** Λειτουργία Settings  
**Εικόνα 4.15:** Λειτουργία Events  
**Εικόνα 4.16:** Μενού παραθύρων  
**Εικόνα 4.17:** Μενού βοήθειας  
**Εικόνα 4.18:** Αρχική οθόνη AcSELerator® QuickSet  
**Εικόνα 4.19:** Εισαγωγή μοντέλου συσκευής SEL  
**Εικόνα 4.20:** Πληροφορίες επικοινωνίας  
**Εικόνα 4.21:** Επιλογή ομάδων ρυθμίσεων για μεταφορά στον SEL-587  
**Εικόνα 5.1:** Πρόσθια όψη συσκευής OMICRON CMC 356 και λειτουργίες ακροδεκτών [44]  
**Εικόνα 5.2:** Οπίσθια όψη συσκευής OMICRON CMC 356 και λειτουργίες ακροδεκτών [44]  
**Εικόνα 5.3:** Συνδεσμολογία συσκευής OMICRON CMC 356 με τον SEL-587  
**Εικόνα 5.4:** Οθόνη SCADA έπειτα από λειτουργία του SEL-587, λόγω διφασικού σφάλματος προς γη  
**Εικόνα 5.5:** Παλμογράφημα 15 κύκλων τριφασικού σφάλματος στο 50% της γραμμής μεταφοράς  
**Εικόνα 5.6:** Παλμογράφημα 15 κύκλων διφασικού σφάλματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

- Πίνακας 1.1:** Συνδεσμολογίες ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης
- Πίνακας 1.2:** Κατηγορίες Μ/Σ ανάλογα την αντοχή τους σε βραχυκυκλώματα
- Πίνακας 1.3:** Τρόποι γείωσης των Σ.Η.Ε.
- Πίνακας 2.1:** Ειδικές προδιαγραφές του ηλεκτρονόμου SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος
- Πίνακας 2.2:** Ειδικές προδιαγραφές του ηλεκτρονόμου SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος
- Πίνακας 2.3:** Ειδικές προδιαγραφές του ηλεκτρονόμου SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος
- Πίνακας 2.4:** Προτεινόμενα για χρήση στοιχεία του ηλεκτρονόμου SEL-300G, ανάλογα το είδος γείωσης του ουδετέρου αγωγού της γεννήτριας
- Πίνακας 3.1:** Προσδιορισμός παραμέτρων CON1, CON2, C1, C2, ανάλογα τη συνδεσμολογία του μετασχηματιστή ισχύος και των μετασχηματιστών έντασης
- Πίνακας 3.2:** Στοιχεία υπερέντασης και συμβολισμοί για τον SEL-587
- Πίνακας 3.3:** Περιγραφή των Relay Word Bits
- Πίνακας 3.4:** Relay Word Bits και SELLogic εξισώσεις ελέγχου
- Πίνακας 3.5:** Σημασιολογία φωτεινών ενδείξεων (LEDs) πρόσθιας όψης ηλεκτρονόμου SEL-587
- Πίνακας 3.6:** Τύποι γεγονότων
- Πίνακας 3.7:** Σημασιολογία στηλών και συμβόλων πρώτου μέρους αναφοράς γεγονότος
- Πίνακας 3.8:** Σημασιολογία στηλών και συμβόλων δεύτερου μέρους αναφοράς γεγονότος
- Πίνακας 4.1:** Ηλεκτρικές παράμετροι γεννήτριας
- Πίνακας 4.2:** Ηλεκτρικές παράμετροι μετασχηματιστή ανύψωσης
- Πίνακας 4.3:** Ηλεκτρικές παράμετροι γραμμής μεταφοράς
- Πίνακας 4.4:** Ηλεκτρικές παράμετροι απείρου δικτύου
- Πίνακας 4.5:** Ρεύματα βραχυκύκλωσης για σφάλματα στο ζυγό MV του δικτύου
- Πίνακας 4.6:** Ρεύματα βραχυκύκλωσης για σφάλματα στο ζυγό HV1 του δικτύου
- Πίνακας 4.7:** Ρεύματα βραχυκύκλωσης για σφάλματα στο ζυγό HV2 του δικτύου
- Πίνακας 4.8:** Συνεισφορά γεννήτριας για σφάλματα στο 50% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου
- Πίνακας 4.9:** Τιμές τριφασικών βραχυκυκλωμάτων στους ζυγούς του συστήματος, στα σημεία εγκατάστασης των ηλεκτρονόμων
- Πίνακας 4.10:** Λόγοι μετασχηματισμού των επιλεγμένων Μ/Ε
- Πίνακας 4.11:** Πληροφορίες στοιχείων υπερέντασης (στιγμιαία, αντιστρόφου χρόνου) των ηλεκτρονόμων του εργαστηριακού συστήματος
- Πίνακας 4.12:** Περιγραφικές εξισώσεις καμπυλών U1 των στοιχείων υπερέντασης φάσης
- Πίνακας 4.13:** Χρόνοι απόκρισης στοιχείων υπερέντασης φάσης για τριφασικά σφάλματα στους ζυγούς του δικτύου και στο 50% της γραμμής μεταφοράς
- Πίνακας 4.14:** Τιμές  $3I_2$  για διφασικά βραχυκυκλώματα στους ζυγούς του συστήματος, στα σημεία εγκατάστασης των ηλεκτρονόμων
- Πίνακας 4.15:** Περιγραφικές εξισώσεις καμπυλών U3 των στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας
- Πίνακας 4.16:** Χρόνοι απόκρισης στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας για διφασικά σφάλματα χωρίς γη στους ζυγούς του δικτύου και στο 50% της γραμμής μεταφοράς
- Πίνακας 4.17:** Τιμές  $3I_0$  για βραχυκυκλώματα γης στους ζυγούς του συστήματος, στα σημεία εγκατάστασης των ηλεκτρονόμων
- Πίνακας 4.18:** Περιγραφικές εξισώσεις καμπυλών C2 των στοιχείων υπερέντασης ουδετέρου
- Πίνακας 4.19:** Χρόνοι απόκρισης στοιχείων υπερέντασης ουδετέρου για σφάλματα προς γη στους ζυγούς του δικτύου και στο 50% της γραμμής μεταφοράς
- Πίνακας 5.1:** Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση τριφασικού σφάλματος στην πλευρά YT του μετασχηματιστή ανύψωσης
- Πίνακας 5.2:** Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση διφασικού σφάλματος στην πλευρά YT του μετασχηματιστή ανύψωσης
- Πίνακας 5.3:** Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση τριφασικού σφάλματος στο 50% της γραμμής μεταφοράς
- Πίνακας 5.4:** Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση μονοφασικού σφάλματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς
- Πίνακας 5.5:** Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση διφασικού σφάλματος χωρίς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς

**Πίνακας 5.6:** Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση διαφασικού σφάλματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς

**Πίνακας 5.7:** Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών χρόνων λειτουργίας του SEL-587

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Σ.Η.Ε.

### 1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

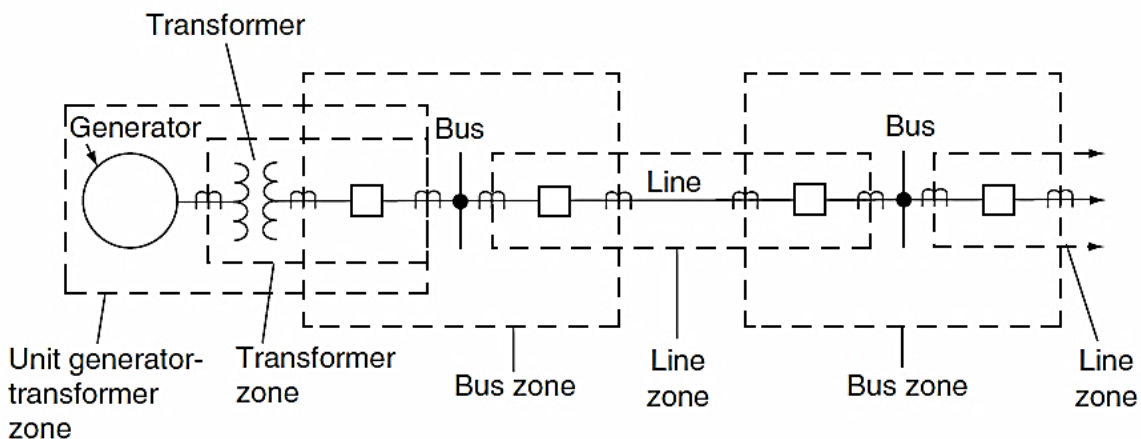
#### 1.1.1 Σκοπός και ρόλος της προστασίας (Role of protection)

Η προστασία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε.) αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς μελέτης για την ανάπτυξη νέων δικτύων, υποσταθμών και μονάδων παραγωγής σε ένα Σ.Η.Ε., αλλά και τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την εκδήλωση σφαλμάτων σε ένα μέρος του δικτύου (π.χ. γεννήτρια, μετασχηματιστής, ζυγός, γραμμή μεταφοράς κτλ.), όπως είναι όλων των ειδών τα βραχυκυκλώματα, οι υπερφορτίσεις, οι κεραυνοπληξίες κ.α., πρέπει να επιτυγχάνεται ταχύτατη απομόνωση του σημείου αυτού, ώστε:

- ❖ να περιοριστεί η προκαλούμενη βλάβη στον εξοπλισμό μας και κατά συνέπεια το κόστος επισκευής του,
- ❖ να αποφευχθεί ή να ελαχιστοποιηθεί η επίπτωση του σφάλματος στα υπόλοιπα μέρη του συστήματος,
- ❖ να μηδενιστεί, αν είναι δυνατόν, η πιθανότητα πρόκλησης σωματικής βλάβης σε ανθρώπους, λόγω ηλεκτροπληξίας και καταστροφικών συνθηκών, όπως πυρκαγιές, στον περιβάλλοντα χώρο.

#### 1.1.2 Ζώνες προστασίας (Protection zones)

Όλα τα προστατευόμενα Σ.Η.Ε. χωρίζονται σε ζώνες προστασίας, οι οποίες ορίζονται ως τα τμήματα του συστήματος που καλύπτονται από ένα ορισμένο είδος προστασίας. Σε περίπτωση που η προστασία κάποιας ζώνης προστασίας (1<sup>ης</sup> βαθμίδας, primary protection zone) δε λειτουργήσει, τότε λόγω της κατάλληλης σχεδίασης και μελέτης που έχει προηγηθεί, θα επενεργήσουν οι εκατέρωθεν ζώνες προστασίας (2<sup>ης</sup> βαθμίδας, back-up protection zones) για βροχοειδή τμήματα, ενώ για τα ακτινικά τμήματα θα λειτουργήσει η προηγούμενη ζώνη προστασίας. Ένα παράδειγμα καθορισμού των ζωνών προστασίας σε ένα Σ.Η.Ε. φαίνεται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Παράδειγμα επιλογής ζωνών προστασίας 1<sup>ης</sup> βαθμίδας [6]

### 1.1.3 Παράγοντες αξιολόγησης της προστασίας (*Quality factors of protection*)

Οι κυριότεροι παράγοντες που χαρακτηρίζουν ποιοτικά την προστασία ενός δικτύου είναι οι εξής:

- **Αξιοπιστία (reliability)**: αφορά την πιθανότητα η προστασία του συστήματος να μη λειτουργήσει ορθά.
- **Επιλογικότητα (selectivity)**: είναι η ικανότητα των μέσων προστασίας να επιλέγουν τις συνθήκες υπό τις οποίες πρέπει να λειτουργήσουν.
- **Διακριτικότητα (discrimination)**: είναι η ικανότητα των μέσων προστασίας να διακρίνουν τις ανεπιθύμητες συνθήκες λειτουργίας από τις κανονικές και ταυτόχρονα αν βρίσκονται εντός της ζώνης που επιτηρούν ή όχι.
- **Ταχύτητα λειτουργίας (speed of operation)**: αφορά το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της πρόκλησης του σφάλματος και της λειτουργίας των μέσων προστασίας.
- **Απλότητα (simplicity)**: ο παράγων αυτός χαρακτηρίζει ένα σύστημα προστασίας απλό, όταν χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν λιγότερος εξοπλισμός για την επίτευξη της επιθυμητής προστασίας.
- **Οικονομικότητα (economics)**: σκοπός του μελετητή προστασίας πρέπει να είναι η επίτευξη της μέγιστης δυνατής προστασίας, με το ελάχιστο συνολικό κόστος (προμήθεια, εγκατάσταση και συντήρηση μέσων προστασίας).

### 1.1.4 Είδη σφαλμάτων (*Types of faults*)

Τα σφάλματα που μπορούν να προκληθούν στον εξοπλισμό ενός Σ.Η.Ε. χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες, με κριτήριο τη χρονική διάρκεια εκκαθάρισής τους.

- **Παροδικά σφάλματα (transient faults)**: είναι τα σφάλματα, για τα οποία αρκεί η διακοπή της τάσης για πολύ μικρό χρονικό διάστημα ώστε να εκκαθαριστούν. Παρατηρούνται ως επί το πλείστον στα εναέρια δίκτυα. Τέτοια σφάλματα οφείλονται, σε διασπάσεις του ατμοσφαιρικού αέρα (π.χ. υπερπηδήσεις σε μονωτήρες, ηλεκτρικά τόξα μεταξύ φάσεων κ.α.), κεραυνοπληξίες, επικαθήσεις πτηνών στους αγωγούς γραμμής μεταφοράς ή σπασμένων κλαδιών γειτονικών δέντρων, και η διακοπή της τάσης για κλάσματα του δευτερολέπτου είναι αρκετή για να απαλειφτούν. Τα αίτια που προαναφέραμε αποκαλούνται **εξωτερικά**. Υπάρχουν, όμως, και περιπτώσεις που απαιτούνται μερικά δευτερόλεπτα για την εκκαθάριση του σφάλματος. Τέτοιου είδους σφάλματα αποκαλούνται **ημιμόνιμα**, συνιστώντας αρκετές φορές και ξεχωριστή κατηγορία. Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής περιέχουν διακόπτες ισχύος αυτόματης επαναφοράς, οι οποίοι επιτηρούν το σύστημα για περιπτώσεις τέτοιων σφαλμάτων. Οι διακόπτες αυτοί ανοίγουν όταν εντοπίζεται σφάλμα σε ένα σημείο του συστήματος και κλείνουν ξανά, μετά την πάροδο κάποιων κύκλων, όταν και έχει εκκαθαριστεί το σφάλμα.
- **Μόνιμα σφάλματα (persistent faults)**: Παρατηρούνται κατ' εξοχήν στα υπόγεια δίκτυα και σπανιότερα στα εναέρια. Αφορούν σφάλματα, όπως είναι η γήρανση και η καταστροφή υλικών (π.χ. μονωτήρων), για τα οποία η εκκαθάριση μπορεί να επιτευχθεί μόνο έπειτα από ανθρώπινη παρέμβαση και ο χρόνος επιδιόρθωσης είναι της τάξης μίας ημέρας. Τα αίτια πρόκλησης αυτού του είδους σφαλμάτων αποκαλούνται **εσωτερικά**.

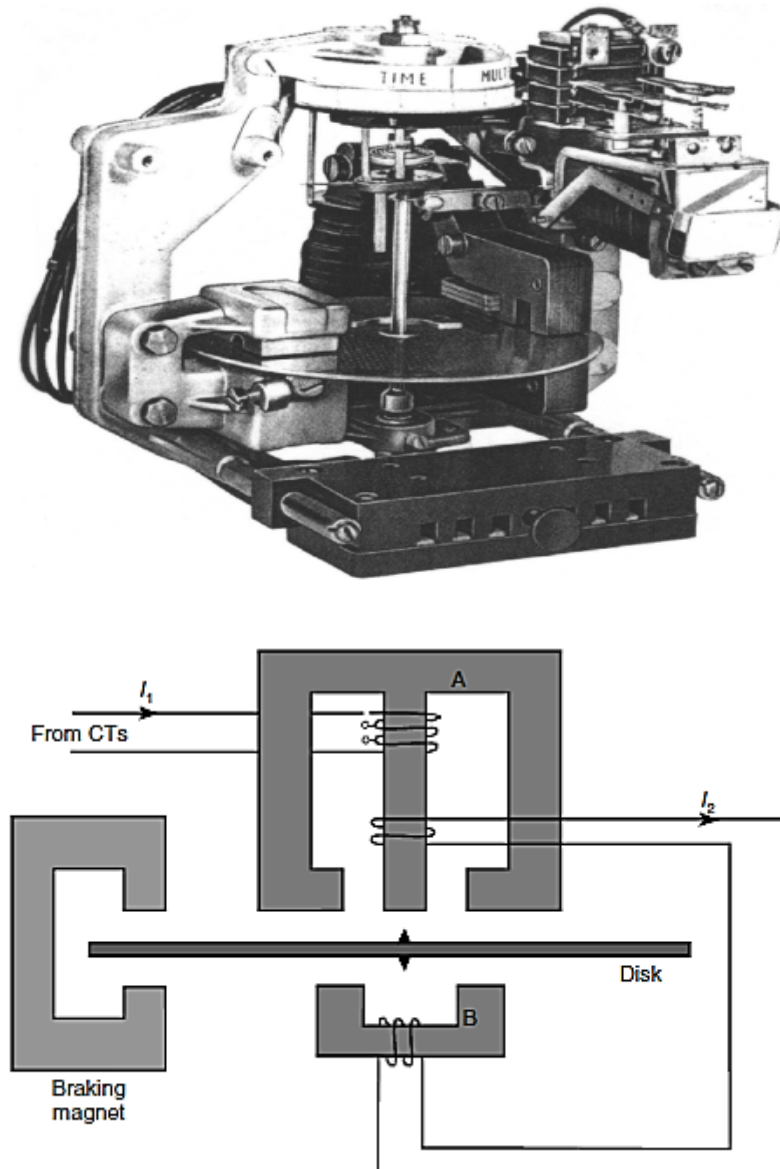
Επιπλέον, τα σφάλματα που αφορούν βραχυκυκλώματα φάσεων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το πλήθος των αγωγών που εμπλέκονται στο βραχυκύκλωμα. **Τέτοια σφάλματα είναι τα μονοφασικά προς γη, τα διφασικά, τα διφασικά προς γη και τα τριφασικά (με ή χωρίς γη).**

**1.1.5 Ηλεκτρονόμοι (Relays)**

Τα μέσα προστασίας των Σ.Η.Ε. αποτελούνται από ηλεκτρονόμους, οι οποίοι μετρούν ηλεκτρικά μεγέθη, μέσω των εισόδων τους και έπειτα από υπολογισμούς που εκτελούν, επενεργούν, μέσω των εξόδων τους, στα μέρη του συστήματος που επιτηρούν. Είναι σχεδιασμένοι να δέχονται ως εισόδους τιμές ρευμάτων και τάσεων υποβιβασμένες από μετασχηματιστές έντασης (Current Transformers, CTs) και τάσης (Voltage Transformers, VTs). Μόνο σε ορισμένες εφαρμογές σε δίκτυα Χ.Τ. μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να μετρούν απευθείας τις τιμές ρεύματος και τάσης του δικτύου.

Υπάρχουν διάφορα είδη ηλεκτρονόμων, όσον αφορά την κατασκευή τους, τα οποία είναι:

- **Ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι (Electromechanical relays):** Οι ηλεκτρονόμοι αυτής της κατηγορίας είναι κατασκευασμένοι από πυρήνα σιδήρου και μέσω τυλιγμάτων που φέρουν ρεύματα, επάγονται ροές στο μαγνητικό κύκλωμα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη δυνάμεων ή ροπών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη λειτουργία ή μη του ηλεκτρονόμου. Στην εικόνα 1.1 απεικονίζεται παράδειγμα ηλεκτρομηχανικού ηλεκτρονόμου, με το μαγνητικό του κύκλωμα.

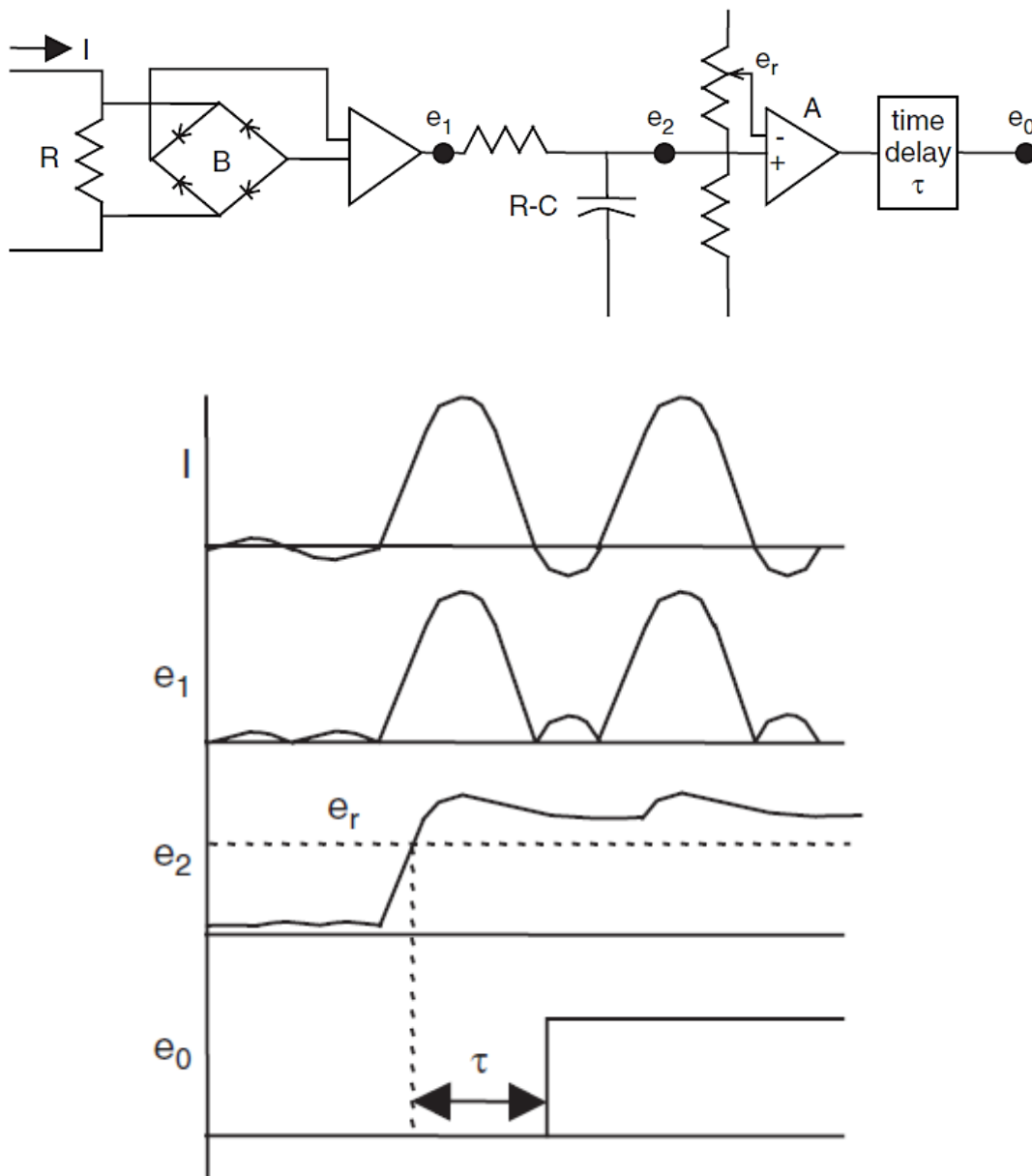


*Εικόνα 1.1: Ηλεκτρομηχανικός ηλεκτρονόμος επαγωγικού τύπου με το μαγνητικό του κύκλωμα [9]*

- **Στατικοί ηλεκτρονόμοι (Static or solid state relays):** Οι στατικοί ηλεκτρονόμοι είναι κυκλώματα κατασκευασμένα από ηλεκτρονικά στοιχεία και χωρίζονται σε αναλογικού και ψηφιακού τύπου, ανάλογα τις λειτουργίες που είναι σχεδιασμένα να επιτελούν. Κλήθηκαν να αντικαταστήσουν τους ηλεκτρομηχανικούς, λόγω των ακόλουθων πλεονεκτημάτων τους:

- ❖ πολύ μικρότερη κατανάλωση ισχύος,
- ❖ μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα λειτουργίας,
- ❖ μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό των κυκλωμάτων προστασίας,
- ❖ δεν απαιτούν συντήρηση.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται παράδειγμα δομής στατικού ηλεκτρονόμου.

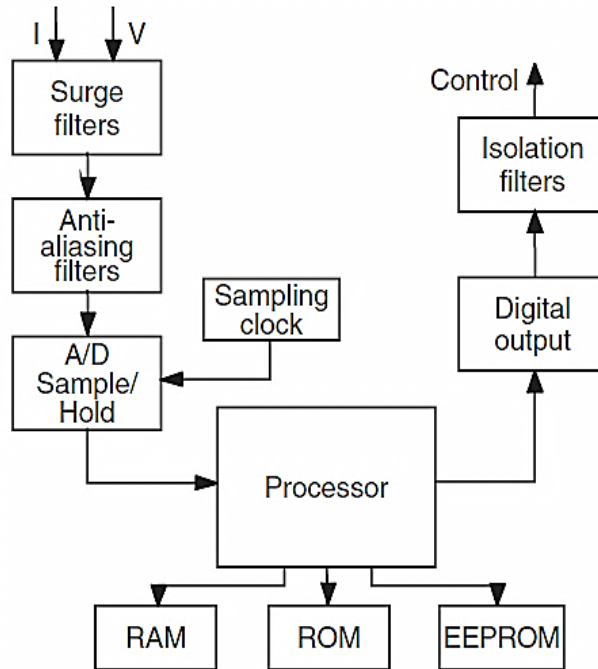


**Σχήμα 1.2:** Δομή στατικού ηλεκτρονόμου υπερέντασης και κυματομορφές διαφόρων μεγεθών του [7]

- **Ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι (Digital relays):** Είναι οι πιο σύγχρονοι ηλεκτρονόμοι, οι οποίοι έχουν καθιερωθεί στις νέες εφαρμογές και αποτελούνται από ψηφιακά κυκλώματα.



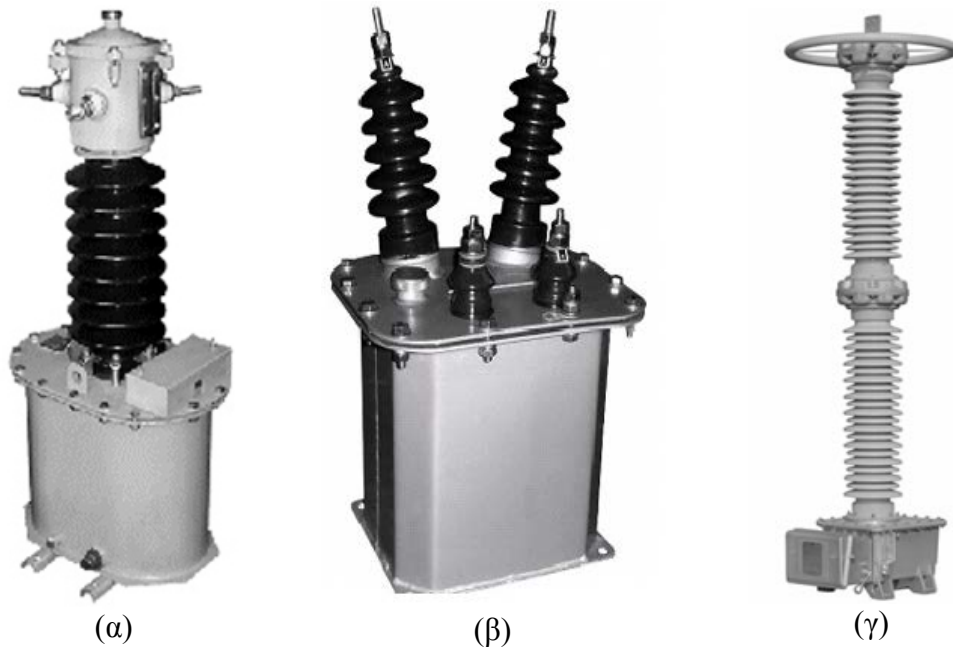
Οι ηλεκτρονόμοι αυτού του τύπου έχουν τεράστιες δυνατότητες ως προς την ακρίβεια, την ευελιξία ρύθμισής τους και την αξιοπιστία τους, καθιστώντας επιπλέον εφικτή την επικοινωνία με πολλές συνιστώσες του δικτύου (SCADA Υποσταθμών, Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας κτλ.). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ευκολότερη και αποτελεσματικότερη εποπτεία και προστασία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.3: Μπλοκ διάγραμμα βασικών λειτουργιών ψηφιακών ηλεκτρονόμων [7]

### 1.1.6 Μετασχηματιστές έντασης και τάσης (Current transformers CTs, Voltage or Potential transformers VTs or PTs)

Οι μετασχηματιστές έντασης και τάσης (στην ξένη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως instrument transformers) χρησιμεύουν στο να παρέχουν ρεύμα και τάση στους ηλεκτρονόμους και σε άλλα όργανα μέτρησης του δικτύου, υποβιβασμένα στα επίπεδα που μπορούν να λειτουργήσουν καθώς και γαλβανική απομόνωση των συσκευών από το δίκτυο. Στα δίκτυα υψηλής και υπερυψηλής τάσης χρησιμοποιούνται πυκνωτικοί μετασχηματιστές τάσης (Coupling capacitor voltage transformers, CCVTs). Τα παραπάνω είδη μετασχηματιστών φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



*Εικόνα 1.2: (α) Μετασχηματιστής έντασης, (β) Μετασχηματιστής τάσης, (γ) Πυκνωτικός μετασχηματιστής τάσης*

Οι μετασχηματιστές έντασης και τάσης μπορούν να χωρισθούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες,

- τους **μετασχηματιστές μέτρησης**
- και τους **μετασχηματιστές οργάνων ή προστασίας,**

των οποίων η κύρια διαφορά έγκειται στην ακρίβεια που έχουν καθοριστεί να λειτουργούν (στους μετασχηματιστές μέτρησης θέλουμε ακρίβεια για εντάσεις μέχρι  $1,2I_N$ , ενώ στους μετασχηματιστές προστασίας μέχρι  $20I_N$ ).

Για να μην υπάρχουν σφάλματα κατά τη μέτρηση των αντίστοιχα μετασχηματιζόμενων μεγεθών, θα πρέπει αυτά να βρίσκονται σε φάση. Στην πράξη, όμως, αυτό δεν είναι δυνατό, λόγω των εσωτερικών καταναλώσεων. Για το λόγο αυτό, οι μετασχηματιστές έντασης και τάσης κατατάσσονται σε διάφορες κλάσεις ακριβείας, ανάλογα με το μέγεθος του σφάλματος που εισάγουν.

Κλείνοντας την υποενότητα αυτή, καταγράφουμε τις κυριότερες παραμέτρους καθορισμού των μετασχηματιστών έντασης και τάσης.

- Για τους μετασχηματιστές έντασης:
  - **Ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος:** είναι της τάξεως των τιμών του δικτύου. Τυποποιημένες τιμές είναι: 10, 12,5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75 και τα δεκαπλάσια αυτών.
  - **Ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος:** είναι 5A ή 1A.
  - **Ονομαστική ισχύς εξόδου:** Τυποποιημένες τιμές είναι: 2,5, 5, 10, 15, 30 VA.
  - **Μέγιστη τάση:** Ορίζεται ως η μέγιστη πολική τάση που μπορεί να δεχτεί ο μετασχηματιστής έντασης υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου, στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί.
  - **Ονομαστικό επίπεδο μόνωσης:** Ορίζεται ως ο συνδυασμός τιμών τάσεων (π.χ. 50 Hz και κρουστική) που χαρακτηρίζουν την αντοχή της μόνωσης του μετασχηματιστή έντασης υπό συνθήκες διηλεκτρικών καταπονήσεων.

- **Κλάση ακρίβειας:** Είναι μια κατηγοριοποίηση των μετασχηματιστών έντασης ανάλογα με το σφάλμα που εισάγουν στα ρεύματα δευτερεύοντος υπό καθορισμένες συνθήκες.
- Για τους μετασχηματιστές τάσης:
  - **Ονομαστική τάση πρωτεύοντος:** Οι τυποποιημένες τιμές ταυτίζονται με τα διάφορα επίπεδα τάσης των δικτύων.
  - **Ονομαστική τάση δευτερεύοντος:** Τυποποιημένες τιμές είναι:
    - Στην Ευρώπη: 100 ή 110 V και 200 V για εκτεταμένα κυκλώματα.
    - Στην Αμερική: 120 V στο δίκτυο διανομής, 115 V στο δίκτυο μεταφοράς και 230 V σε εκτεταμένα κυκλώματα.
  - **Ονομαστική ισχύς εξόδου:** Τυποποιημένες τιμές για τις ισχείς εξόδου είναι (για  $\cos\varphi = 0,8$  επαγωγικό): 10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 VA.
  - **Παράγοντας ονομαστικής τάσης:** Ορίζεται ως ο συντελεστής επί τον οποίο αν πολλαπλασιαστεί η ονομαστική τάση πρωτεύοντος, προκύπτει τάση που μπορεί να ανεχτεί ο μετασχηματιστής τάσης για ορισμένο χρονικό διάστημα, χωρίς να μεταβληθεί η ακρίβειά του. Τυποποιημένες τιμές είναι:
    - 1,2 χωρίς χρονικό περιορισμό,
    - 1,5 επί 30 sec, για αποτελεσματικά γειωμένα συστήματα (effective grounded systems),
    - 1,9 επί 30 sec για αγείωτα συστήματα (ungrounded systems), με αυτόματη διακοπή για σφάλματα γης,
    - 1,9 επί 8 h για αγείωτα συστήματα, χωρίς αυτόματη διακοπή για σφάλματα γης.
  - **Κλάση ακρίβειας:** Όπως και στους μετασχηματιστές έντασης αφορά την κατηγοριοποίηση των μετασχηματιστών τάσης ανάλογα με το σφάλμα που εισάγουν στα ρεύματα δευτερεύοντος.

## 1.2 Είδη Προστασίας (*Protection principles*)

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε τα κυριότερα είδη προστασίας, τα οποία είναι:

- **προστασία κατεύθυνσης (Directional protection),**
- **προστασία υπερέντασης με ή χωρίς στοιχεία κατεύθυνσης (Directional or Non-directional overcurrent protection),**
- **διαφορική προστασία (Differential protection),**
- **προστασία απόστασης (Distance protection).**

Εκτός από τα παραπάνω είδη προστασιών, υπάρχουν και πολλά άλλα που αφορούν συγκεκριμένες εφαρμογές, ανάλογα τον εξοπλισμό του οποίου μελετούμε την προστασία, για τα περισσότερα από τα οποία θα αναφερθούμε στην επόμενη ενότητα.

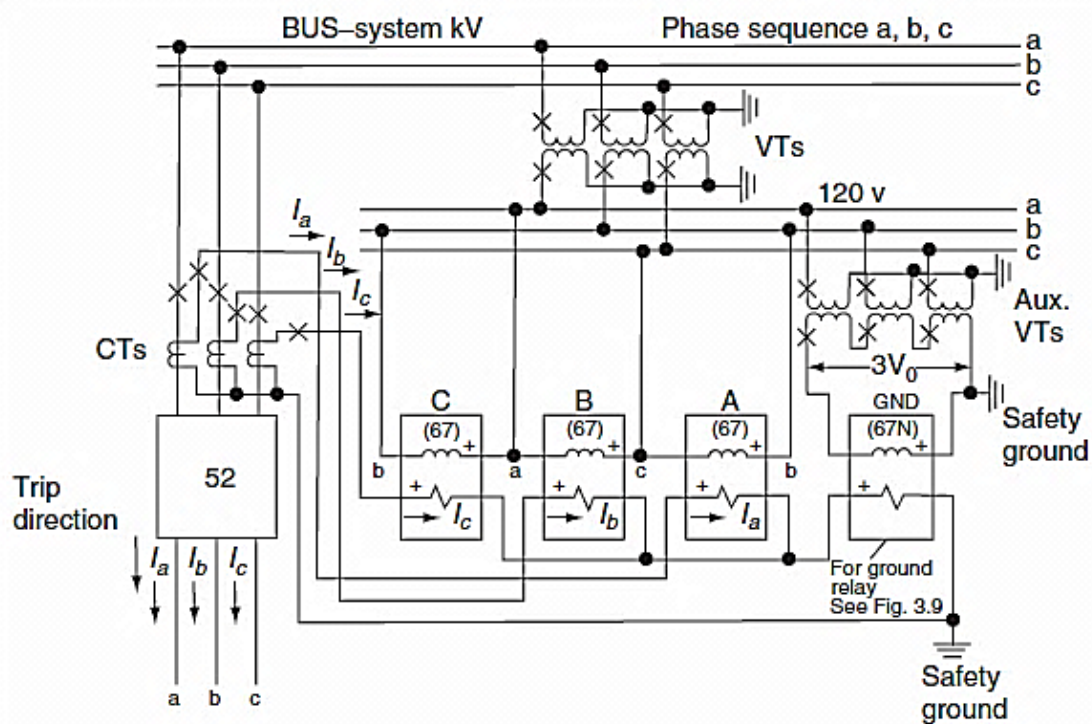
Πριν περάσουμε στην ανάλυση των ειδών προστασίας, πρέπει να σημειώσουμε, ότι για να είναι ένα Σ.Η.Ε. πλήρως προστατευμένο, απαιτείται η εφαρμογή συνδυασμών των παραπάνω ειδών προστασίας.

### 1.2.1 Προστασία κατεύθυνσης

Οι ηλεκτρονόμοι που επιτελούν αυτού του είδους προστασίας, γνωστοί ως ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης, χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίζουν την αλλαγή της φοράς τάσεων και εντάσεων, στο μέρος του δικτύου που προστατεύουν, κατά τη διάρκεια σφαλμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μέτρησης και της σύγκρισης των φασικών γωνιών δύο ηλεκτρικών

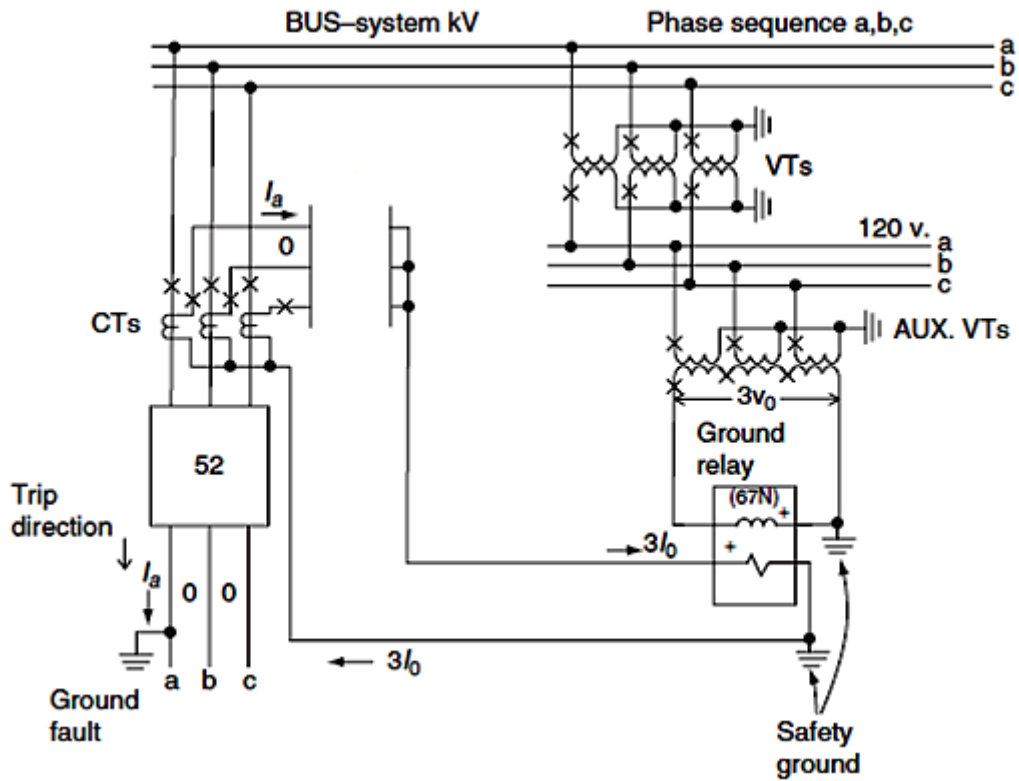
μεγεθών (τάσεις και εντάσεις). Στη συνέχεια, το ένα μέγεθος χρησιμοποιείται ως μέγεθος αναφοράς και δημιουργεί την πόλωση. Ο ηλεκτρονόμος συγκρίνει τη φασική γωνία του δεύτερου μεγέθους με αυτήν της μεταβλητής αναφοράς και αποφασίζει αν πρέπει να λειτουργήσει ή όχι. Υπάρχουν δύο ειδών πολώσεις που εφαρμόζονται στους ηλεκτρονόμους κατεύθυνσης.

- **Πόλωση τάσης (voltage polarization):** Έχει επικρατήσει στις περισσότερες εφαρμογές, επειδή οι γωνίες των τάσεων ενός Σ.Η.Ε. δε μεταβάλλονται σημαντικά κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος και έτσι το διάνυσμά τους διατηρείται σχεδόν σταθερό. Οι ηλεκτρονόμοι αυτής της περίπτωσης ονομάζονται και ηλεκτρονόμοι τάσης – έντασης. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης με πόλωση τάσης.



Σχήμα 1.4: Συνδεσμολογία ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης με πόλωση τάσης [6]

- **Πόλωση ρεύματος (current polarization):** Χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονόμους – γης τύπου 0° (0° – type ground relays), οι οποίοι δέχονται σαν εισόδους το ρεύμα του δικτύου και το ρεύμα του ουδετέρου του μετασχηματιστή στον πλησίον υποσταθμό, τα οποία είναι σε φάση κατά τη διάρκεια σφαλμάτων γης. Οι ηλεκτρονόμοι της κατηγορίας αυτής καλούνται επίσης ηλεκτρονόμοι έντασης – έντασης και η συνδεσμολογία τους φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

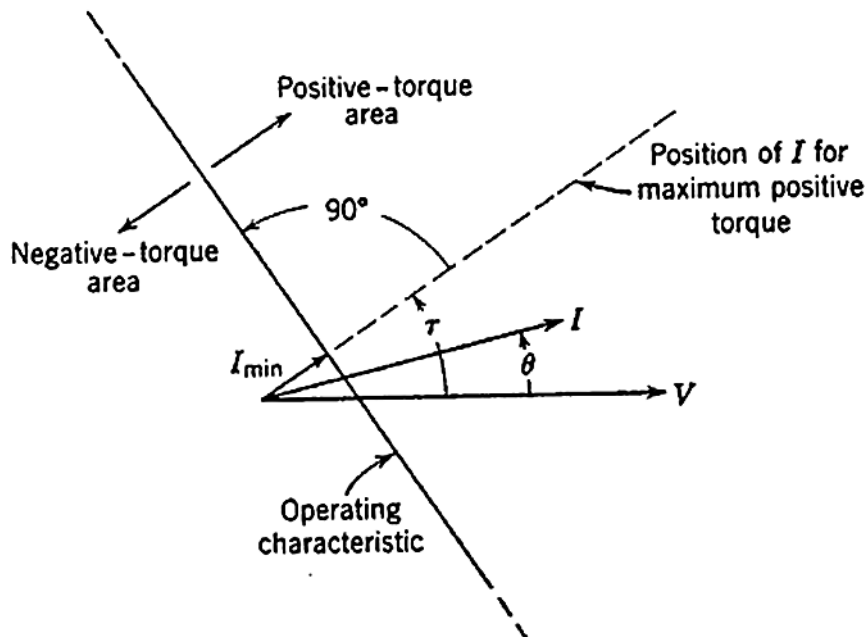


Σχήμα 1.5: Συνδεσμολογία ηλεκτρονόμου κατεύθυνσης με πόλωση έντασης [6]

Η χαρακτηριστική λειτουργίας των ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης προκύπτει από την αντίστοιχη εξίσωση ροπής. Αν υποθέσουμε ότι η τάση λαμβάνεται ως μέγεθος αναφοράς, τότε προκύπτει η σχέση,

$$I \cdot \cos(\theta - \tau) = \text{σταθερά},$$

η οποία σε πολικές συντεταγμένες παριστάνει μια ευθεία, η οποία φαίνεται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6: Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης [8]

Όταν το πέρας του διανύσματος έντασης βρίσκεται στην περιοχή θετικής ροπής, τότε ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί, ενώ όταν βρίσκεται στην περιοχή αρνητικής ροπής δεν ενεργοποιείται ή επανέρχεται σε περίπτωση που είχε ενεργοποιηθεί.

Το τελευταίο σημαντικό στοιχείο των ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης, στο οποίο θα αναφερθούμε, είναι η κατηγοριοποίηση τους ανάλογα με το ποια τάση και ποια ένταση του δικτύου δέχονται στις εισόδους τους. Στον πίνακα 1.1 έχουμε συγκεντρώσει όλες τις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης.

Συνδεσμολογία	Φάση A		Φάση B		Φάση C		Μέγιστη ροπή
	I	V	I	V	I	V	
30°	I <sub>a</sub>	V <sub>ac</sub>	I <sub>b</sub>	V <sub>ba</sub>	I <sub>c</sub>	V <sub>cb</sub>	Επιπορεία I κατά 30°
60° delta	I <sub>a</sub> - I <sub>b</sub>	V <sub>ac</sub>	I <sub>b</sub> - I <sub>c</sub>	V <sub>ba</sub>	I <sub>c</sub> - I <sub>a</sub>	V <sub>cb</sub>	Επιπορεία I κατά 60°
60° wye	I <sub>a</sub>	-V <sub>c</sub>	I <sub>b</sub>	-V <sub>a</sub>	I <sub>c</sub>	-V <sub>b</sub>	Επιπορεία I κατά 60°
90° - 45°	I <sub>a</sub>	V <sub>bc</sub>	I <sub>b</sub>	V <sub>ca</sub>	I <sub>c</sub>	V <sub>ab</sub>	Επιπορεία I κατά 45°
90° - 60°	I <sub>a</sub>	V <sub>bc</sub>	I <sub>b</sub>	V <sub>ca</sub>	I <sub>c</sub>	V <sub>ab</sub>	Επιπορεία I κατά 60°

**Παρατηρήσεις:**  
 1. Η ονομασία των συνδεσμολογιών προέρχεται από τη γωνία που προπορεύεται το ρεύμα εισόδου, με Σ.Ι. = 1,0, σε σχέση με την τάση εισόδου.  
 2. Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται όταν το ρεύμα εισόδου επιπορεύεται του ίδιου ρεύματος με Σ.Ι. = 1,0, κατά τη γωνία που αναγράφεται σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 1.1: Συνδεσμολογίες ηλεκτρονόμων κατεύθυνσης

### 1.2.2 Προστασία υπερέντασης με ή χωρίς στοιχεία κατεύθυνσης

Αποτελεί το απλούστερο και οικονομικότερο είδος προστασίας και έχει εφαρμογή είτε ως κύρια είτε ως δευτερεύουσα προστασία. Οι ασφάλειες (fuses), οι διακόπτες ισχύος (circuit breakers) και οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (reclosers) είναι ορισμένα μέσα που παρέχουν προστασία υπερέντασης. Εκτός από τις ασφάλειες, όλα τα υπόλοιπα μέσα προστασίας ελέγχονται από ηλεκτρονόμους υπερέντασης (overcurrent relays), με των οποίων τα χαρακτηριστικά θα ασχοληθούμε στη συνέχεια της υποενότητας.

Προτού συνεχίσουμε την περιγραφή μας, αξίζει να επισημάνουμε τη διαφορά δύο όρων. **Υπερένταση (overcurrent)** θεωρείται οποιαδήποτε τιμή ρεύματος πάνω από το διπλάσιο του ονομαστικού, ενώ ο όρος **υπερφόρτιση (overload)** χρησιμοποιείται για εντάσεις μεταξύ της ονομαστικής τιμής και της διπλάσιας της.

Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

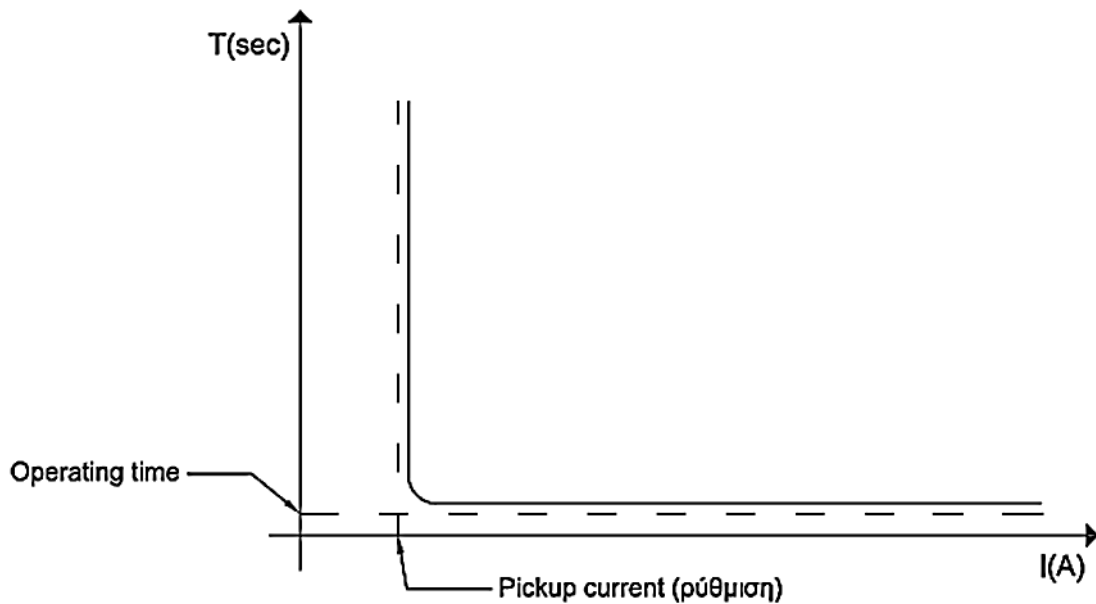
- στους **ηλεκτρονόμους υπερέντασης χωρίς στοιχείο κατεύθυνσης (non-directional overcurrent relays)**, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα ακτινικά δίκτυα και
- στους **ηλεκτρονόμους υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης (directional overcurrent relays)**, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε μέρη του συστήματος που σχηματίζονται βρόχοι και υπάρχει δυνατότητα ροής ισχύος και στις δύο κατευθύνσεις.

Επιπλέον, οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης μπορούν να διαβαθμιστούν ως προς την τιμή του ρεύματος, ως προς το χρόνο, αλλά και ως προς τα δύο ταυτόχρονα. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί την ιδανική επιλογή και αυτή χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές.

Εκτός από τις δύο μεγάλες κατηγορίες που προαναφέραμε, οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης μπορούν να διακριθούν και στις ακόλουθες κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους.

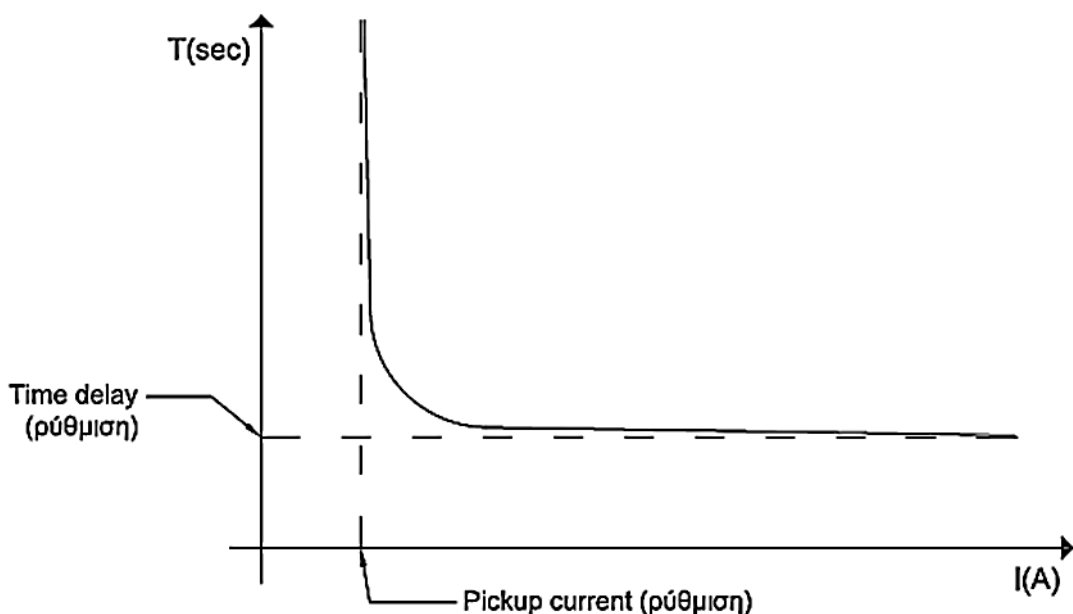
- **Στιγμιαίοι (instantaneous):** Σε αυτό το είδος ηλεκτρονόμων ρυθμίζουμε μόνο το ρεύμα διέγερσης ή κατωφλίου (pickup current). Μόλις το εισερχόμενο ρεύμα στον ηλεκτρονόμο ξεπεράσει την τιμή αυτή, τότε η λειτουργία του είναι ακαριαία. Στην πράξη, χρειάζονται

κάποια κλάσματα δευτερολέπτου για τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου (operating time). Η χαρακτηριστική καμπύλη των ηλεκτρονόμων αυτών φαίνεται στο σχήμα 1.7.



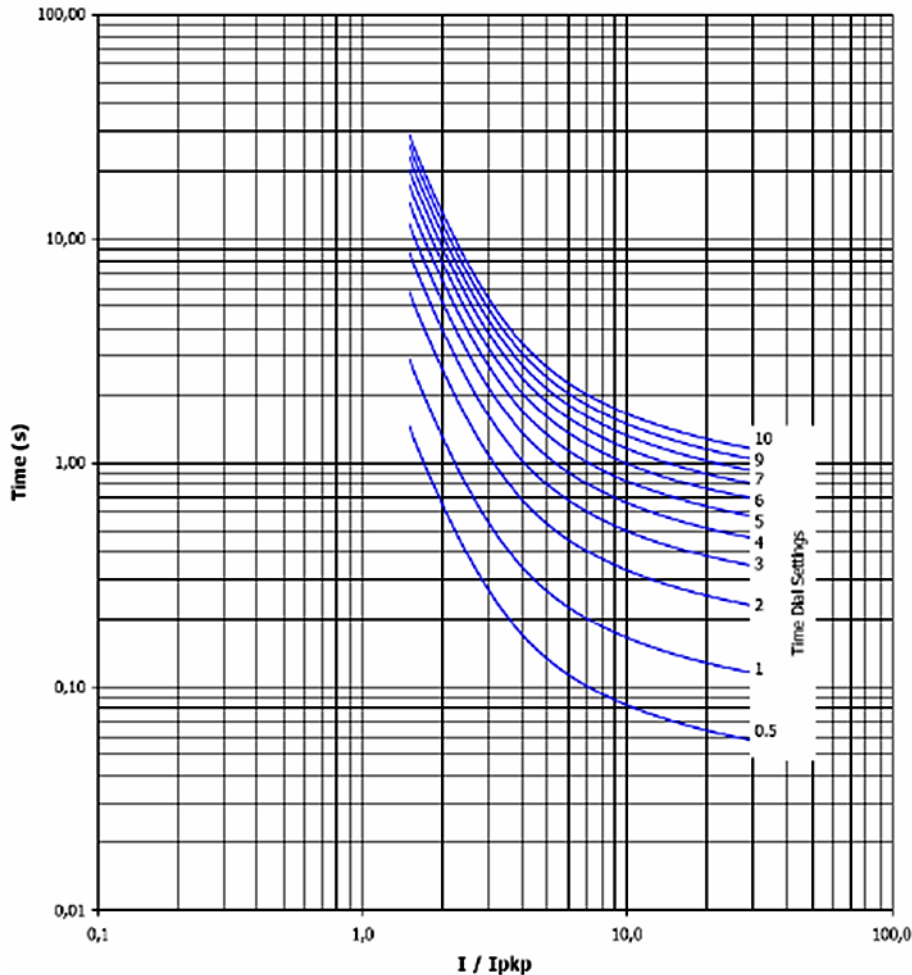
Σχήμα 1.7: Χαρακτηριστική λειτουργίας στιγμιαίου ηλεκτρονόμου υπερέντασης

- **Σταθερού χρόνου (definite time):** Σε αυτό το είδος ηλεκτρονόμων ρυθμίζουμε το ρεύμα διέγερσης (pickup current) και τη χρονική καθυστέρηση με την οποία θέλουμε να λειτουργεί ο ηλεκτρονόμος (time delay), η οποία είναι σταθερή. Όταν το εισερχόμενο ρεύμα στον ηλεκτρονόμο ξεπεράσει την τιμή αυτή, τότε ανεξάρτητα από την τιμή του, ο ηλεκτρονόμος θα στείλει σήμα στο διακόπτη ισχύος που ελέγχει έπειτα από τη χρονική καθυστέρηση που έχουμε ορίσει. Κατά τη ρύθμιση του time delay πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας την καθυστέρηση λειτουργίας του ηλεκτρονόμου, την καθυστέρηση μετάδοσης του σήματος στο διακόπτη ισχύος, καθώς και την καθυστέρηση λειτουργίας του ίδιου του διακόπτη. Η χαρακτηριστική λειτουργίας των ηλεκτρονόμων υπερέντασης σταθερού χρόνου φαίνεται στο σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8: Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμου υπερέντασης σταθερού χρόνου

- **Αντιστρόφου χρόνου (inverse time):** Σε αυτό το είδος, όπως και πριν, ρυθμίζουμε το ρεύμα διέγερσης (pickup current) καθώς και μια χρονική παράμετρο (time dial setting). Η ιδιαιτερότητα αυτού του είδους ηλεκτρονόμων είναι ότι όσο η τιμή του ρεύματος σφάλματος αυξάνεται, τόσο μειώνεται ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου. Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου εφοδιασμένοι με στιγμιαίο στοιχείο λειτουργίας έχουν επικρατήσει στο μεγαλύτερο πλήθος των εφαρμογών προστασίας υπερέντασης. Ακολουθεί παράδειγμα οικογένειας χαρακτηριστικών καμπυλών ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου.



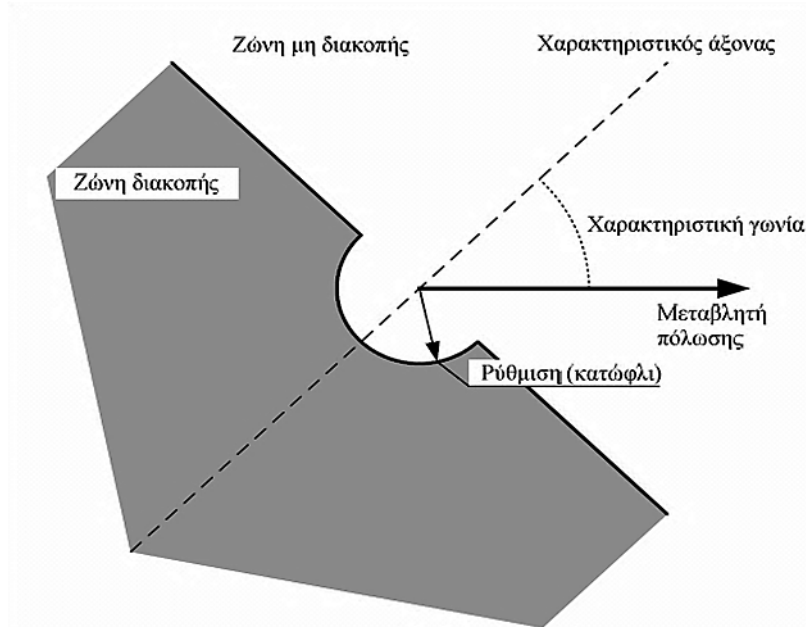
**Σχήμα 1.9:** Οικογένεια χαρακτηριστικών λειτουργίας ηλεκτρονόμου υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου

Σε πολλές εφαρμογές, όπως περιοχές συστήματος με βρόχους, οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης είναι εφοδιασμένοι με στοιχεία κατεύθυνσης. Όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη υποενότητα, τα στοιχεία αυτά λειτουργούν ως εξής: δέχονται δύο εισόδους (τάση και ρεύμα), χρησιμοποιούν τη μία (συνήθως την τάση) ως μεταβλητή αναφοράς ή πόλωσης και μετρούν τη διαφορά της γωνίας φάσης από την άλλη. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αντιληφθούν αν έχει υπάρξει αλλαγή στη φορά ισχύος ή όχι. Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης ενεργοποιούνται όταν

- το εισερχόμενο ρεύμα ξεπεράσει το ρεύμα διέγερσης (pickup current)
- και η διαφορά φάσης μεταξύ του ρεύματος και του χαρακτηριστικού άξονα, ο οποίος ορίζεται από τη γωνία της μεταβλητής πόλωσης προσαυξημένη με τη χαρακτηριστική γωνία, είναι στο διάστημα  $(-90^\circ, +90^\circ)$ .



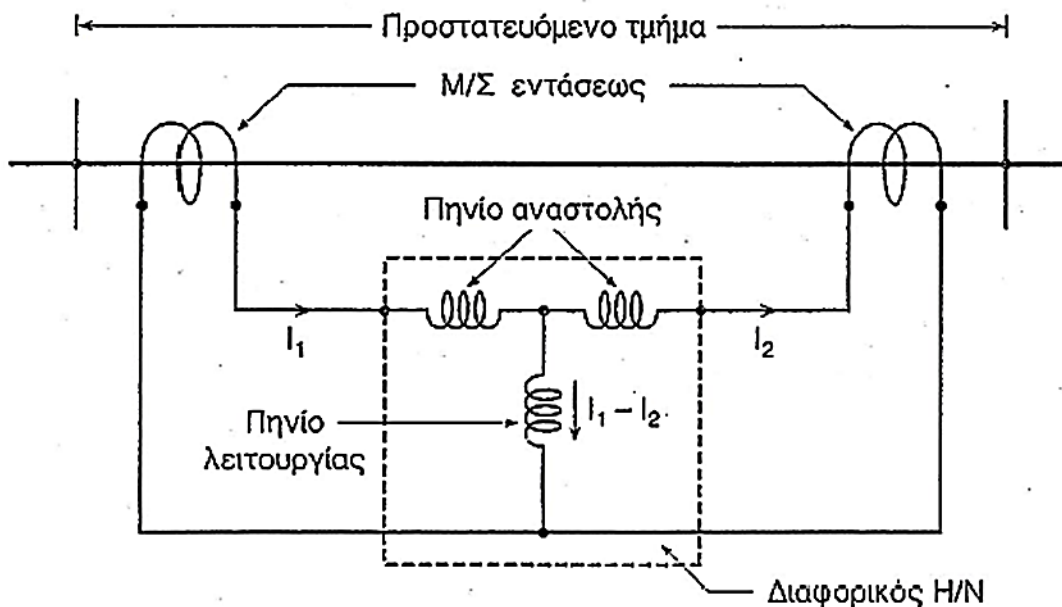
Η προηγούμενη περιγραφή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 1.10:** Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης [31]

### 1.2.3 Διαφορική προστασία

Οι ηλεκτρονόμοι διαφορικής προστασίας μετρούν εντάσεις ρεύματος στα άκρα του εξοπλισμού που προστατεύουν και λειτουργούν, όταν το αλγεβρικό άθροισμα των τιμών αυτών είναι διάφορο του μηδενός. Με άλλα λόγια, λειτουργούν για σφάλματα ή ασύμμετρες καταστάσεις εντός της ζώνης που προστατεύουν, ενώ για σφάλματα και ασυμμετρίες εκτός της περιοχής αυτής, δεν ενεργοποιούνται.



**Σχήμα 1.11:** Συνδεσμολογία κλασικού διαφορικού ηλεκτρονόμου (απεικόνιση μιας φάσης) [4]

Στο παραπάνω σχήμα, η ένταση  $I_1$  καλείται ένταση λειτουργίας (operate current) ενώ η ένταση  $I_2$  ένταση αναστολής (restraint current). Οι δύο αυτές εντάσεις διαρρέουν το πηνίο αναστολής (με αριθμό ελιγμάτων  $N_r$ ) που είναι υπεύθυνο για την παρεμπόδιση της λειτουργίας

του ηλεκτρονόμου και η διαφορά τους ρέει στο πηνίο λειτουργίας (με αριθμό ελιγμάτων  $N_o$ ), το οποίο ευθύνεται για τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου, όταν η τιμή αυτή ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο. Τα αμπερελίγματα στο πηνίο αναστολής είναι

$$\frac{N_r}{2} I_1 + \frac{N_r}{2} I_2 = N_r \frac{I_1 + I_2}{2}$$

ενώ στο πηνίο λειτουργίας

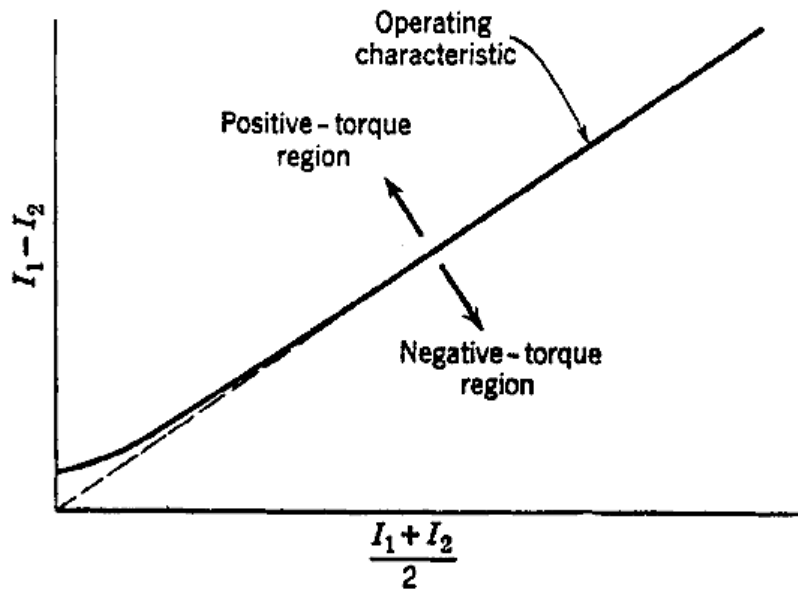
$$N_o(I_1 - I_2)$$

Διαιρώντας τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει η χαρακτηριστική λειτουργίας της ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας (percentage differential protection), όπως αποκαλείται, η οποία είναι της μορφής

$$I_1 - I_2 = K \cdot \frac{I_1 + I_2}{2} \Rightarrow y = a \cdot x \text{ (ευθεία)}$$

και φαίνεται στο σχήμα 1.12.

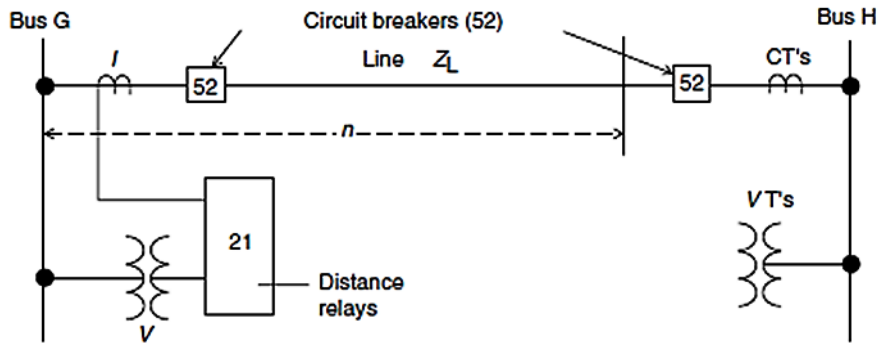
Οι βασικές ποσότητες που ρυθμίζονται στη διαφορική προστασία είναι το ελάχιστο ρεύμα διέγερσης και η κλίση της ευθείας. Σε πολλές εφαρμογές, χρησιμοποιείται διπλή κλίση, για την αποφυγή ανεπιθύμητης λειτουργίας, π.χ. λόγω κορεσμού στους μετασχηματιστές έντασης. Όλες οι δυνατότητες που μπορεί να παρέχει ένας σύγχρονος ψηφιακός διαφορικός ηλεκτρονόμος, όπως ο SEL-587 που διαθέτει το εργαστηριακό μας σύστημα, θα περιγραφούν αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.



Σχήμα 1.12: Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμου διαφορικής προστασίας [8]

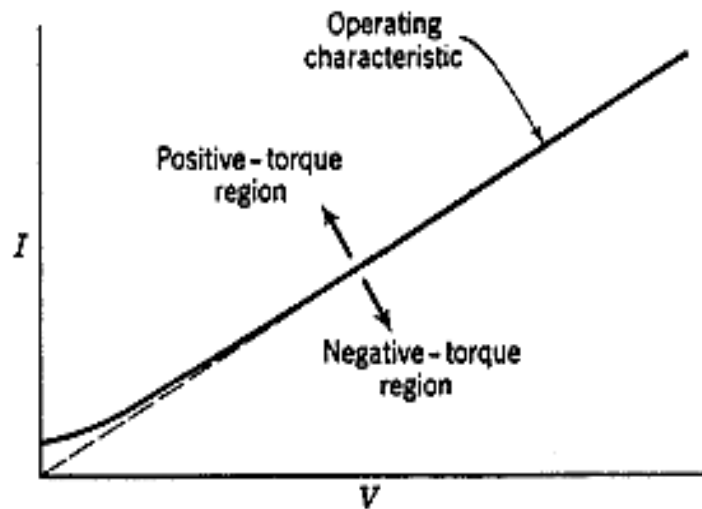
#### 1.2.4 Προστασία απόστασης

Αποτελεί το είδος προστασίας που εφαρμόζεται κατά κόρον στις γραμμές μεταφοράς και στηρίζεται στην παρακάτω βασική αρχή λειτουργίας: ο ηλεκτρονόμος μετρά την τάση και το ρεύμα στο σημείο που τοποθετείται, υπολογίζει το λόγο τους ( $Z = V/I$ ) και αν η τιμή που προκύπτει είναι μικρότερη του ορίου που έχει τεθεί, δίνεται η εντολή να ανοίξουν οι διακόπτες ισχύος που ελέγχει (trip).



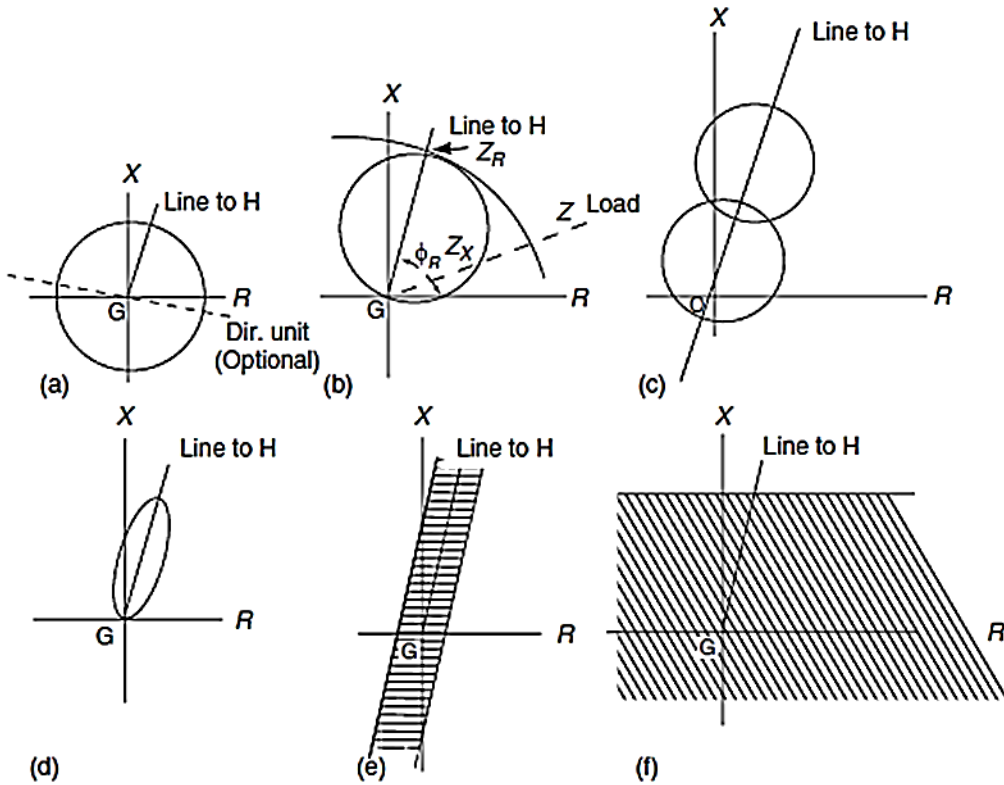
Σχήμα 1.13: Εφαρμογή ηλεκτρονόμου απόστασης [6]

Στην πράξη, ως όριο πρώτης ζώνης προστασίας απόστασης ορίζεται η σύνθετη αντίσταση που αντιπροσωπεύει το ποσοστό της γραμμής που θέλουμε να επιτηρήσουμε. Με αυτόν τον τρόπο, αν η αντίσταση  $Z$  που μετράει ο ηλεκτρονόμος είναι μικρότερη της τιμής αυτής, ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί. Η χαρακτηριστική λειτουργίας των ηλεκτρονόμων απόστασης φαίνεται στο σχήμα 1.14.

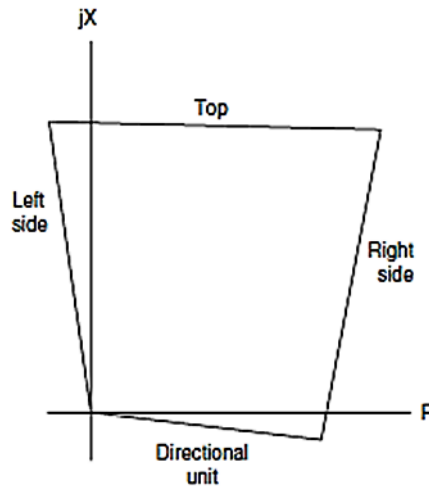


Σχήμα 1.14: Χαρακτηριστική λειτουργίας ηλεκτρονόμων απόστασης [8]

Έχει καθιερωθεί στις μελέτες προστασίας απόστασης η χρήση διαγραμμάτων  $R - X$ , στα οποία φαίνεται καθαρά ο γεωμετρικός τόπος της περιοχής λειτουργίας του ηλεκτρονόμου απόστασης, μαζί με τους πιθανούς περιορισμούς και τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε εφαρμογής. Στα σχήματα 1.15, 1.16 απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές λειτουργίες, σε διαγράμματα  $R - X$ , διάφορων τύπων ηλεκτρονόμων απόστασης, που χρησιμοποιούνται σήμερα.



**Σχήμα 1.15:** Χαρακτηριστικές λειτουργίες, σε διάγραμμα  $R - X$ , ηλεκτρονόμων απόστασης: (a) τύπου σύνθετης αντίστασης (impedance), (b) τύπου mho, (c) τύπου offset-mho, (d) τύπου lens, (e) τύπου simple blinders, (f) τύπου επαγωγικής αντίστασης (reactance) [6]



**Σχήμα 1.16:** Χαρακτηριστική λειτουργία ηλεκτρονόμου απόστασης τύπου τετραπλεύρου (quadrilateral distance relay) [6]

Οι ηλεκτρονόμοι τύπου impedance αποτελούν την αρχική και απλούστερη μορφή ηλεκτρονόμων απόστασης και η λειτουργία τους περιγράφεται από τη χαρακτηριστική του σχήματος 1.14. Απαιτούμενη ρύθμιση είναι η ακτίνα του κύκλου, ή με άλλα λόγια, το όριο της επιθυμητής ζώνης προστασίας, εκφρασμένο σε σύνθετη αντίσταση. Επειδή το συγκεκριμένο είδος σχεδιασμού είναι ανεξάρτητο της φασικής διαφοράς τάσης και ρεύματος (μπορεί να λειτουργήσει για διανύσματα τάσης και ρεύματος και στα τέσσερα τεταρτημόρια), έχει επικρατήσει η χρήση του σε συνδυασμό με στοιχείο κατεύθυνσης, για να αποτρέπεται η λειτουργία του ηλεκτρονόμου σε σφάλματα εκτός της ζώνης, που έχει ρυθμιστεί να επιτηρεί (για

παράδειγμα, στο σχήμα 1.13, θέλουμε ο ηλεκτρονόμος απόστασης να μη λειτουργεί για σφάλματα αριστερά του ζυγού G).

Οι ηλεκτρονόμοι, των οποίων η χαρακτηριστική λειτουργίας σε διάγραμμα R – X είναι κύκλος που διέρχεται από την αρχή των αξόνων, ονομάζονται τύπου mho και έχουν ευρεία χρήση στην προστασία γραμμών μεταφοράς. Δεν απαιτούν στοιχείο κατεύθυνσης και ρυθμίζονται (μέσω της ακτίνας του κύκλου, αλλά και την κλίση της διαμέτρου που περνά από την αρχή των αξόνων) έτσι ώστε να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε ρεύματος σφάλματος με επιπορεία  $60^\circ - 85^\circ$  και όσο το δυνατόν αναίσθητοι σε φορτία με γωνία  $0^\circ - 30^\circ$  επιπορείας.

Σε περίπτωση που επιθυμούμε να συμπεριλάβουμε στη ζώνη προστασίας του ηλεκτρονόμου απόστασης και μία μικρή περιοχή, πίσω από τη γραμμή μεταφοράς που επιτηρεί, σε σχέση με τη ροή ισχύος (για παράδειγμα, στο κύκλωμα του σχήματος 1.13, μια μικρή περιοχή αριστερά του ζυγού G), χρησιμοποιούμε τους ηλεκτρονόμους απόστασης τύπου offset-mho, στους οποίους εκτός από την ακτίνα και την κλίση της διαμέτρου, ρυθμίζουμε και την απόσταση (offset) που θέλουμε να απέχει το κάτω άκρο της διαμέτρου από την αρχή των αξόνων. Οι ηλεκτρονόμοι αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται επίσης και για αποδοτικότερη προστασία σε περιπτώσεις με σχεδόν μηδενική (ή και μηδενική) τάση σφάλματος.

Οι ηλεκτρονόμοι τύπου lens (φακοειδής χαρακτηριστική) και τύπου simple blinders (χαρακτηριστική απλών παρωπίδων) χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που έχουμε μεγάλες, σε μήκος, γραμμές μεταφοράς και βαριά φορτισμένες, όπου υπάρχει ο κίνδυνος το διάνυσμα της συνολικής σύνθετης αντίστασης που υπολογίζει ο ηλεκτρονόμος, να έχει το πέρας του εντός του κύκλου, αν κάναμε χρήση ηλεκτρονόμων τύπου impedance.

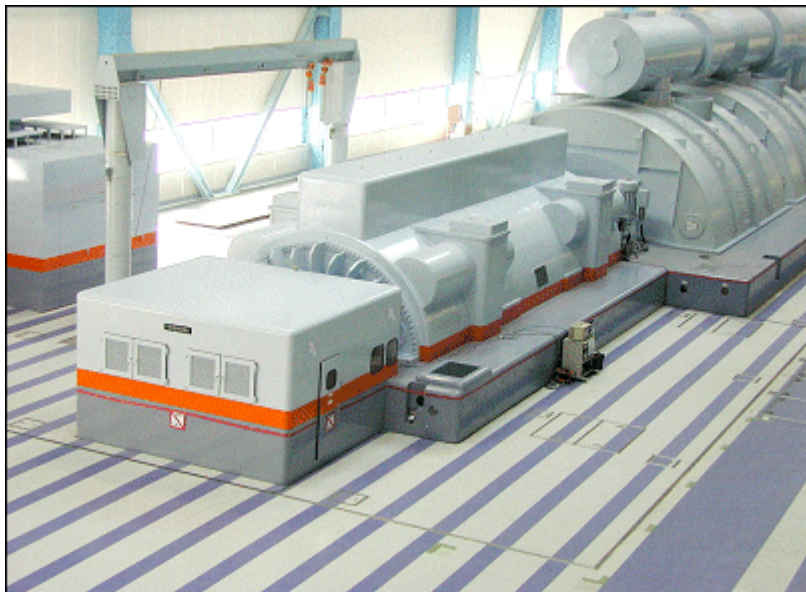
Η χαρακτηριστική των ηλεκτρονόμων τύπου reactance είναι μία ευθεία παράλληλη στον άξονα R, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.15 (f). Δε διαθέτουν λειτουργία κατεύθυνσης, συνεπώς, μπορούν να λειτουργήσουν για σφάλματα εκτός της ζώνης προστασίας τους καθώς και για μεγάλα φορτία ή ταλαντώσεις του συστήματος και γι' αυτό συνήθως, περιορίζεται αυτή τους η αδυναμία με την ταυτόχρονη χρήση ηλεκτρονόμων τύπου mho.

Η εξέλιξη και εδραίωση των ψηφιακών ηλεκτρονόμων έδωσε την ευκαιρία στους σχεδιαστές και μελετητές των Σ.Η.Ε., να μπορούν να δημιουργήσουν χαρακτηριστικές λειτουργίας, για τους ηλεκτρονόμους απόστασης, οποιασδήποτε μορφής επιθυμούν. Ένα τέτοιο παράδειγμα χαρακτηριστικής φαίνεται στο σχήμα 1.16, η οποία ανήκει σε ηλεκτρονόμο απόστασης τύπου τετραπλεύρου. Στην ουσία πρόκειται για συνδυασμό στοιχείων τύπου επαγωγικής αντίστασης (πάνω πλευρά), τύπου αντίστασης (δεξιά και αριστερή πλευρά) και στοιχείου κατεύθυνσης (κάτω πλευρά), τα οποία δημιουργούν τον επιθυμητό γεωμετρικό τόπο. Η δυνατότητα σχηματισμού οποιασδήποτε πολυγωνικής μορφής χαρακτηριστικών λειτουργίας δεν υπήρχε στους κλασικούς ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους, γεγονός που αναδεικνύει τη σπουδαιότητα της χρήσης ευέλικτων ψηφιακών ηλεκτρονόμων για προστασία απόστασης.

### **1.3 Προστασία Εξοπλισμού Σ.Η.Ε. (Protection Of Power Apparatus)**

Στην ενότητα αυτή, κάνουμε εκτενή αναφορά στα είδη των προστασιών που εφαρμόζονται στον εξοπλισμό των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Για λόγους πληρότητας, σε κάθε στοιχείο προστασίας σημειώνουμε και τον αντίστοιχο κωδικό του, σύμφωνα με το πρότυπο IEEE Std C37.2™-2008 (IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations). Στο παράρτημα Α, έχουμε συγκεντρώσει τους κωδικούς όλως των συσκευών και των λειτουργιών ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτοί είναι καταγεγραμμένοι στο εν λόγω πρότυπο.

### 1.3.1 Προστασία γεννήτριας (Generator protection)



*Εικόνα 1.3: Υδροψυκτη διπολική γεννήτρια 60 Hz ισχύος 1120 MVA*

Οι γεννήτριες αποτελούν το σημαντικότερο, από κάθε άποψη, στοιχείο ενός Σ.Η.Ε., γεγονός που καθιστά αναγκαία την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας τους καθώς και την προστασία τους από σφάλματα και λειτουργικές διαταραχές, που μπορούν να αποδειχτούν επιβλαβείς γι' αυτές.

Πριν καταγράψουμε τα διάφορα είδη προστασιών που χρησιμοποιούνται, θα αναφέρουμε τους σημαντικότερους τύπους βλαβών και γενικότερων προβλημάτων, που μπορούν να εμφανιστούν σε γεννήτριες.

#### Ηλεκτρικά σφάλματα

- Ηλεκτρικά σφάλματα (σφάλματα μεταξύ φάσεων ή σφάλματα γης) στα τυλίγματα του στάτη (phase or ground faults in the stator)
- Ηλεκτρικά σφάλματα (σφάλματα γης) στο δρομέα (ground faults in the rotor)
- Απώλεια πεδίου διέγερσης (Loss-of-field excitation)
- Υπερβολική ροή (Overexcitation)
- Ακούσια ενεργοποίηση ή ηλεκτρίση (Inadvertent energization)
- Ασύμμετρη φόρτιση (Unbalanced currents)
- Λειτουργία υπό απαράδεκτη συχνότητα (Off-frequency operation)
- Μη εκκαθάριση σφαλμάτων συστήματος (Uncleared system faults)
- Υπέρταση (Overvoltage)
- Απώλεια συγχρονισμού (Loss of synchronism)
- Ταλαντώσεις υποσύγχρονης συχνότητας (Subsynchronous oscillations)
- Απώλεια σήματος Μ/Σ τάσης προς τους ηλεκτρονόμους και το ρυθμιστή τάσης (Loss of voltage transformer signal to relaying or voltage regulator)
- Αστοχία διακόπτη γεννήτριας (Generator breaker failure)

#### Μηχανικά σφάλματα

- Απώλεια της κινητήριας μονάδας (Loss of prime-mover)
- Υπερθέρμανση (Thermal overload)
- Υπερτάχυνση (Overspeeding)
- Παραμόρφωση δρομέα (Rotor distortion)
- Αποτυχία στη λίπανση της γεννήτριας (Lubrication oil failure)
- Υπερβολικοί κραδασμοί και ταλαντώσεις στα μηχανικά μέρη (Excessive vibration)

- Απώλεια κενού στο συμπυκνωτή (Loss of condenser vacuum)

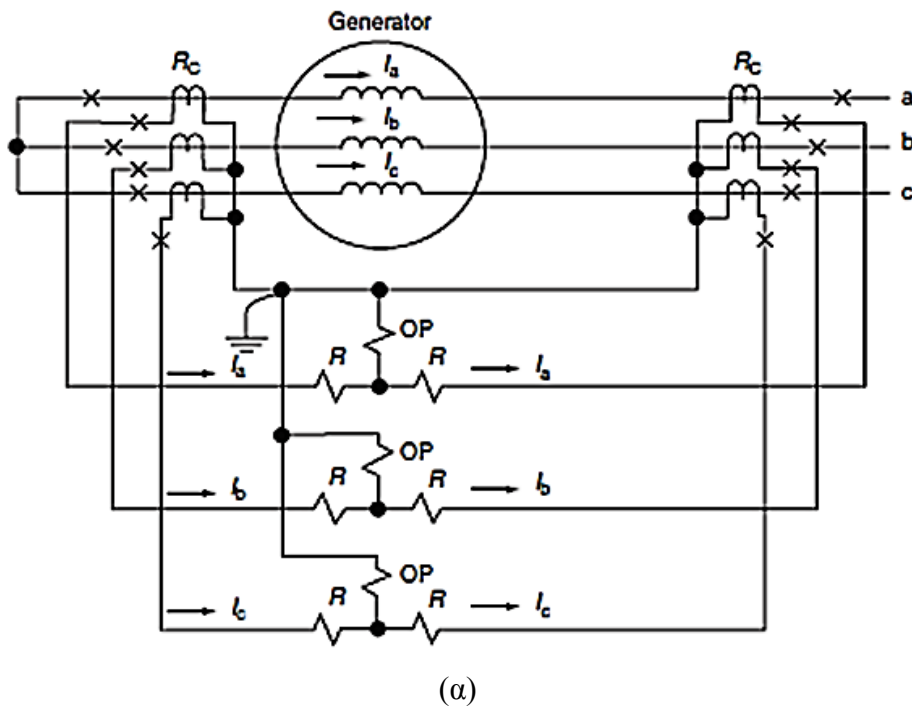
Για την αποφυγή των δυσάρεστων συνεπειών που μπορεί να προκύψουν από τη μη έγκαιρη εκκαθάριση των παραπάνω ανεπιθύμητων συνθηκών λειτουργίας, σχεδιάστηκαν και εφαρμόζονται σε όλες τις μονάδες παραγωγής διάφορα είδη προστασιών, τα βασικότερα των οποίων αναφέρουμε στη συνέχεια. Επισημαίνουμε ότι οι προστασίες που αναφέρονται, αφορούν σύγχρονες γεννήτριες, διότι έχουν τη μεγαλύτερη εφαρμογή στις μονάδες παραγωγής.

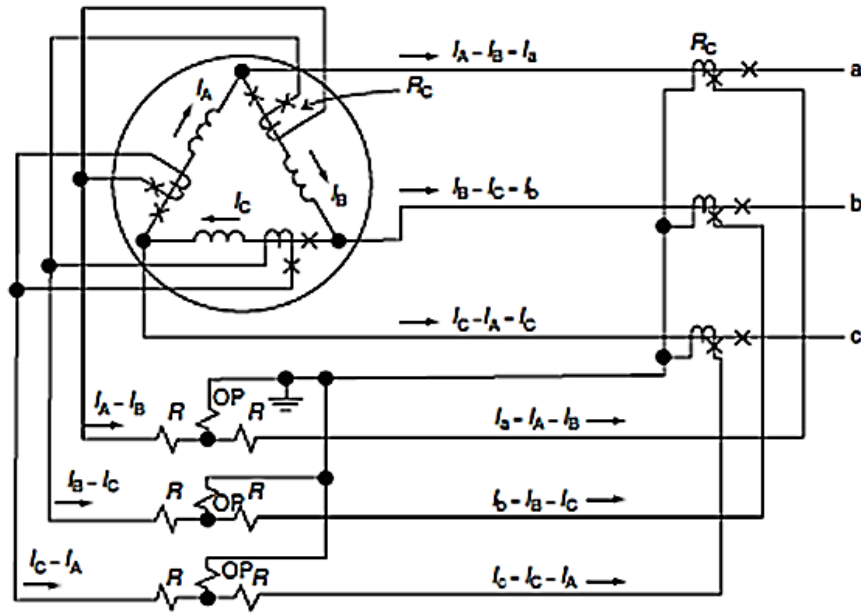
### 1.3.1.1 Προστασίες στάτη

- Διαφορική προστασία (87G)

Αποτελεί την κύρια προστασία του τυλίγματος του στάτη. Είναι απαραίτητη για μεγάλες μονάδες παραγωγής (άνω των 10 MVA), αν και συχνά χρησιμοποιείται και σε μικρότερες (μέχρι και 1 MVA). Σε μικρότερης ισχύος γεννήτριες, όπου η διαφορική προστασία δεν εφαρμόζεται, ως κύρια χρησιμοποιείται η προστασία υπερέντασης.

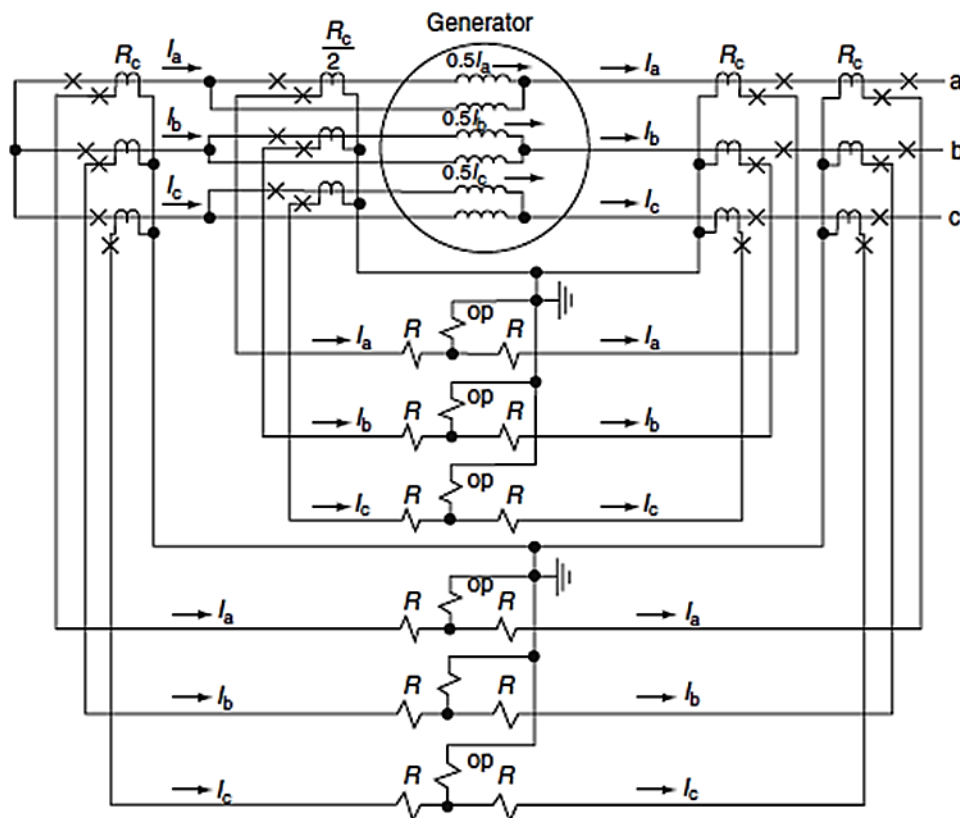
Στο σχήμα 1.17 φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας του ηλεκτρονόμου διαφορικής προστασίας, ανάλογα με τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων της γεννήτριας. Η διαφορική προστασία, όμως, δεν ενεργοποιείται για σφάλματα μεταξύ σπειρών της ίδιας φάσης, δεδομένου ότι δε θα παρουσιαστεί διαφορά ρευμάτων στα άκρα των τυλιγμάτων. Λόγω των καταστρεπτικών συνεπειών ενός τέτοιου σφάλματος σε μεγάλες γεννήτριες, συνήθως το τύλιγμα κάθε φάσης χωρίζεται σε δύο παράλληλους κλάδους (split-winding generators) και συγκρίνονται τα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα στους κλάδους αυτούς. Η εφαρμογή της διαφορικής προστασίας σε τέτοιου είδους γεννήτριες φαίνεται στο σχήμα 1.18.





(β)

Σχήμα 1.17: Διαφορική προστασία γεννήτριας σε συνδεσμολογία: (α) αστέρα, (β) τρίγωνο [6]



Σχήμα 1.18: Διαφορική προστασία γεννήτριας με παράλληλους κλάδους στα τυλίγματα ίδιας φάσης [6]

- Δευτερεύουσα προστασία (Backup protection)

Η δευτερεύουσα προστασία στις γεννήτριες παρέχεται μέσω της ελεγχόμενης προστασίας υπερέντασης από τάση 51C ή 51V (Voltage-controlled or voltage-restrained time-overcurrent protection), η οποία είναι υπεύθυνη για την προστασία από τριφασικά βραχυκυκλώματα εντός



της μονάδας παραγωγής, ή μέσω της προστασίας απόστασης 21 (Phase-distance protection), που επιτηρεί και προστατεύει τη γεννήτρια από τυχόντα σφάλματα φάσης.

- **Προστασία στάτη έναντι σφαλμάτων γης (Stator ground-fault protection)**

Η συγκεκριμένη προστασία εφαρμόζεται όπου η γείωση της γεννήτριας γίνεται μέσω σύνθετης αντίστασης, η οποία περιορίζει το ρεύμα σφάλματος γης, σε τιμές μικρότερες από τη ρύθμιση κατωφλίου της διαφορικής προστασίας ή της προστασίας υπέρεντασης. Τέτοιου είδους σφάλματα εντοπίζονται κάτω από το 5% του τυλίγματος στάτη προς τον κοινό κόμβο του αστέρα και υπάρχει κίνδυνος να μην εντοπιστούν από την κύρια προστασία. Η μελέτη και η κατάλληλη ρύθμιση αυτού του είδους προστασίας εξαρτάται από τη μέθοδο γείωσης (βλ. ενότητα 1.5) και τον τρόπο σύνδεσης με το Σ.Η.Ε. Τα βασικά στοιχεία της προστασίας σφάλματος γης στάτη είναι:

- στιγμιαίος (50GN) και αντιστρόφου χρόνου (51GN) ηλεκτρονόμος υπέρεντασης,
- διαφορικό στοιχείο (87GN),
- ηλεκτρονόμοι υπέρτασης (59GN) και υπότασης (27GN).

- **Προστασία υπέρτασης 59 (Overvoltage protection)**

Αναφερόμαστε στις υπερτάσεις βιομηχανικής συχνότητας και όχι σε κρουστικές υπερτάσεις (π.χ. από κεραυνοπληξίες, για την αντιμετώπιση των οποίων αναφερόμαστε στην ενότητα 1.4). Πιθανή αιτία εμφάνισης υπερτάσεων είναι η ξαφνική απώλεια μεγάλου φορτίου που τροφοδοτεί η γεννήτρια, που έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση του ρεύματος διέγερσης και κατά συνέπεια τον κορεσμό των σιδηρών περιοχών της γεννήτριας. Τέτοιου είδους συνθήκες λειτουργίας επιφέρουν τρομακτικές απώλειες και αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της γεννήτριας με αποτέλεσμα την καταστροφή της (μερική ή ολική). Σε περίπτωση παρουσίας υπέρτασης, ο αυτόματος ρυθμιστής τάσης (AVR) και ο αυτόματος ρυθμιστής στροφών στροβίλου αναλαμβάνουν τη διόρθωση της κατάστασης. Πιθανή εσφαλμένη ή αποτυχία λειτουργίας τους έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου υπέρτασης.

- **Προστασία υπότασης 27 (Undervoltage protection)**

Χρησιμοποιείται σε σπάνιες περιπτώσεις ως προστασία γεννήτριας (π.χ. όταν η γεννήτρια τροφοδοτεί ένα απομονωμένο Σ.Η.Ε.). Συνήθως, οι ηλεκτρονόμοι υπότασης έχουν το ρόλο του μανδαλωτή (latch) σε άλλα σχήματα προστασίας, όπως η προστασία απώλειας πεδίου ή ακούσιας ενεργοποίησης, όπου η προς ανίχνευση ανωμαλία οδηγεί άμεσα ή έμμεσα σε κατάσταση υπότασης.

- **Προστασία ισχύος αντίστροφης φοράς 32 (Reverse power protection)**

Όταν, για κάποιο λόγο, η κινητήρια μηχανή (prime-mover) της μονάδας παραγωγής απομακρυνθεί και χαθεί η σύνδεσή της με τη γεννήτρια, ενώ αυτή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο και ταυτόχρονα το κύκλωμα διέγερσής της λειτουργεί κανονικά, υπάρχει κίνδυνος η γεννήτρια να μετατραπεί σε κινητήρα, απορροφώντας ισχύ από το σύστημα. Η ανωμαλία αυτή δεν είναι πάντα επικίνδυνη για τη γεννήτρια, αλλά μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στο κινητήριο σύστημα. Ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε τέτοιου είδους συνθήκες είναι οι ατμοστρόβιλοι και οι υδροστρόβιλοι.

- **Προστασία από ρεύματα αρνητικής ακολουθίας 46 (Negative-sequence current protection)**

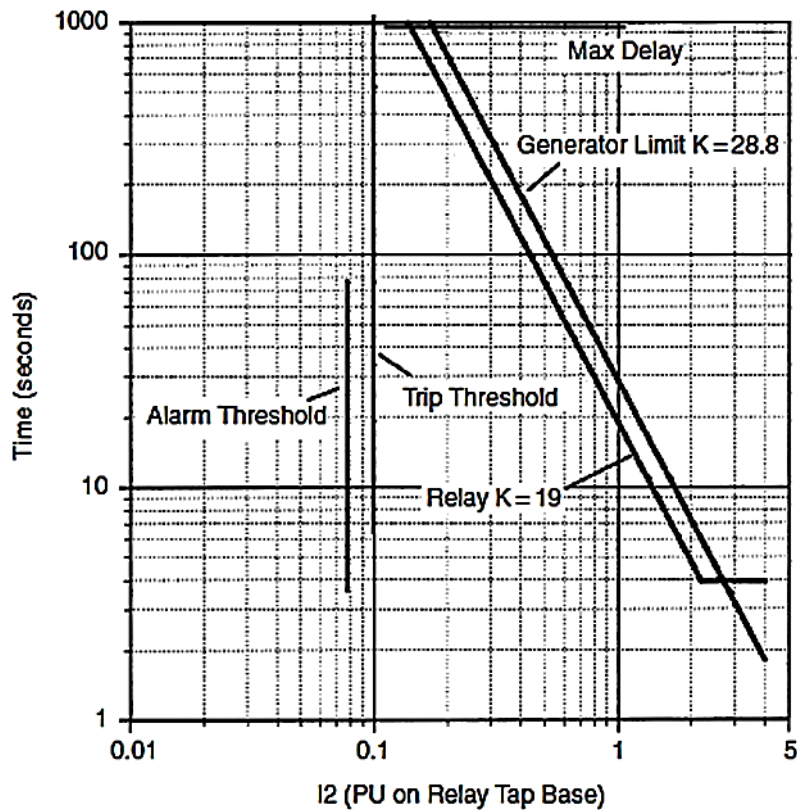
Η ασύμμετρη φόρτιση της γεννήτριας ή μη έγκαιρη εκκαθάριση ασύμμετρων σφαλμάτων στο δίκτυο που συνδέεται έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ρευμάτων αρνητικής ακολουθίας στα τυλίγματα του στάτη. Τα ρεύματα αυτά επάγονται στο σώμα του δρομέα, όπου και εμφανίζονται ως δινορρέυματα διπλάσιας συχνότητας, τα οποία επιφέρουν έντονη υπερθέρμανση

και υπάρχει η πιθανότητα πρόκλησης ανεπανόρθωτων βλαβών σε αυτόν, αν διαρκέσουν πέραν του επιτρεπτού χρόνου.

Η προστασία της γεννήτριας από αυτές τις συνθήκες επιτυγχάνεται με τη χρήση στοιχείων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου, που λειτουργούν για ρεύματα αρνητικής ακολουθίας, με χαρακτηριστική καμπύλη που δίνεται από τη σχέση:

$$I_2^2 \cdot t = K$$

Συχνά, χρησιμοποιούνται σημάσεις (alarms), όταν η ένταση του ρεύματος  $I_2$  είναι στο διάστημα 0,03 – 0,2 α.μ. Η τιμή της σταθεράς  $K$  ποικίλει ανάλογα με το είδος της γεννήτριας. Παράδειγμα χαρακτηριστικής ηλεκτρονόμου που εκτελεί αυτού του είδους προστασία και ορίου αντοχής της γεννήτριας, στην οποία εφαρμόζεται, απεικονίζεται στο σχήμα 1.19.



*Σχήμα 1.19: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου με το όριο αντοχής της γεννήτριας [11]*

- **Προστασία έναντι ακούσιας ενεργοποίησης (Inadvertent energization protection)**

Αν μια γεννήτρια ενεργοποιηθεί (π.χ. από λανθασμένο κλείσιμο του διακόπτη ισχύος της γεννήτριας) και δεν πληρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις, έχει ως αποτέλεσμα να λειτουργεί ως κινητήρας και υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν σοβαρές ζημιές στα σιδηρά μέρη της, λόγω υπερθερμάνσεων. Για να προστατεύσουμε τη γεννήτριά μας από μια τέτοια ανεπιθύμητη κατάσταση, χρησιμοποιούμε τρεις ηλεκτρονόμους υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου με στοιχείο κατεύθυνσης (67), έναν για κάθε φάση, ούτως ώστε να λειτουργούν όταν αντιλαμβάνονται ροή ισχύος αντίστροφης φοράς. Αυτό το είδος προστασίας αντικαθιστά την προστασία ισχύος αντίστροφης φοράς, διότι έχει καλύτερη συμπεριφορά στην περίπτωση της ακούσιας ενεργοποίησης. Υπάρχουν και άλλα σχήματα που μπορούν να προσφέρουν τέτοιου είδους προστασία, όπως για παράδειγμα ηλεκτρονόμοι υπερέντασης ελεγχόμενοι από συχνότητα ή από τάση (frequency or voltage supervised overcurrent relays).

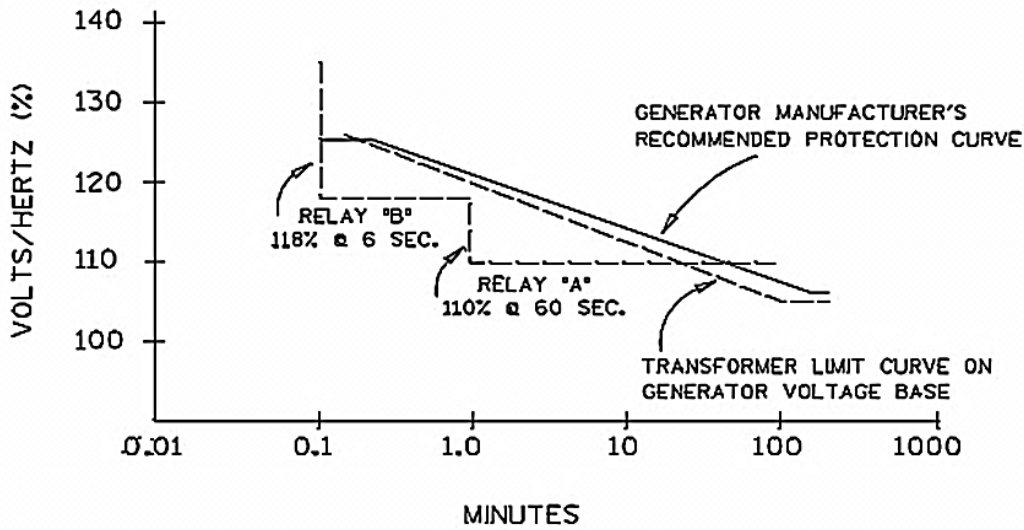
• Προστασία υπερβολικής ροής 24 (Volts/Hertz Protection)

Η μαγνητική ροή σε μια γεννήτρια και γενικά σε όλα τα είδη εξοπλισμού που αποτελούνται από πυρήνα σιδήρου, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

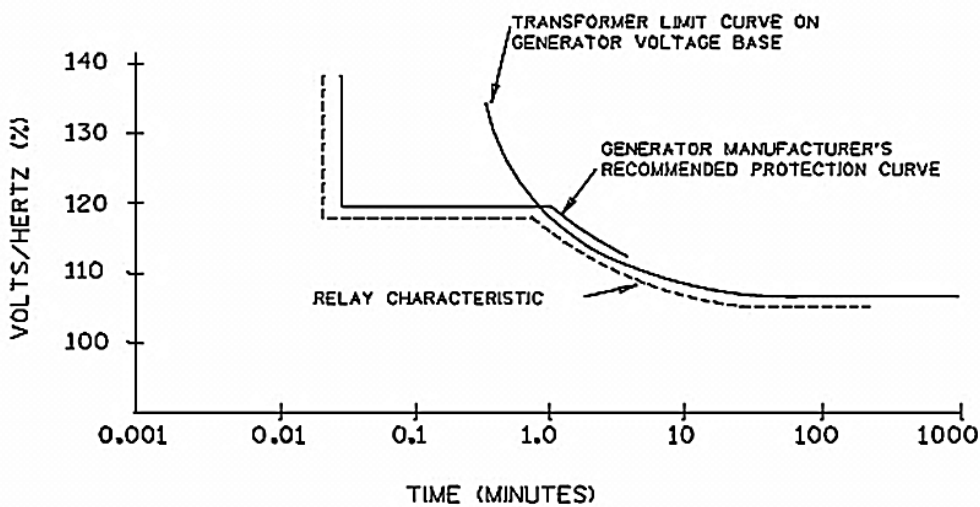
$$e = N \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \sqrt{2}V_{rms} \cos(\omega t) = N \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \phi(t) = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{N\omega} \sin(\omega t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Phi_{max} = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{N2\pi f} \Rightarrow \Phi_{max} \propto \frac{V}{f}$$

Από τη σχέση αυτή, συμπεραίνουμε ότι η εμφάνιση υπέρτασης ή η εμφάνιση χαμηλής συχνότητας ή και των δύο ταυτόχρονα για παρατεταμένο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει πολύ μεγάλη ροή στο μαγνητικό κύκλωμα της γεννήτριας με αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή της και την πρόκληση σοβαρών βλαβών σε αυτή. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται τα στοιχεία Volts/Hertz με ρύθμιση σταθερού ή αντίστροφου χρόνου ή συνδυασμού και των δύο. Παραδείγματα χαρακτηριστικών καμπυλών των στοιχείων αυτών φαίνονται στα σχήματα 1.20 (α), (β).



(α)



(β)

Σχήμα 1.20: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου Volts/Hertz (α) με διπλό στοιχείο σταθερού χρόνου, (β) με συνδυασμό σταθερού και αντίστροφου χρόνου [35]

- **Προστασία έναντι απαράδεκτης συχνότητας 81 (Abnormal frequency protection)**

Συνθήκες υποσυχνότητας ή υπερσυχνότητας (όπως ονομάζονται οι συχνότητες με τιμές εκατέρωθεν της ονομαστικής) μπορούν να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος σε μια γραμμή μεταφοράς και έχουν ως αποτέλεσμα το ένα μέρος του Σ.Η.Ε. να είναι υπερφορτισμένο και το άλλο υποφορτισμένο, με συνέπεια την πρόκληση σοβαρών βλαβών στην κινητήρια μονάδα. Επίσης, παρόμοιες συνθήκες παρουσιάζονται κατά την ένταξη ή τον αποκλεισμό μονάδων παραγωγής από το υπόλοιπο Σ.Η.Ε.. Η ρύθμιση της συχνότητας στις γεννήτριες γίνεται μέσω του ρυθμιστή των στροφών στο κινητήριο σύστημα και η επιτήρηση μέσω κατάλληλου ηλεκτρονόμου, που διακόπτει τη λειτουργία των γεννητριών, όταν παρατηρούνται συχνότητες εκτός των προδιαγεγραμμένων ορίων, πέραν ορισμένου χρονικού διαστήματος.

- **Προστασία έναντι απώλειας σήματος μετασηματιστών τάσης 60 (Loss of VTs signal)**

Ο ηλεκτρονόμος που παρέχει αυτού του είδους προστασία στη γεννήτρια λειτουργεί, όταν εντοπίσει διαφορά ανάμεσα στην τάση που εισέρχεται στους ηλεκτρονόμους προστασίας και την επιθυμητή (π.χ. λόγω καμένων ασφαλειών στους μετασηματιστές τάσης). Η προστασία αυτή είναι απαραίτητη, διότι σε περίπτωση μέτρησης λανθασμένων ηλεκτρικών μεγεθών από τους ηλεκτρονόμους και το ρυθμιστή τάσης, θα έχουμε σαν αποτέλεσμα την αστοχία τους σε επικίνδυνες καταστάσεις ή την πιθανή ενεργοποίησή τους σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας της γεννήτριας.

- **Προστασία έναντι απώλειας συγχρονισμού 78 (Loss of synchronism protection)**

Είναι πιθανό κατά τη διάρκεια εσφαλμένης λειτουργίας της γεννήτριας να παρατηρηθεί απώλεια στο συγχρονισμό της με το υπόλοιπο Σ.Η.Ε. (out-of-step conditions). Αυτό μπορεί να συμβεί για διάφορους λόγους, όπως για παράδειγμα λόγω της απώλειας του πεδίου διέγερσης και είναι επιτακτική η ανάγκη απομόνωσης της γεννήτριας, αν δε διορθωθεί έγκαιρα.

### 1.3.1.2 Προστασίες δρομέα

- **Προστασία δρομέα έναντι σφαλμάτων γης στο κύκλωμα διέγερσης 64F (Field ground protection)**

Το τυλίγμα διέγερσης είναι κατά κανόνα αγείοτο (dc κύκλωμα). Η εμφάνιση σφάλματος γης σε ένα σημείο του, δεν προκαλεί αρχικά κάποιο πρόβλημα λειτουργίας στη γεννήτρια. Η εκδήλωση όμως ενός επιπρόσθετου σφάλματος γης, σε κάποιο άλλο σημείο του τυλίγματος διέγερσης, θα είχε σαν αποτέλεσμα, ένα μέρος του τυλίγματος να είναι βραχυκυκλωμένο, με συνέπεια την ανάπτυξη επικίνδυνων θερμοκρασιών στο δρομέα και την εμφάνιση επιβλαβών μηχανικών ταλαντώσεων στο σώμα του. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε τον ηλεκτρονόμο 64F, ο οποίος προστατεύει το κύκλωμα διέγερσης από σφάλματα γης.

- **Προστασία έναντι απώλειας πεδίου διέγερσης 40 (Loss of field protection)**

Αν η γεννήτρια τροφοδοτεί ένα Σ.Η.Ε. και διακοπεί η διέγερσή της, θα εξακολουθήσει να στρέφεται, με ταχύτητα μεγαλύτερη από τη σύγχρονη και θα λειτουργεί ως ασύγχρονη γεννήτρια. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη επαγόμενων ρευμάτων στα τυλίγματα απόσβεσης και στις σιδηρές μάζες του δρομέα και κατά συνέπεια την υπερθέρμανσή του και την πρόκληση βλάβης σε αυτόν. Επιπρόσθετα, ενώ θα αποδίδει ενεργό ισχύ στο σύστημα, ταυτόχρονα θα απορροφά άεργο, με το ρεύμα του στάτη να αυξάνεται στο διπλάσιο ως τετραπλάσιο του ονομαστικού και την τάση του συστήματος να σημειώνει επικίνδυνη πτώση. Για το λόγο αυτό, το συγκεκριμένο είδος προστασίας είναι σημαντικό για την ασφαλή λειτουργία των γεννητριών και ιδιαίτερα αυτών με μεγάλη ονομαστική ικανότητα.

*1.3.1.3 Προστασίες έναντι μηχανικών καταπονήσεων*

- **Προστασία υπερθέρμανσης στάτη 49 (Thermal overload protection)**

Υπερθέρμανση στο στάτη της γεννήτριας μπορεί να προκληθεί από π.χ. υπερφόρτιση, αποτυχία συστήματος ψύξης, υπερβολική ροή, σφάλματα πυρήνα κ.α. Συνήθως, οι μεγάλες γεννήτριες διαθέτουν ανιχνευτές θερμοκρασίας στα τυλίγματα τους (Resistance Temperature Detectors, RTDs), οι οποίοι στέλνουν σήμα στον ηλεκτρονόμο υπερθέρμανσης και αυτός με τη σειρά του ενεργοποιεί ένα σήμα κινδύνου (alarm) ή σήμα για ενεργοποίηση της προστασίας (trip).

- **Προστασία υπερτάχυνσης (Overspeeding protection)**

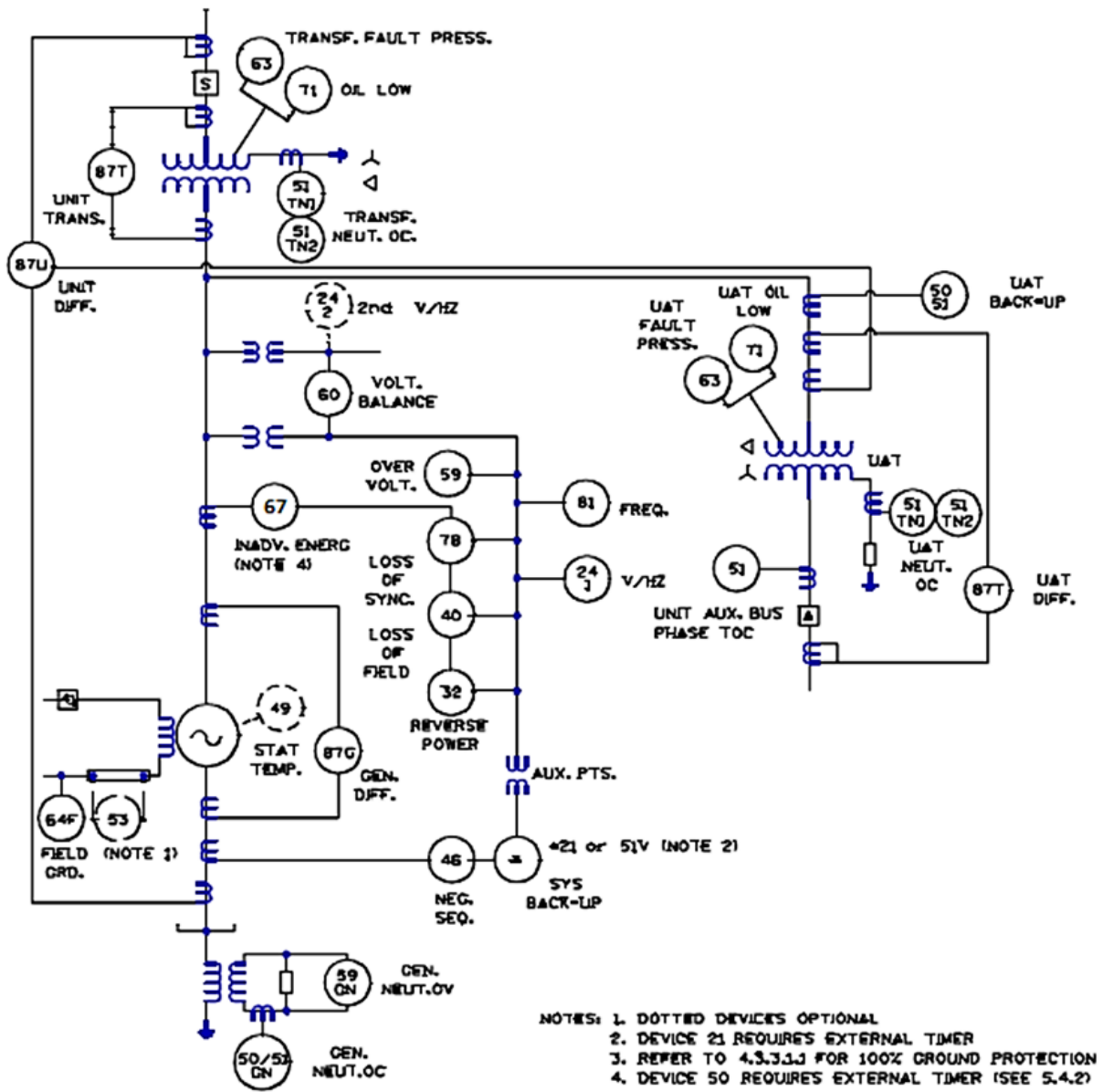
Η ταχύτητα σε μια στροβιλογεννήτρια αυξάνεται όταν η είσοδος του ατμού υπερβαίνει την απαραίτητη ποσότητα για την οδήγηση του φορτίου υπό ονομαστική συχνότητα. Μέσω του ρυθμιστή στροφών μπορεί να ελέγχεται και να ρυθμίζεται η ταχύτητα του κινητήριου συστήματος και κατά συνέπεια και του δρομέα, όπως έχουμε προαναφέρει. Σε περιπτώσεις, όμως, απόρριψης μεγάλου φορτίου, η γεννήτρια αρχίζει και επιταχύνει ραγδαία, με αποτέλεσμα τη μηχανική καταπόνηση του δρομέα και κατά συνέπεια την ενεργοποίηση των συσχετιζόμενων προστασιών.

- **Προστασία απώλειας κενού συμπυκνωτή (Loss of condenser vacuum)**

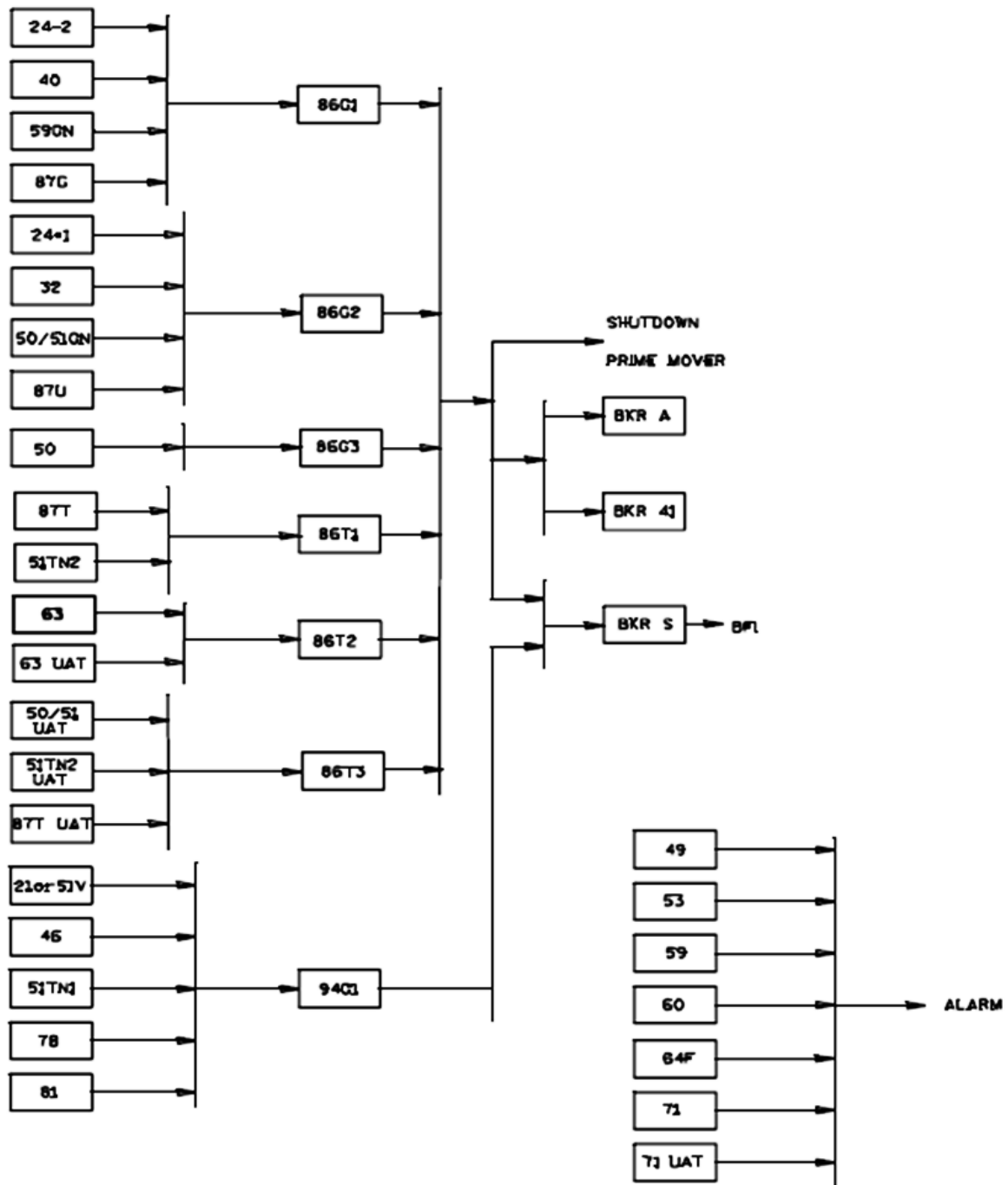
Η απώλεια του κενού στους συμπυκνωτές μονάδων παραγωγής με ατμοστρόβιλους έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των αγωγών ατμού και την ανύψωση της θερμοκρασίας στο τμήμα χαμηλής πίεσης του στροβίλου. Στην περίπτωση αυτή, η προστασία απώλειας κενού συμπυκνωτή θα δώσει σήμα να ανοίξουν οι ασφαλιστικές βαλβίδες εκτόνωσης του στροβίλου καθώς και ο διακόπτης ισχύος της γεννήτριας.

Στο σχήμα 1.21 απεικονίζεται το σύστημα προστασιών μονάδας παραγωγής που διαθέτει, εκτός από τη γεννήτρια, μετασχηματιστή ισχύος ανύψωσης για σύνδεση με το Σ.Η.Ε. και μετασχηματιστή ισχύος υποβιβασμού για τη σύνδεση με το δίκτυο εσωτερικών υπηρεσιών της μονάδας.

Επιπλέον, στο σχήμα 1.22 φαίνεται το αντίστοιχο λογικό κύκλωμα ελέγχου της μονάδας παραγωγής, που έχει για εισόδους τις εξόδους των ηλεκτρονόμων προστασίας και εξόδους σήματα για το άνοιγμα των διακοπών ισχύος (trip signals) ή ενεργοποίηση των σημάτων κινδύνου (alarm signals).



Σχήμα 1.21: Σύστημα προστασιών σε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [24]



Σχήμα 1.22: Κύκλωμα ελέγχου προστασιών της μονάδας παραγωγής του σχήματος 1.21 [24]

### 1.3.2 Προστασία μετασχηματιστή ισχύος (Power transformer protection)



*Εικόνα 1.4: Μετασχηματιστής ισχύος με OLTC 110 KV/6,6 KV, 63 MVA*

Οι μετασχηματιστές ισχύος αποτελούν μία από τις σημαντικότερες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συνιστώσες ενός Σ.Η.Ε.. Λόγω της υψηλής τιμής τους, αλλά και του μεγάλου χρονικού διαστήματος που απαιτείται για τη συντήρηση ή την αντικατάστασή τους, είναι απαραίτητη η πλήρης προστασία τους από εσωτερικά ή εξωτερικά σφάλματα, με στόχο την πρόκληση της ελάχιστης δυνατής βλάβης, σε περίπτωση σφάλματος.

Στο σημείο αυτό, καταγράφουμε τα διάφορα είδη σφαλμάτων που μπορούν να εμφανιστούν σε ένα μετασχηματιστή ισχύος, τα οποία πρέπει να λαμβάνει υπόψη του ο μελετητής προστασίας του.

#### **Εσωτερικά σφάλματα (Internal faults)**

- **Ηλεκτρικά**
  - Σφάλματα γης και σφάλματα φάσης στα τυλίγματα (Winding phase – phase, phase – ground faults)
  - Σφάλματα στις σπείρες των τυλιγμάτων (Winding inter-turn faults)
  - Απώλεια μόνωσης πυρήνα – βραχυκυκλωμένα ελάσματα (Core insulation failure – shorted laminations)
  - Σφάλματα στο κέλυφος (Tank faults)
- **Μηχανικά**
  - Βλάβη του συστήματος αλλαγής τάσης υπό φορτίο, ΣΑΤΥΦ (On-load tap changer, OLTC, damage)
  - Αλλοίωση του λαδιού και δημιουργία αερίων (Deterioration of oil and generation of different types of gases)
  - Απώλεια λαδιού λόγω διαρροής (Loss of oil by leakage)
  - Μεταβολή της πίεσης στο εσωτερικό του μετασχηματιστή (Sudden pressure change)
  - Σφάλματα στο σύστημα ψύξης (System cooling faults)



**Εξωτερικά σφάλματα (External faults)**

- Βραχυκυκλώματα σε διάφορα σημεία του Σ.Η.Ε. (system short circuits)

**Αντικανονικές συνθήκες λειτουργίας (Abnormal operating conditions)**

- Υπερφορτίσεις (Overloads)
- Υπερτάσεις (Overvoltages)
- Υπερβολική ροή (Overflux or overexcitation)

Στη συνέχεια αναφέρουμε τα σημαντικότερα είδη προστασιών που εφαρμόζονται στους μετασχηματιστές ισχύος.

- **Διαφορική προστασία 87T**

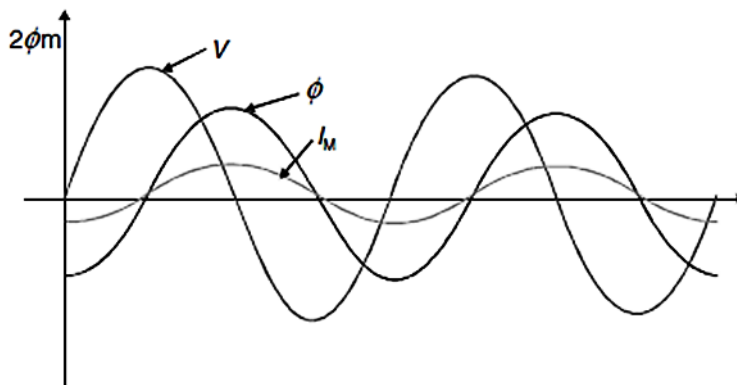
Είναι το πιο ευρέως εφαρμοζόμενο είδος προστασίας για τους μετασχηματιστές ισχύος, λόγω της πολύ μεγάλης ευαισθησίας που έχει σε περίπτωση εσωτερικών ηλεκτρικών σφαλμάτων. Τα εσωτερικά σφάλματα αναφέρονται σε αυτά που εμφανίζονται στα τυλίγματα των μετασχηματιστών και διακρίνονται σε: σφάλματα μεταξύ σπειρών του ίδιου τυλίγματος (turn-to-turn faults), σφάλματα μεταξύ τυλιγμάτων (winding-to-winding faults) και σφάλματα μεταξύ τυλίγματος και γης (winding-to-ground faults).

Χρησιμοποιείται απαραίτητως σε μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος (άνω των 10 MVA), αλλά και σε περιπτώσεις μικρότερης ισχύος, όπου κρίνεται αναγκαίο. Σε συστήματα αγειώτα ή γειωμένα με μεγάλη σύνθετη αντίσταση, η διαφορική προστασία είναι ανίκανη να επιτηρήσει και να προστατεύσει το μετασχηματιστή από σφάλματα γης. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται επιπλέον προστασία για την ανίχνευση τέτοιων σφαλμάτων.

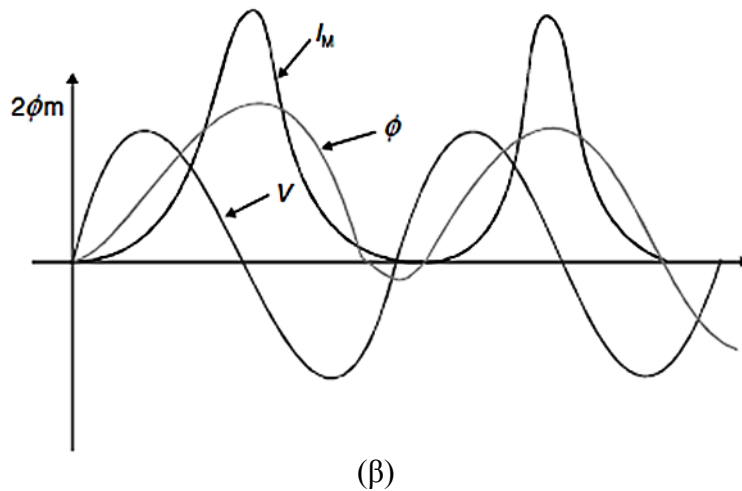
Η λειτουργία της διαφορικής προστασίας είναι πιθανό να προκληθεί και σε περιπτώσεις που δεν είναι επιθυμητή, αν δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Στη συνέχεια, καταγράφουμε και αναλύουμε τους παράγοντες αυτούς που μπορούν να προκαλέσουν την ανεπιθύμητη λειτουργία της.

1. **Ρεύμα ζεύξης (Magnetizing inrush current)**

Ως γνωστόν, κατά τη σύνδεση των μετασχηματιστών στο σύστημα, παρατηρείται ένα μεταβατικό ρεύμα μαγνήτισης, με έντονο περιεχόμενο σε αρμονικές συνιστώσες άρτιας τάξης (κυρίως 2<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> τάξης) και dc συνιστώσα, πολλαπλάσιας τιμής του ονομαστικού (8 – 30% του ονομαστικού, όταν το ρεύμα μαγνήτισης υπό κανονικές συνθήκες είναι της τάξης του 2 – 5%), για διάστημα περίπου 10 κύκλων. Το ρεύμα αυτό μπορεί να προκαλέσει τη λειτουργία της διαφορικής προστασίας και γι' αυτό λαμβάνονται ειδικά μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου από τους μελετητές προστασίας. Η μορφή του ρεύματος μαγνήτισης σε κανονική λειτουργία και κατά τη ζεύξη φαίνεται στο σχήμα 1.23.



(α)



**Σχήμα 1.23:** Ρεύμα μαγνήτισης μετασχηματιστή (α) σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, (β) κατά τη ζεύξη [9]

### 2. Κορεσμός των μετασχηματιστών έντασης (CT saturation)

Ο πιθανός κορεσμός στους μετασχηματιστές έντασης έπεται από την εμφάνιση σφάλματος (εσωτερικού ή εξωτερικού) έχει άμεση σχέση με τη σωστή λειτουργία της διαφορικής προστασίας. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους:

- i. Ο κορεσμός των μετασχηματιστών έντασης κατά τη διάρκεια εξωτερικών σφαλμάτων μπορεί να προκαλέσει τη λειτουργία της διαφορικής προστασίας, εξαιτίας του παραμορφωμένου ρεύματος λειτουργίας που εμφανίζεται στο δευτερεύον τους.
- ii. Το παραμορφωμένο ρεύμα στο δευτερεύον των κορεσμένων μετασχηματιστών έντασης είναι πλούσιο σε αρμονικό περιεχόμενο, το οποίο μπορεί να προκαλέσει καθυστέρηση της λειτουργίας της διαφορικής προστασίας, σε πιθανό εσωτερικό σφάλμα.

Για την αντιμετώπιση αυτής της παραμέτρου, συνήθως, επιλέγεται χαρακτηριστική καμπύλη διπλής κλίσης για τη διαφορική προστασία. Γενικά, είναι πολύ σημαντικό να επιλεγούν οι κατάλληλοι μετασχηματιστές έντασης και να τοποθετηθούν με τη σωστή συνδεσμολογία στα τυλίγματα του μετασχηματιστή, ώστε να αποφευχθούν οι δυσλειτουργίες των προστασιών του μετασχηματιστή, σε περίπτωση κορεσμού τους.

### 3. Ρεύμα διέγερσης ή μαγνήτισης (Excitation or magnetizing current)

Το ρεύμα διέγερσης περιέχει αρμονικές περιττής τάξης μεγάλης τιμής (τυπικές τιμές: 25% η αρμονική 3<sup>ης</sup> τάξης και 11% η αρμονική 5<sup>ης</sup> τάξης). Είναι επιθυμητό, με τη βοήθεια λειτουργιών παρεμπόδισης (blocking functions) να αποφεύγεται η λειτουργία της διαφορικής λειτουργίας, λόγω του διαφορικού ρεύματος που μπορεί να προκύψει από την ύπαρξη τέτοιων αρμονικών.

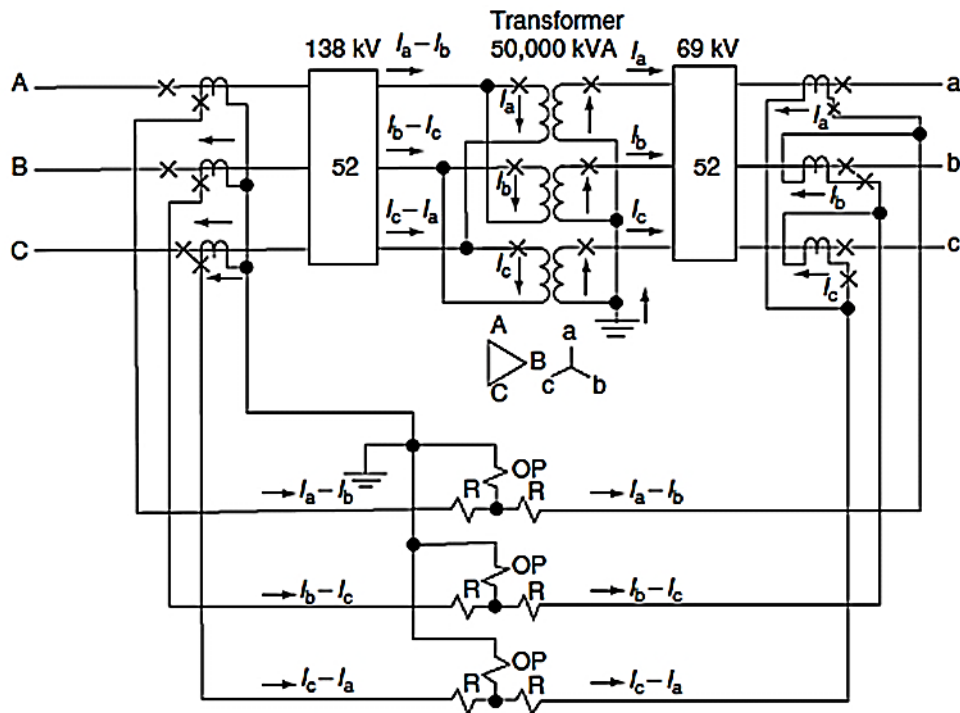
### 4. Μεταβολές στο λόγο μετασχηματισμού εξαιτίας ΣΑΤΥΦ (Transformer's ratio changes due to OLTC)

Οι μετασχηματιστές που τροφοδοτούν δίκτυα διανομής είναι εφοδιασμένοι με ΣΑΤΥΦ. Αυτό έχει ως συνέπεια, τη συχνή αλλαγή του λόγου μετασχηματισμού του μετασχηματιστή και επομένως τη διαφορά στα α.μ. ρεύματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Η διαφορά αυτή είναι ικανή για να λειτουργήσει η διαφορική προστασία και συνεπώς είναι επιτακτική η λήψη πρόσθετων μέτρων, για την αποφυγή αυτού του ενδεχομένου.

5. Ολίσθηση φάσης σε μετασχηματιστές συνδεσμολογίας τρίγωνο – αστέρα ή αστέρα – τρίγωνο (Phase shift in delta – wye or wye – delta transformers)

Η ολίσθηση φάσης που παρατηρείται στο συγκεκριμένο τύπο μετασχηματιστών μπορεί να προκαλέσει διαφορικό ρεύμα ικανό για να ενεργοποιήσει τη διαφορική προστασία.

Στο σχήμα 1.24 απεικονίζεται παράδειγμα εφαρμογής της διαφορικής προστασίας σε μετασχηματιστή ισχύος.



*Σχήμα 1.24: Συνδέσεις ηλεκτρονόμου διαφορικής προστασίας σε μετασχηματιστή ισχύος συνδεσμολογίας τρίγωνο – αστέρα [6]*

• **Προστασία υπερέντασης**

Αυτό το είδος προστασίας είναι υπεύθυνο για την επιτήρηση του μετασχηματιστή από βραχυκυκλώματα που μπορεί να συμβούν στο σύστημα (εξωτερικά σφάλματα). Για μετασχηματιστές ισχύος μέχρι 5 MVA μπορούν να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες (fuses) ως μέσο προστασίας υπερέντασης, ενώ για μεγαλύτερες ισχύεις χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμο υπερέντασης (στιγμιαίοι, σταθερού, αντιστρόφου χρόνου ή συνδυασμός τους).

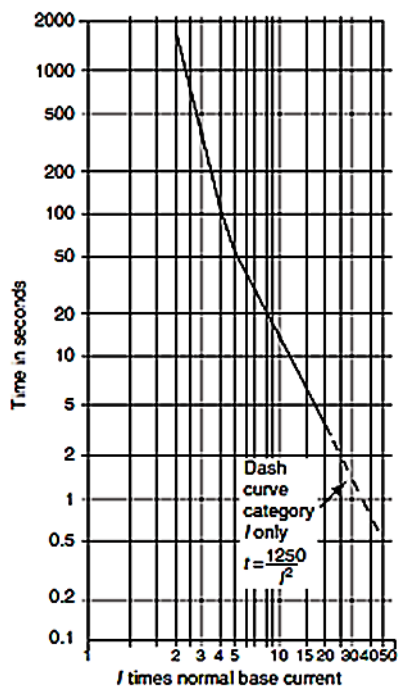
Για την κατάλληλη ρύθμιση της προστασίας υπερέντασης, οι μετασχηματιστές ισχύος έχουν κατηγοριοποιηθεί ανάλογα την αντοχή τους σε ρεύματα σφάλματος, που προκύπτουν από μονοφασικά και τριφασικά βραχυκυκλώματα. Οι κατηγορίες αυτές φαίνονται στον πίνακα 1.2 και είναι το κύριο κριτήριο για την ορθή επιλογή της κατάλληλης καμπύλης αντοχής των μετασχηματιστών. Οι κατηγορίες των καμπυλών αντοχής απεικονίζονται στο σχήμα 1.25.

Κατηγορία	Αντοχή Μ/Σ σε βραχυκύκλωμα (KVA)		Καμπύλη αντοχής σχήματος 1.25	<sup>1</sup> Συχνά σφάλματα	<sup>2</sup> Οι διακεκομμένες καμπύλες εφαρμόζονται για I
	1-φασικό	3-φασικό			
I	5 – 500	15 – 500	(α)	–	25 – 501, όπου $t = \frac{1250f}{60I^2} = \frac{1250}{I^2}$ , για f=60 Hz
II	501 – 1667	501 – 5000	(α) ή (α)+(β)	10	70% – 100% του μέγιστου σφάλματος, όπου $I^2t = K$
III	1668 – 10000	5001 – 30000	(α) ή (α)+(γ)	5	50% – 100% του μέγιστου σφάλματος, όπου $I^2t = K$
IV	>10000	> 30000	(α)+(γ)	–	Όπως στην κατηγορία III

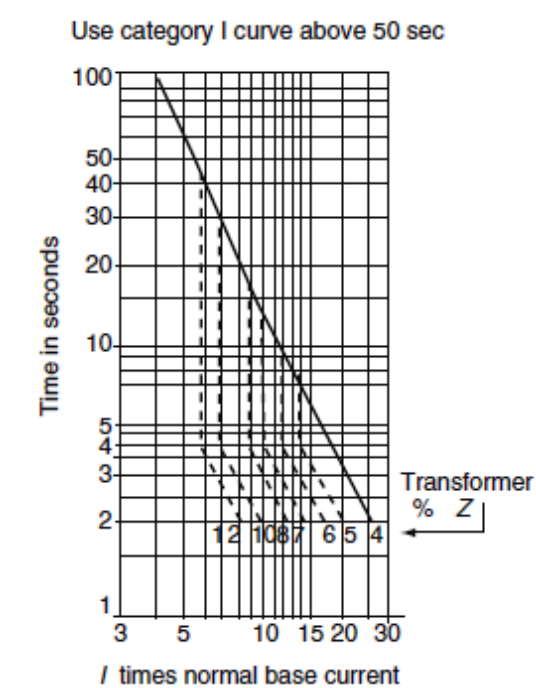
**Παρατηρήσεις:**

- 1) Συχνά σφάλματα (frequent faults) θεωρούνται σφάλματα που εμφανίζονται περισσότερες φορές από τον αριθμό που αναγράφεται, κατά τη διάρκεια της ζωής του Μ/Σ. Αν το πλήθος των σφαλμάτων που συμβαίνουν είναι μικρότερο από την τιμή αυτή τότε συγκαταλέγονται στα σπάνια σφάλματα.
- 2) Η ένταση I αφορά ρεύμα βραχυκύκλωσης σε α.μ. τιμή, με βάση την ονομαστική ικανότητα του Μ/Σ, ο χρόνος t σε sec, και η συχνότητα σε Hz.

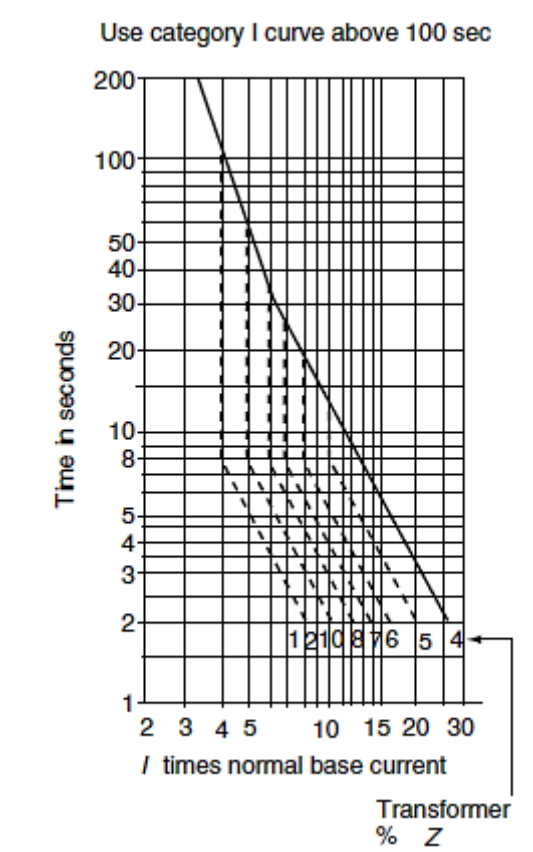
*Πίνακας 1.2: Κατηγορίες Μ/Σ ανάλογα την αντοχή τους σε βραχυκυκλώματα*



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 1.25: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντοχής Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα [6]

- **Προστασία έναντι σφαλμάτων γης (Ground fault protection)**

Τα προηγούμενα είδη προστασίας δεν είναι ικανά να προστατεύσουν 100% το τύλιγμα ενός Μ/Σ που έχει γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο στην πλευρά του αστέρα. Ειδικά, τα σφάλματα που μπορούν να συμβούν από το 5% του τυλίγματος μέχρι τον ουδέτερο κόμβο είναι σχεδόν βέβαιο ότι δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τις προηγούμενες προστασίες. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συνδυασμοί ηλεκτρονόμων υπερέντασης ουδετέρου 51N (neutral overcurrent relays) με ηλεκτρονόμους διαφορικής προστασίας γης 87G (ground differential relays) ή ηλεκτρονόμους υπερέντασης γης με στοιχείο κατεύθυνσης 67G (directional neutral overcurrent relays). Στα σχήματα 1.26, 1.27 φαίνεται η εφαρμογή των δύο συνδυασμών προστασιών, που αναφέραμε.



- **Προστασία υπερδιέγερσης 24 (Overexcitation or overflux protection)**

Υπερβολική ροή ή υπερδιέγερση μπορεί να συμβεί σε ένα μετασχηματιστή αν εμφανιστεί υπέρταση ή υποσυχνότητα ή συνδυασμός και των δύο, λόγω ανωμαλιών στο σύστημα. Στην περίπτωση αυτή, όπως και στις γεννήτριες, η υπερβολική πυκνότητα μαγνητικής ροής μπορεί να προκαλέσει μεγάλα δινορρεύματα στον πυρήνα και υπερθέρμανσή του, με κίνδυνο να προκληθούν σοβαρές βλάβες. Για την προστασία του μετασχηματιστή από τέτοιες επικίνδυνες συνθήκες χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι Volts/Hertz (24).

- **Προστασία υπέρτασης 59 (Overvoltage protection)**

Ο μετασχηματιστής πρέπει να προστατεύεται από παρατεταμένες υπερτάσεις, επιβαλλόμενες από το σύστημα, οι οποίες προκαλούν μεγάλη ροή στα σιδηρά μέρη του πυρήνα, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή του και πιθανή πρόκληση βλάβης. Μπορεί να παραληφθεί αν το σύστημα, στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο μετασχηματιστής, διαθέτει ρυθμιστές τάσης, που αποτρέπουν την εμφάνιση υπερτάσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα.

- **Θερμική προστασία (Thermal protection)**

Προβλήματα υπερθέρμανσης σε ένα μετασχηματιστή μπορεί να προκύψουν λόγω:

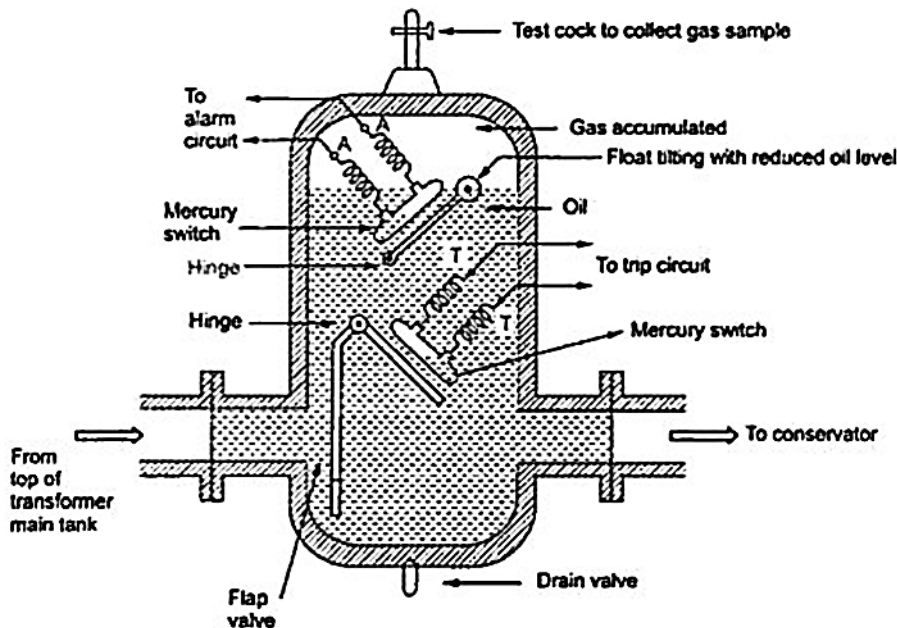
- υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος,
- αποτυχίας τους συστήματος ψύξης,
- μη έγκαιρης εκκαθάρισης εξωτερικών σφαλμάτων,
- υπερφόρτισης,
- ασύμμετρων συνθηκών φόρτισης.

Ο μετασχηματιστής πρέπει να προστατεύεται από υπερθερμάνσεις, επειδή προξενούν μείωση της ζωής του, καταστροφή των μονώσεων στον πυρήνα ακόμη και πυρκαγιά και μπορούν να δημιουργήσουν ανεπιθύμητα αέρια στο μονωτικό έλαιο, εφόσον χρησιμοποιείται. Σε χαμηλής ισχύος μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται θερμικές συσκευές 26 (thermal devices), οι οποίες μετρούν τη θερμοκρασία του μονωτικού λαδιού στο άνω τμήμα του μετασχηματιστή. Αντίθετα, σε μετασχηματιστές μεγάλης σχετικά ισχύος εφαρμόζονται θερμικοί ηλεκτρονόμοι 49 (thermal relays), οι οποίοι μέσω μετασχηματιστών έντασης τροφοδοτούνται από την ένταση φόρτισης του μετασχηματιστή και λαμβάνουν έμμεσα πληροφορίες για τις μεταβολές στη θερμοκρασία των τυλιγμάτων. Και οι δύο συσκευές (26 και 49) μπορούν να ρυθμιστούν να δίνουν εντολή σε σημάσεις κινδύνου (alarms), στο σύστημα ψύξης να ενεργοποιηθεί (αν διαθέτει) ή και ακόμα στους διακόπτες ισχύος εκατέρωθεν του μετασχηματιστή να ανοίξουν, ανάλογα με το επίπεδο υπερθέρμανσης.

- **Ανίχνευση αερίων (Gas detection)**

Σε μετασχηματιστές με μονωτικό λάδι μπορούν να παρουσιαστούν φυσαλίδες αερίου, έπειτα από την τοπική υπερθέρμανση ή την πρόκληση μερικής εκκένωσης (τόξο) στο εσωτερικό του μετασχηματιστή λόγω εσωτερικού ή εξωτερικού σφάλματος. Τέτοια αέρια είναι για παράδειγμα το υδρογόνο, το αιθυλένιο, το μονοξείδιο ή διοξείδιο του άνθρακα κ.α., ανάλογα με το σφάλμα που ευθύνεται για τη δημιουργία τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μερική απώλεια της μονωτικής ικανότητας του λαδιού, γεγονός που πρέπει να αποφευχθεί. Για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί η χρήση του ηλεκτρονόμου Buchholz για μετασχηματιστές ισχύος άνω των 750 – 1000 KVA, ο οποίος τοποθετείται στο σωλήνα που συνδέει το κύριο σώμα του μετασχηματιστή με το δοχείο διαστολής του. Ο ηλεκτρονόμος αυτός ελέγχει το επίπεδο στάθμης του λαδιού (που μπορεί να μειωθεί λόγω διαρροής ή παρουσίας μεγάλης ποσότητας αερίων) καθώς και την ταχύτητα ροής του λαδιού και των αερίων και αναλόγως δίνει σήμα κινδύνου (alarm) ή εντολή για απομόνωση του μετασχηματιστή. Επίσης, συλλέγει τα δημιουργούμενα αέρια, η ανάλυση των οποίων δίνει σημαντικές πληροφορίες για το είδος των βλαβών που έχει υποστεί ο

μετασχηματιστής. Η εσωτερική δομή ενός ηλεκτρονόμου Buchholz απεικονίζεται στο σχήμα 1.28.



Σχήμα 1.28: Εσωτερική δομή ηλεκτρονόμου Buchholz

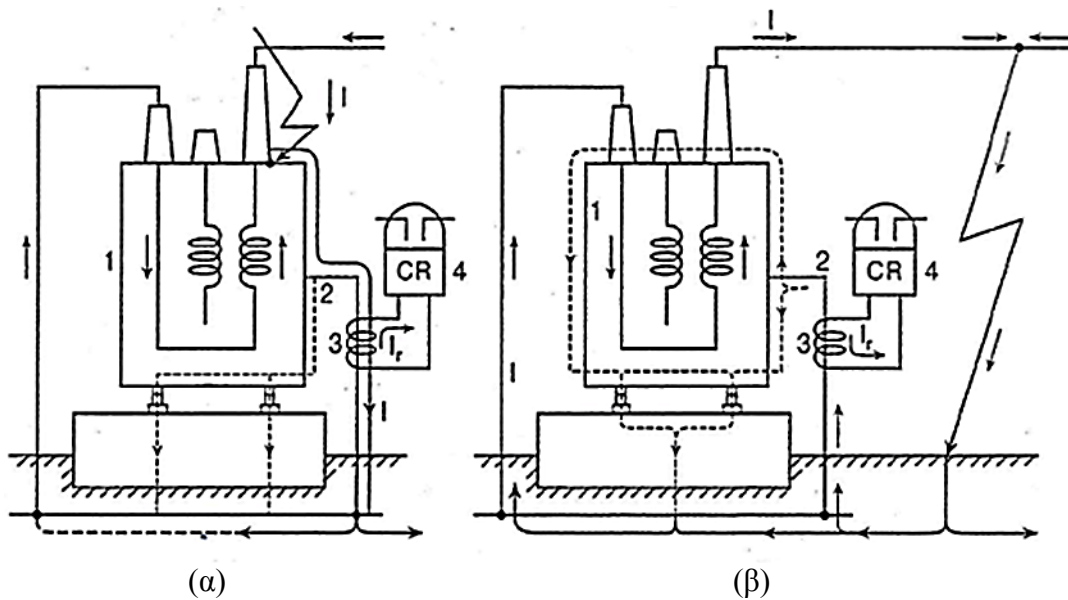
- **Προστασία έναντι ξαφνικής μεταβολής της πίεσης 63 (Sudden pressure change protection)**

Συχνά χρησιμοποιούνται ειδικοί ηλεκτρονόμοι (sudden pressure relays) στους μετασχηματιστές με μονωτικό λάδι, οι οποίοι ελέγχουν την πίεση του αέρα πάνω από το λάδι μέχρι το δοχείο διαστολής, καθώς και την πίεση του ίδιου του λαδιού και ενεργοποιούνται, όταν παρατηρηθεί απότομη μεταβολή σε αυτήν.

- **Προστασία έναντι σφαλμάτων στο κέλυφος του μετασχηματιστή (Tank earth-fault protection)**

Πολλά από τα σφάλματα που συμβαίνουν στους μετασχηματιστές ισχύος αφορούν βραχυκυκλώματα προς το κέλυφός τους. Το είδος προστασίας που συνήθως εφαρμόζεται στους μετασχηματιστές που έχουν γειωμένο τον ένα ουδέτερο κόμβο τους, απευθείας ή μέσω αντίστασης πολύ μικρής τιμής, φαίνεται στο σχήμα 1.29. Η προστασία αυτή συνίσταται στη σύνδεση του μεταλλικού κελύφους του μετασχηματιστή (1) με το πλέγμα γείωσης του υποσταθμού, μέσω ενός αγωγού (2), ο οποίος συνδέεται με το κέλυφος μόνο σε ένα σημείο. Στον αγωγό αυτό συνδέεται και ένας μετασχηματιστής έντασης (3) που τροφοδοτεί τον ηλεκτρονόμο υπερέντασης (4), που επιτηρεί το κέλυφος. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται και οι φορές των ρευμάτων, σε περίπτωση εσωτερικού ή εξωτερικού σφάλματος. Ο ηλεκτρονόμος υπερέντασης είναι ρυθμισμένος με τέτοιο τρόπο, ώστε να λειτουργεί για εσωτερικά και όχι εξωτερικά σφάλματα.





Σχήμα 1.29: Λειτουργία προστασίας κελύφους του μετασχηματιστή κατά την εκδήλωση (α) εσωτερικού, (β) εξωτερικού σφάλματος [4]

### 1.3.3 Προστασία γραμμών μεταφοράς και διανομής (Transmission and distribution line protection)



Εικόνα 1.5: Γραμμή μεταφοράς διπλού κυκλώματος 115 KV

Στην υποενότητα αυτή θα αναφερθούμε κυρίως στα είδη προστασίας που χρησιμοποιούνται στις εναέριες γραμμές μεταφοράς. Επίσης, θα γίνει σύντομη αναφορά και στις κύριες προστασίες που συναντάμε στα εναέρια δίκτυα διανομής, για λόγους πληρότητας.

#### 1.3.3.1 Προστασία εναέριων γραμμών διανομής

Οι εναέριες γραμμές διανομής χωρίζονται σε γραμμές μέσης τάσης (Μ.Τ.) και γραμμές χαμηλής τάσης (Χ.Τ.). Η προστασία του δικτύου διανομής είναι σχετικά πιο απλή υπόθεση από

την προστασία των γραμμών μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει, διότι τα δίκτυα διανομής είναι, κατά κύριο λόγο, ακτινικά και συνεπώς έχουμε μία και συγκεκριμένη φορά της ισχύος, σε αντίθεση με το δίκτυο μεταφοράς που συναντάμε βροχοειδείς τοπολογίες.

Τα κύρια μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται για τις εναέριες γραμμές Μ.Τ. είναι:

- **Ο διακόπτης ισχύος Δ.Ι.** (Circuit breaker C.B.) που είναι εγκατεστημένος στον υποσταθμό, απ' όπου ξεκινούν οι γραμμές Μ.Τ. και είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρονόμους υπερέντασης στιγμιαίας λειτουργίας και χρονικής καθυστέρησης (σταθερού ή αντιστρόφου χρόνου), οι οποίοι μπορούν να ρυθμίζονται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Επίσης, είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρονόμο αυτόματης επαναφοράς, ο οποίος επιτρέπει στο Δ.Ι. να εκτελεί κύκλους trip – close (άνοιγμα – κλείσιμο) κατά την εκκαθάριση παροδικών σφαλμάτων στο δίκτυο διανομής.
- **Οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς** (automatic reclosers), οι οποίοι καλούνται και επαναληπτικοί Δ.Ι. και εγκαθίστανται σε ορισμένα σημεία του κορμού μιας μεγάλης γραμμής διανομής, με σκοπό να μην επηρεάζονται τα φορτία πάνω από τον Δ.Α.Ε. και προς τον υποσταθμό, κατά την εκδήλωση σφάλματος στο κάτω μέρος δίκτυο.
- **Οι διακόπτες απομόνωσης** (sectionalizers), οι οποίοι εγκαθίστανται στην αρχή μεγάλων διακλαδώσεων και έχουν ικανότητα διακοπής του ρεύματος φορτίου και όχι ρεύματος βραχυκυκλώματος. Αυτό συμβαίνει, διότι είναι ρυθμισμένοι με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να λειτουργούν αφότου έχει επενεργήσει ο Δ.Ι. που προηγείται, όταν συμβεί ένα σφάλμα.
- **Οι ασφάλειες** (fuses), οι οποίες διακρίνονται σε ασφάλειες σκόνης και σε ασφάλειες εκτόνωσης. Οι ασφάλειες τύπου σκόνης περιορίζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης και είναι ιδανικές για εσωτερικούς χώρους. Οι ασφάλειες τύπου εκτόνωσης χρησιμοποιούνται μόνο σε εξωτερικούς χώρους (ευρεία εφαρμογή για την προστασία της πλευράς ΜΤ των μετασχηματιστών διανομής, επί εναέριων στηλών), λόγω των τοξικών ουσιών που εκδηλώνονται κατά τη σβέση του τόξου, σε περίπτωση σφάλματος. Επίσης η ασφάλεια εκτόνωσης, σε συνδυασμό με τη βάση, στην οποία τοποθετείται, μπορεί να λειτουργήσει και ως αποζεύκτης. Σε περίπτωση σφάλματος και τήξης της ασφάλειας, η ασφάλεια αποσυνδέεται από το ένα άκρο της βάσης, και έτσι μπορεί κάποιος από απόσταση να διαπιστώσει ότι η ασφάλεια έχει καεί και το κύκλωμα βρίσκεται εκτός τάσης. Έτσι χρησιμοποιείται, επίσης, ο όρος **ασφαλειοαποζεύκτης**. Οι ασφαλειοαποζεύκτες χρησιμοποιούνται στην αρχή κάθε κύριας διακλάδωσης των εναέριων γραμμών διανομής ΜΤ.

Στις γραμμές Χ.Τ. χρησιμοποιούνται οι ασφάλειες σα μέσο προστασίας τους και επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη ουδετέρωσης.

#### 1.3.3.2 Προστασία εναέριων γραμμών μεταφοράς

Η προστασία των γραμμών μεταφοράς αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα ζητήματα σχεδίασης και ανάπτυξης ενός Σ.Η.Ε.. Η φιλοσοφία βάσει της οποίας γίνονται οι μελέτες προστασίας των γραμμών μεταφοράς βασίζεται στις εξής αρχές:

1. Τα σφάλματα που μπορεί να συμβούν σε μια γραμμή μεταφοράς πρέπει να εκκαθαριστούν όσο το δυνατόν ταχύτερα, με στόχο να μην διαταραχτεί η ευστάθεια του συστήματος, να προκύψουν οι μικρότερες σε μέγεθος διακυμάνσεις τάσης, καθώς και να προκληθεί η ελάχιστη δυνατή βλάβη στον εξοπλισμό μας.
2. Σε περίπτωση σφάλματος πρέπει να ανοίξουν οι Δ.Ι. εκείνοι που αρκούν για να απομονώσουν το μέρος του συστήματος που εσωκλείει το σφάλμα, με σκοπό την ελάχιστη δυνατή απώλεια φορτίου των καταναλωτών που τροφοδοτεί η γραμμή.

3. Οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να επαναφορτίζονται, μετά από την παρουσία και εκκαθάριση του σφάλματος, αυτόματα, αν το σφάλμα είναι μεταβατικής φύσης (80% – 90% των περιπτώσεων), με στόχο την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ισχύος.
4. Τα είδη προστασιών θα πρέπει να επιτρέπουν στις γραμμές μεταφοράς να φορτίζονται με το μέγιστο βραχυχρόνιο φορτίο που μπορούν να ανεχθούν, με σκοπό την αποφυγή λειτουργίας των προστασιών σε μεταβατικά φαινόμενα.

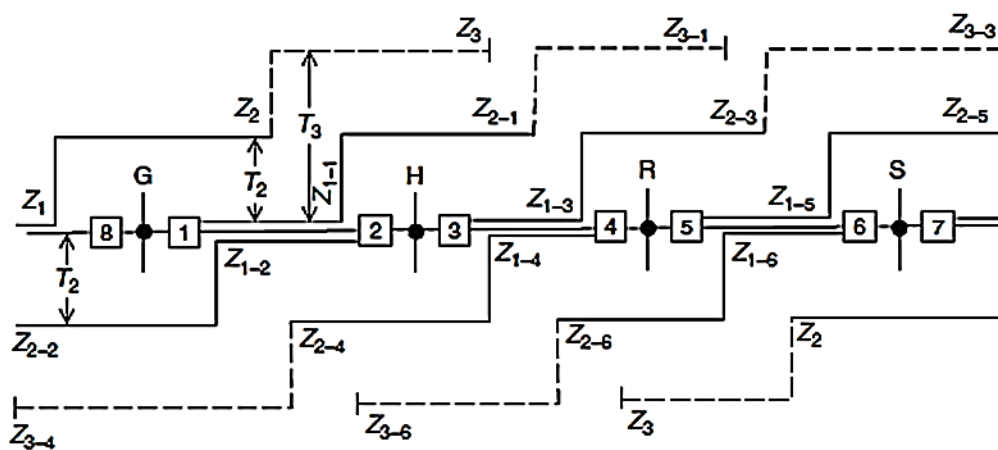
Στη συνέχεια καταγράφουμε και περιγράφουμε τα κυριότερα είδη των προστασιών που χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση των γραμμών μεταφοράς.

- **Προστασία απόστασης**

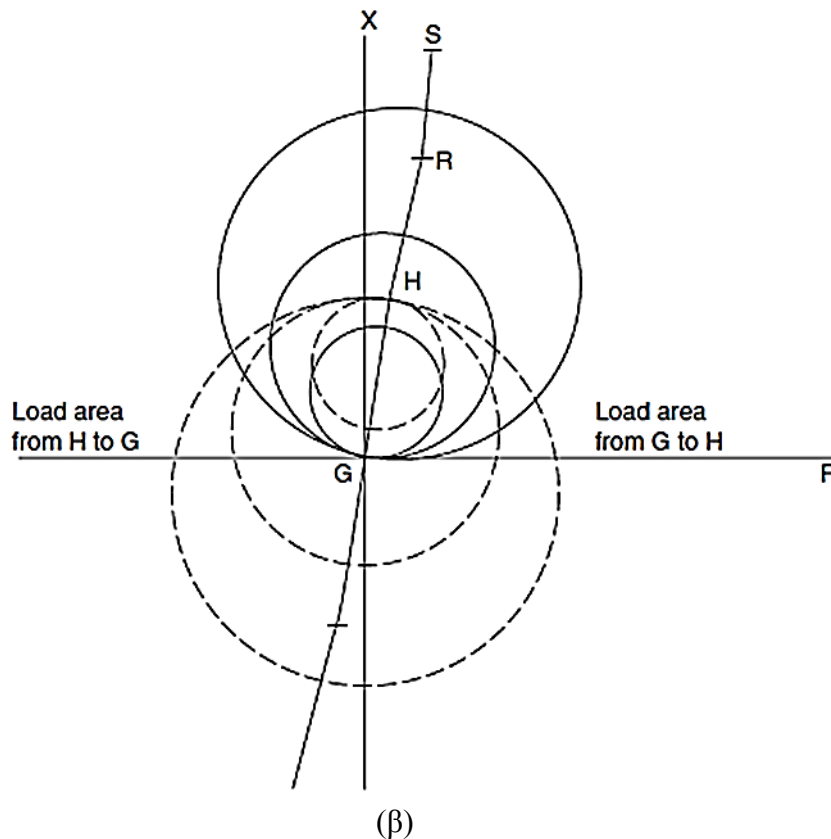
Είναι το ευρύτερα εφαρμοζόμενο είδος προστασίας για σφάλματα φάσεων (αλλά και γης) σε γραμμές μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει διότι η ρύθμισή της απαιτεί στην ουσία μόνο τη σύνθετη αντίσταση που βλέπει ο ηλεκτρονόμος απόστασης από το σημείο εγκατάστασης μέχρι το σημείο που επιθυμούμε να φτάνει η ζώνη προστασίας. Στην ουσία πρόκειται για μέσο προστασίας που είναι ανεξάρτητο από τις λειτουργικές ιδιαιτερότητες του εκάστοτε συστήματος και τις στάθμες βραχυκύκλωσης των σημείων που τοποθετούνται οι ηλεκτρονόμοι. Όλοι οι σύγχρονοι ηλεκτρονόμοι απόστασης είναι εφοδιασμένοι με στοιχείο κατεύθυνσης.

Κατά τη μελέτη της προστασίας απόστασης γραμμών μεταφοράς χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο ζώνες πρώτης βαθμίδας, επειδή ο ηλεκτρονόμος συχνά δεν μπορεί να διακρίνει αν το σφάλμα στο τέλος της πρώτης ζώνης, ανήκει στη συγκεκριμένη ζώνη ή στην επόμενη. Επίσης, με τη χρήση περισσότερων της μιας ζώνης προστασίας, προσφέρουμε και εφεδρική προστασία για τις επόμενες ζώνες, σε περίπτωση που ο αντίστοιχος ηλεκτρονόμος δε λειτουργήσει. Για το λόγο αυτό πρέπει όλοι οι ηλεκτρονόμοι απόστασης που επιβλέπουν ένα σύστημα μεταφοράς να έχουν ρυθμιστεί ώστε να μπορούν να συνεργάζονται και να μη συμπίπτουν οι λειτουργίες τους.

Στο σχήμα 1.30 φαίνεται παράδειγμα ρύθμισης των ηλεκτρονόμων απόστασης σε ένα σύστημα μεταφοράς, με τρεις ζώνες προστασίας. Έχουν ρυθμιστεί έτσι ώστε, η πρώτη ζώνη να φτάνει στο 90% της γραμμής (85% – 95% της σύνθετης αντίστασης θετικής ακολουθίας της γραμμής), η δεύτερη στο 50% της επόμενης και η τρίτη στο 25% της μεθεπόμενης.



(α)

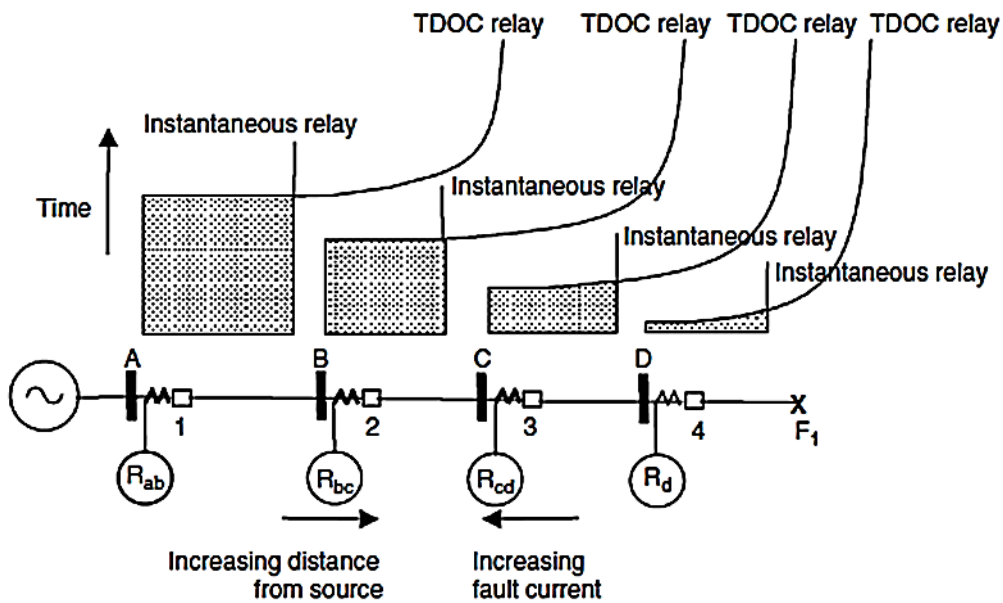


**Σχήμα 1.30:** Ζώνες προστασίας ηλεκτρονόμων απόστασης (α) διάγραμμα απόστασης – χρόνου λειτουργίας, (β) χαρακτηριστικές τύπου *mho* σε διάγραμμα  $R - X$  για τους ηλεκτρονόμους των ζυγών  $G, H$  [6]

Υπάρχουν πολλών ειδών χαρακτηριστικές προστασίας απόστασης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα την εφαρμογή. Οι περισσότερες από αυτές έχουν αναφερθεί στην υποενότητα 1.2.4. Σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη μελέτη προστασιών απόστασης είναι ο εξοπλισμός, όπως οι πυκνωτές και τα πηνία, που μπορεί να είναι συνδεδεμένος σε σειρά ή παράλληλα με τις γραμμές για την εκτέλεση κάποιας λειτουργίας (αντιστάθμιση, περιορισμός ρεύματος σφάλματος κ.α.), διότι επηρεάζει τη συνολική σύνθετη αντίσταση που έχει η γραμμή. Επίσης, αρκετές φορές παρατηρείται μια περιοχή εντός των χαρακτηριστικών προστασίας  $R - X$ , όπου μπορεί να καταλήγει το πέρας διανυσμάτων φορτίων της γραμμής, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να λειτουργήσει η προστασία. Με κατάλληλη ρύθμιση μιας ειδικής παραμέτρου (load encroachment), που έχουν οι σύγχρονοι ηλεκτρονόμοι (όπως και ο SEL-311B που διαθέτει το εργαστηριακό μας σύστημα), αποκλείεται η περιοχή αυτή από τη χαρακτηριστική λειτουργίας της προστασίας.

- **Προστασία υπερέντασης με ή χωρίς στοιχείο κατεύθυνσης**

Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης στιγμιαίας λειτουργίας και χρονικής καθυστέρησης χρησιμοποιούνται ως κύρια προστασία σε ακτινικά τμήματα ενός συστήματος μεταφοράς ή σε δίκτυα διανομής, έπειτα από κατάλληλη ρύθμιση επιλογικής συνεργασίας μεταξύ των διαδοχικών ηλεκτρονόμων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και συνδυασμός ηλεκτρονόμων υπερέντασης στιγμιαίας λειτουργίας με αντιστρόφου χρόνου, αν το απαιτεί η μελέτη. Παράδειγμα εφαρμογής αυτού του είδους προστασίας φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



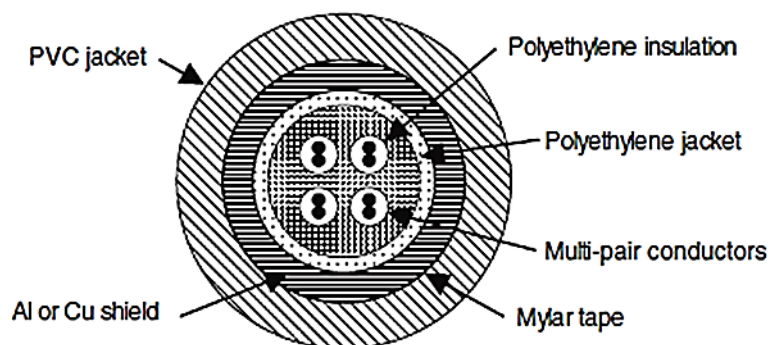
**Σχήμα 1.31:** Εφαρμογή συνδυασμού ηλεκτρονόμων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου με στιγμιαίας λειτουργίας σε ακτινικό κομμάτι συστήματος μεταφοράς [7]

Σε βροχοειδή τμήματα συστήματος μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονόμοι υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης, γιατί υπάρχει πιθανότητα ροής ισχύος και προς τις δύο κατευθύνσεις. Δε χρησιμοποιούνται, όμως, σαν κύρια προστασία, αλλά σα δευτερεύουσα και εφεδρική της προστασίας απόστασης, διότι κατά την εκδήλωση σφάλματος σε ένα τμήμα του συστήματος, υπάρχει σοβαρή περίπτωση να το αντιληφθεί και κάποιος ηλεκτρονόμος υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης εκτός του τμήματος αυτού, με αποτέλεσμα τη λειτουργία του και την απόρριψη φορτίου, που έπρεπε να μείνει ανεπηρέαστο. Επίσης, ηλεκτρονόμοι υπερέντασης χρησιμοποιούνται και για την προστασία των γραμμών μεταφοράς από σφάλματα γης.

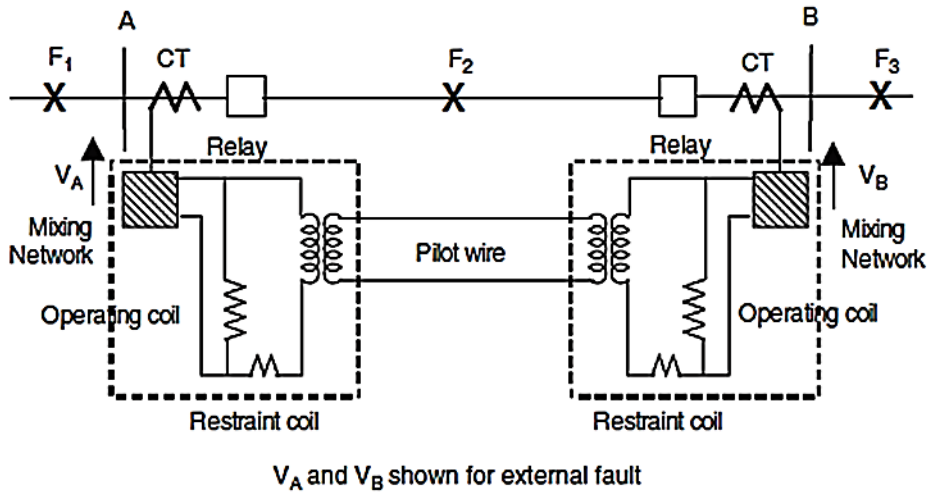
- **Διαφορική προστασία**

Μπορεί να εφαρμοστεί ως κύρια προστασία σε υπόγειες και εναέριες γραμμές μεταφοράς. Επειδή απαιτείται μέτρηση και σύγκριση ηλεκτρικών μεγεθών στα δύο άκρα μιας γραμμής, των οποίων η απόσταση είναι μεγάλη, χρειαζόμαστε ένα μέσο επικοινωνίας των απομακρυσμένων ηλεκτρονόμων διαφορικής προστασίας.

Στην περίπτωση των υπογείων δικτύων, στο χαντάκι που τοποθετείται το καλώδιο που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια, εγκαθίσταται και αγωγός – πιλότος (pilot wire), ο οποίος είναι όμοιος με αυτόν των τηλεφωνικών γραμμών και μεταφέρει τις απαραίτητες πληροφορίες στα απομακρυσμένα σημεία επιτήρησης.

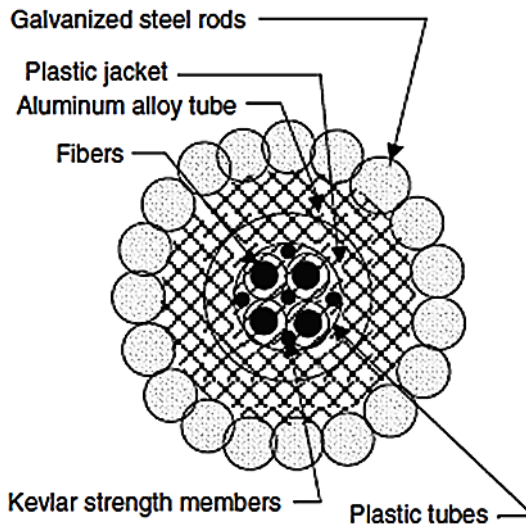


**Σχήμα 1.32:** Τυπική κατασκευή καλωδίου – πιλότου [7]

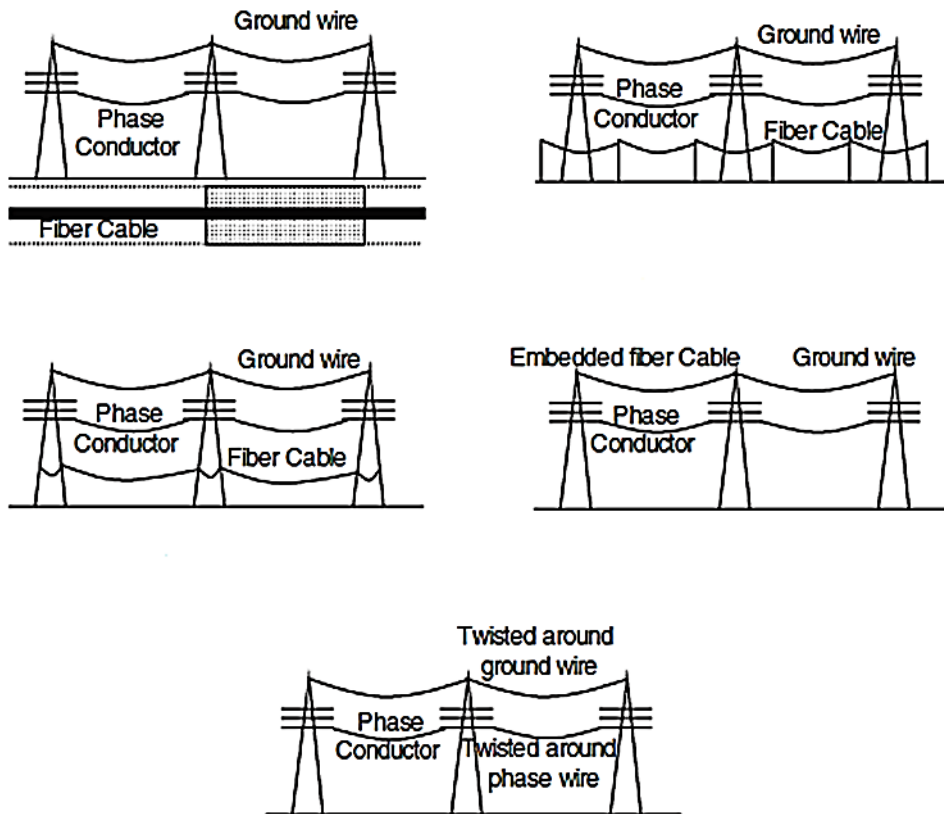


*Σχήμα 1.33: Κύκλωμα διαφορικής προστασίας με αγωγούς – πιλότους [7]*

Στις εναέριες γραμμές μεταφοράς, η επικοινωνία των δύο άκρων επιτυγχάνεται με ποικίλους τρόπους. Ένας τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν οι αγωγοί Υ.Τ. της γραμμής για τη διαβίβαση σημάτων υψηλής συχνότητας, της τάξης 30 – 300 KHz (power-line carrier), γλιτώνοντας το κόστος της τοποθέτησης επιπλέον αγωγών πιλότων. Επειδή ο εξοπλισμός που απαιτείται για την εφαρμογή αυτού του τρόπου επικοινωνίας έχει μεγάλο κόστος, χρησιμοποιείται σε γραμμές Υ.Τ. μεγάλου μήκους. Μια άλλη εναλλακτική επιλογή για τις εναέριες γραμμές είναι η εκπομπή μικροκυμάτων (microwaves) από κατευθυνόμενες κεραιές σε πολύ υψηλές συχνότητες, της τάξης 2 – 12 GHz. Επίσης, μια σύγχρονη μέθοδος, που εφαρμόζεται πολύ στα σημερινά συστήματα μεταφοράς είναι η χρήση καλωδίων με οπτικές ίνες (fiber-optic cables) ενσωματωμένα στο εσωτερικό των αγωγών φάσης και γης μιας γραμμής ή και τυλιγμένα γύρω από αυτές, για τη μετάδοση των πληροφοριών.



*Σχήμα 1.34: Τυπική κατασκευή καλωδίου με οπτικές ίνες [7]*



Σχήμα 1.35: Τρόποι εγκατάστασης οπτικών ινών επί των γραμμών μεταφοράς για τη μετάδοση πληροφοριών [7]

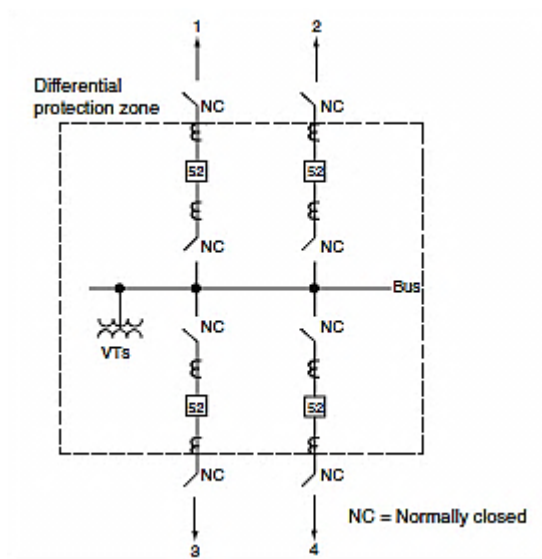
### 1.3.4 Προστασία ζυγών (Bus protection)



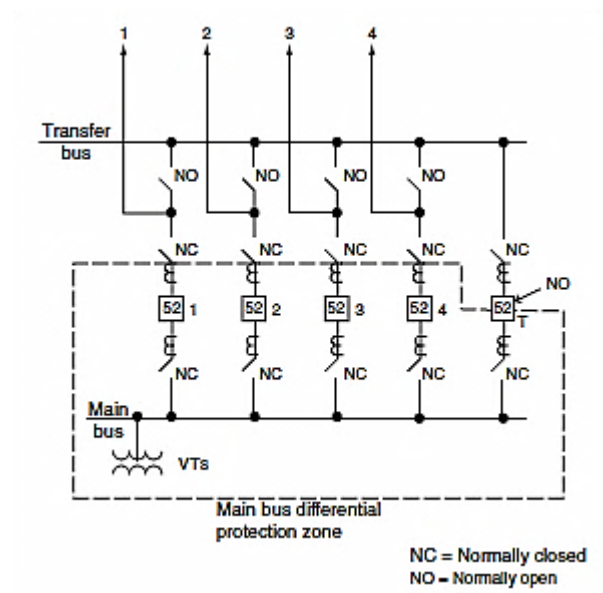
Εικόνα 1.6: Ζυγοί YT

Οι ζυγοί των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ ή ΜΤ/ΥΤ αποτελούν βασικό στοιχείο ενός Σ.Η.Ε. και είναι απαραίτητοι για τη διασύνδεση και τροφοδότηση δύο οι περισσότερων γραμμών (είτε μεταφοράς στην πλευρά της υψηλής τάσης, είτε διανομής στην πλευρά της μέσης τάσης). Περιλαμβάνουν μονωτήρες στήριξης των αγωγίων ράβδων αλλά και στοιχεία απόξευξης προς τους Δ.Ι. και τους μετασχηματιστές οργάνων (έντασης και τάσης). Επίσης, σε ένα ζυγό μπορεί να είναι συνδεδεμένοι πυκνωτές ή πηνία. Συνεπώς, η προστασία των ζυγών πρέπει να καλύπτει τα στοιχεία αυτά καθώς και τους Δ.Ι. που σχετίζονται με αυτούς, όπως θα φανεί και στα σχήματα που ακολουθούν. Σημειώνεται, ότι η προστασία ζυγών εφαρμόζεται κυρίως σε ζυγούς ΥΥΤ ή ΥΤ και λιγότερο ΜΤ, λόγω του μεγάλου κόστους της, αλλά και της προστασίας που τους παρέχεται μέσω προστασιών άλλων τμημάτων του Σ.Η.Ε..

Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά είδη ζυγών, ανάλογα την εφαρμογή, μερικά από τα οποία απεικονίζονται στο σχήμα 1.36. Τα σχήματα που χρησιμοποιούνται για την προστασία όλων των τύπων ζυγών είναι παραλλαγές της διαφορικής προστασίας. Στην ουσία, δηλαδή, ελέγχεται αν το αλγεβρικό άθροισμα των εισερχόμενων ρευμάτων στο ζυγό ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των εξερχόμενων ρευμάτων. Αυτό που πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερος κατά τη μελέτη προστασίας ζυγών, είναι η επίδοση των μετασχηματιστών έντασης. Αυτό ισχύει, διότι χρησιμοποιούνται πολλοί μετασχηματιστές έντασης με διαφορετικά επίπεδα φόρτισης, για τον ίδιο ηλεκτρονόμο προστασίας, γεγονός που μπορεί να επιφέρει ανεπιθύμητη λειτουργία του. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται σε περιπτώσεις σφαλμάτων εκτός της διαφορικής ζώνης, γι' αυτό και οι ηλεκτρονόμοι προστασίας ζυγών σχεδιάζονται ώστε να είναι ακριβείς στη διάκριση εσωτερικών (λειτουργία) και εξωτερικών (αναστολή λειτουργίας) σφαλμάτων. Στη συνέχεια, περιγράφουμε τα βασικά είδη διαφορικής προστασίας που έχουν καθιερωθεί για την επιτήρηση ζυγών.

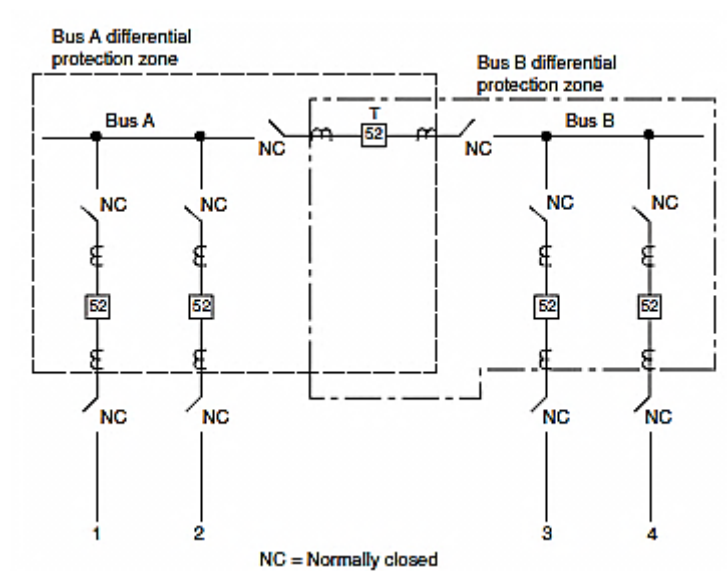


(α)

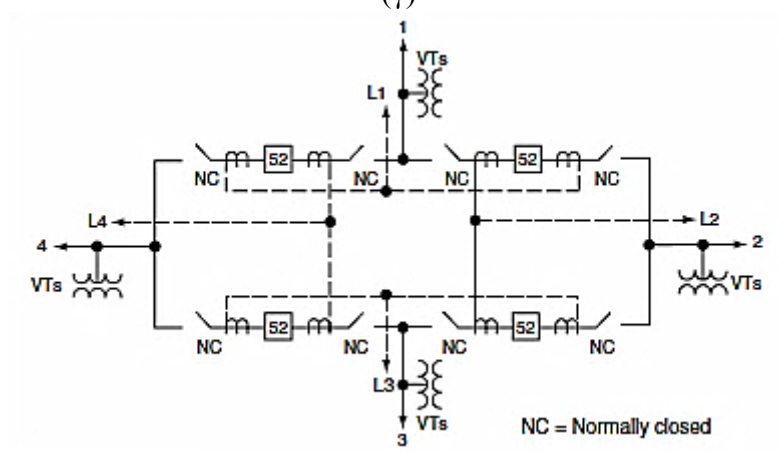


(β)





(γ)

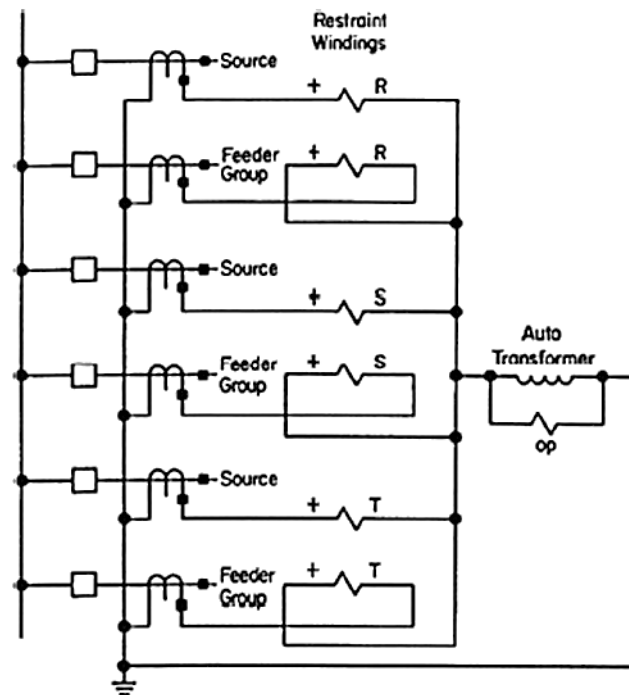


(δ)

**Σχήμα 1.36:** Είδη ζυγών με τις διαφορικές ζώνες προστασίας τους, (α) απλός Δ.Ι. – απλός ζυγός, (β) απλός Δ.Ι. – κύριος ζυγός με ζυγό μεταφοράς, (γ) απλός Δ.Ι. – διπλός ζυγός με διακόπτη παράκαμψης, (δ) δακτυλιδοειδής ζυγός [6]

- **Διαφορική προστασία πολλαπλών πηνίων αναστολής (Multirestraint current differential protection)**

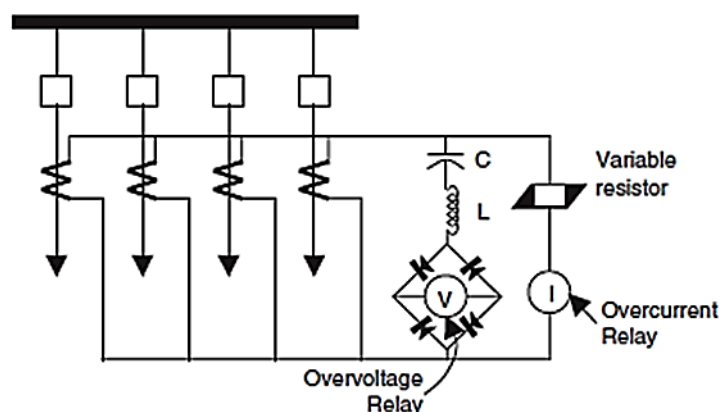
Αποτελεί τον πιο ευέλικτο γενικό τρόπο προστασίας ζυγών χρησιμοποιώντας κλασικούς μετασχηματιστές έντασης, όμως είναι πολύπλοκος στην εφαρμογή του. Απαιτεί ένα πηνίο λειτουργίας για κάθε φάση και ένα πηνίο αναστολής για κάθε φάση των κυκλωμάτων (αφίξεων ή αναχωρήσεων) που έχουν μεγάλη συνεισφορά σε πιθανό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Τα κυκλώματα που δε συνεισφέρουν πολύ στο ρεύμα σφάλματος μπορούν να παραλληλιστούν και να συνδεθούν σε ένα κοινό πηνίο αναστολής. Οι ηλεκτρονόμοι που παρέχουν αυτού του είδους προστασία είναι εφοδιασμένοι με το πολύ έξι πηνία αναστολής. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η εύκολη συνδεσμολογία των μετασχηματιστών έντασης με τους ηλεκτρονόμους προστασίας. Για την ακρίβεια είναι συνδεδεμένοι σε αστέρα με τα πηνία λειτουργίας και αναστολής, διότι δεν έχουμε προβλήματα στροφής φάσης (όπως π.χ. στους μετασχηματιστές ισχύος).



Σχήμα 1.37: Εφαρμογή διαφορικής προστασίας πολλαπλών πηνίων αναστολής [15]

- **Διαφορική προστασία με ηλεκτρονόμο τάσης, υψηλής σύνθετης αντίστασης (High-impedance voltage differential protection)**

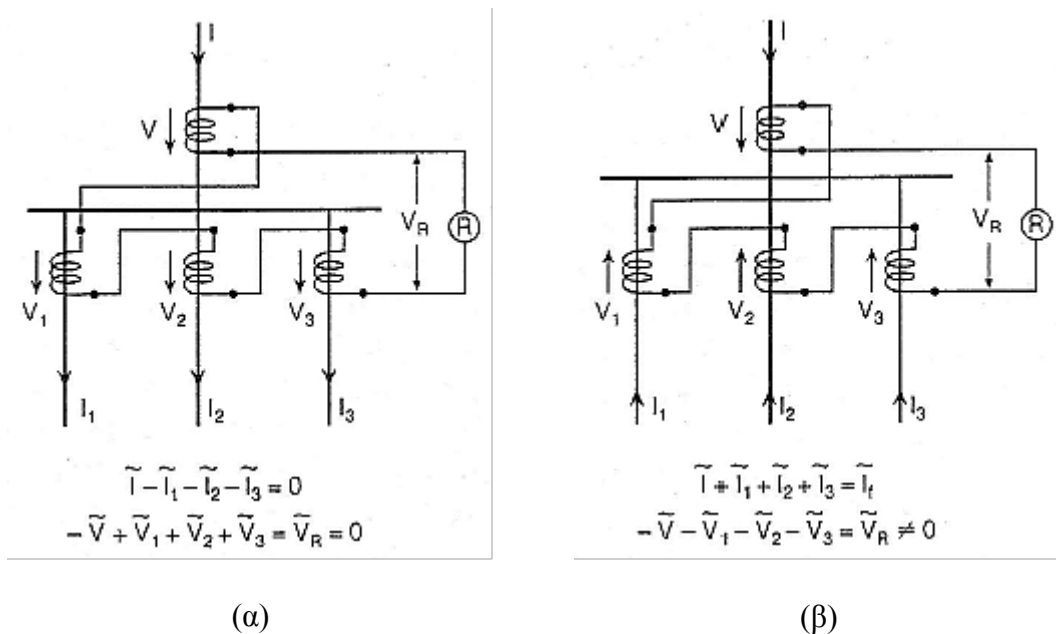
Έχει ευρύτατη εφαρμογή σε ζυγούς ΥΤ. Το κύκλωμα και η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης προστασίας φαίνεται στο σχήμα 1.38. Η λειτουργία του ηλεκτρονόμου τάσης, υψηλής σύνθετης αντίστασης βασίζεται στη μέτρηση της τάσης επί του πηνίου λειτουργίας, βάσει της οποίας γίνεται και η διάκριση εσωτερικών και εξωτερικών σφαλμάτων. Το στοιχείο L-C συντονίζεται στα 50 Hz, ώστε να αποφεύγεται η λειτουργία του ηλεκτρονόμου λόγω παρουσίας αρμονικών ή συνεχούς συνιστώσας στο ρεύμα βραχυκύκλωσης εξωτερικού σφάλματος. Η μεταβλητή αντίσταση ρυθμίζει την τάση στα άκρα του ηλεκτρονόμου και το στοιχείο υπέρντασης χρησιμεύει στο να λειτουργεί γρήγορα σε περίπτωση πολύ μεγάλων εξωτερικών σφαλμάτων. Το συγκεκριμένο είδος προστασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνδυασμό με την απλή διαφορική προστασία, για τη βελτίωση των αδυναμιών της. Η συνδυασμένη αυτή προστασία καλείται **moderate high-impedance differential protection** (προσαρμοσμένη διαφορική προστασία με ηλεκτρονόμο τάσης, υψηλής σύνθετης αντίστασης).



Σχήμα 1.38: Κύκλωμα λειτουργίας ηλεκτρονόμου τάσης υψηλής σύνθετης αντίστασης [7]

- **Διαφορική προστασία μέσω γραμμικών πηνίων ζεύξης (Linear couplers)**

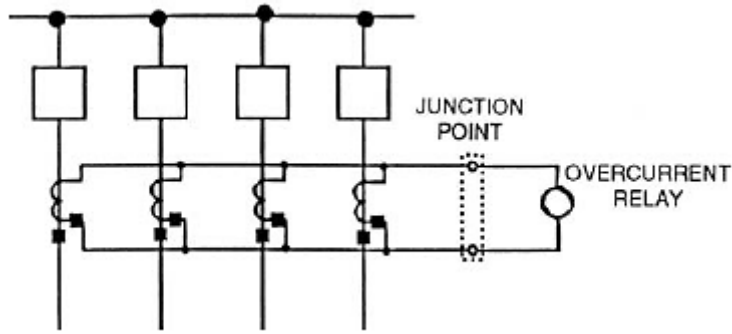
Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται αλληλεπαγωγικά πηνία αέρα (air mutual reactors), τα οποία λειτουργούν σα μετασχηματιστές με πυρήνα από αέρα (air – core transformers). Η χρήση αυτών των συσκευών εξαφανίζει τα προβλήματα λειτουργίας που μπορούν να προκύψουν λόγω κορεσμού των κλασικών μετασχηματιστών έντασης. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην τάση που επάγεται στα πηνία, η οποία είναι ανάλογη του ρεύματος πρωτεύοντος και επιτυγχάνεται όταν ο ηλεκτρονόμος προστασίας μετρήσει τάση διάφορη του μηδενός. Στο σχήμα 1.39 φαίνεται η λειτουργία της προστασίας αυτής καθώς και η τάση που αναπτύσσεται για εξωτερικά (α) και εσωτερικά σφάλματα (β).



**Σχήμα 1.39:** Προστασία ζυγού με γραμμικά πηνία ζεύξης και συμπεριφορά (α) σε εξωτερικό, (β) σε εσωτερικό σφάλμα [4]

- **Διαφορική προστασία με ηλεκτρονόμο υπερέντασης (Time-overcurrent differential protection)**

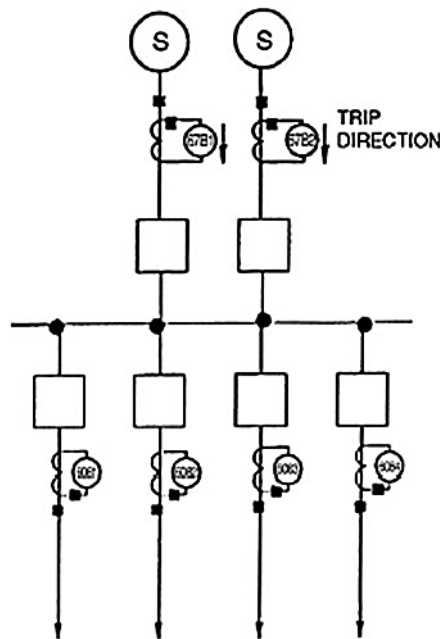
Σε αυτήν τη μέθοδο προστασίας, τα δευτερεύοντα τυλίγματα όλων των μετασχηματιστών έντασης παραλληλίζονται και συνδέονται σε έναν ηλεκτρονόμο υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου (51). Επειδή δεν υπάρχει πηνίο αναστολής, το ρεύμα κατωφλίου (pickup current) του ηλεκτρονόμου ρυθμίζεται έτσι ώστε να υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να προκύψει από εξωτερικό σφάλμα. Επίσης, η χρονική καθυστέρηση ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να μη λειτουργεί ο ηλεκτρονόμος για το διάστημα που μπορεί να κορεστεί ένας μετασχηματιστής έντασης λόγω της μεταβατικής dc συνιστώσας στο ρεύμα πρωτεύοντος. Αυτό το είδος προστασίας αποτελεί μια αργή και φτηνή σχετικά επιλογή και η εφαρμογή της απαιτεί μεγάλη εμπειρία στον τομέα των προστασιών. Εφαρμόζεται αποκλειστικά σε μικρούς ζυγούς XT.



Σχήμα 1.40: Διαφορική προστασία με ηλεκτρονόμο υπερέντασης [15]

- **Διαφορική προστασία με σύγκριση κατεύθυνσης (Directional comparison differential protection)**

Σε περιπτώσεις που απαιτείται σε προγενέστερο υποσταθμό να προστεθεί προστασία ζυγών, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα αγοράς και τοποθέτησης νέων μετασχηματιστών έντασης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στοιχεία κατεύθυνσης, δεχόμενα εισόδους από ήδη υπάρχοντες μετασχηματιστές οργάνων (π.χ. των ηλεκτρονόμων προστασίας γραμμών). Σε κάθε κύκλωμα (άφιξη ή αναχώρηση) του ζυγού τοποθετείται στοιχείο υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης, το οποίο επιτηρεί το ρεύμα και τη φορά του, ως προς το ζυγό. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η σχεδόν πλήρης ανεξαρτητοποίησή της από την επίδοση των μετασχηματιστών οργάνων, ενώ μειονέκτημά της είναι το σχετικά υψηλό κόστος (απαιτείται ένας ηλεκτρονόμος για κάθε κύκλωμα), αλλά και η πολυπλοκότητα στις συνδέσεις και στις ρυθμίσεις επιλογικής συνεργασίας των ηλεκτρονόμων.

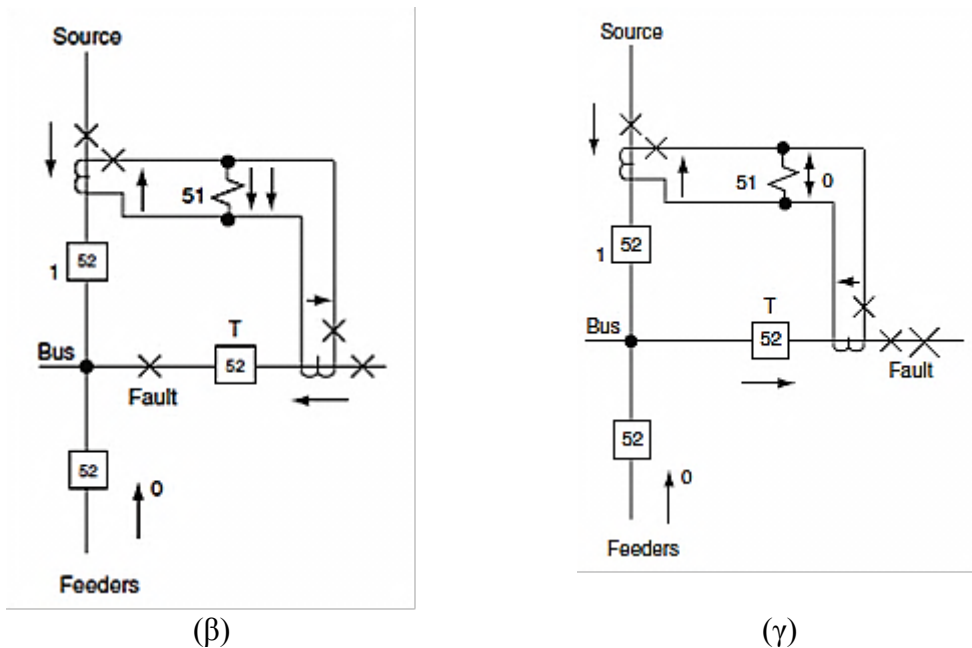
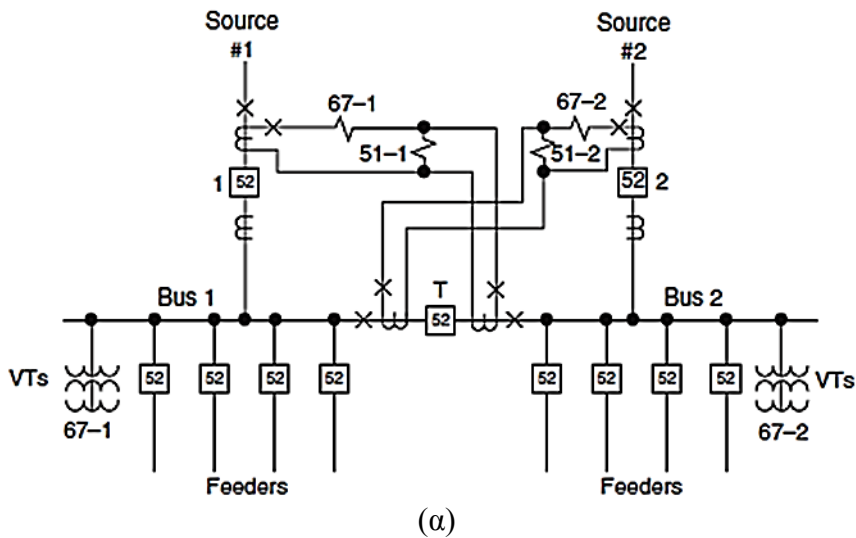


Σχήμα 1.41: Παράδειγμα διαφορικής προστασίας με σύγκριση κατεύθυνσης [15]

- **Μερική διαφορική προστασία (Partial differential protection)**

Αυτό το είδος προστασίας εφαρμόζεται σε ζυγούς XT βιομηχανικών υποσταθμών ή υποσταθμών Σ.Η.Ε., όπου τα φορτία που τροφοδοτούνται μέσω των ζυγών αυτών δε συνεισφέρουν στο ρεύμα σφάλματος των ζυγών και δεν υπάρχει επαρκής αριθμός μετασχηματιστών οργάνων για πλήρη διαφορική προστασία. Στη μέθοδο αυτή, τα δευτερεύοντα των διαθέσιμων μετασχηματιστών έντασης παραλληλίζονται και συνδέονται σε έναν ηλεκτρονόμο υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου (51). Παράδειγμα τέτοιου είδους προστασίας

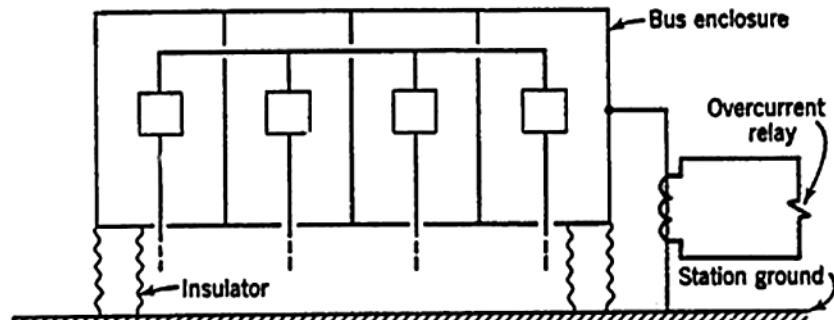
φαίνεται στο σχήμα 1.42, όπου με δύο επιπλέον σχήματα δείχνουμε τη συμπεριφορά της προστασίας για σφάλματα εντός και εκτός της διαφορικής ζώνης προστασίας. Τέλος, σημειώνουμε ότι σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται πηνία για περιορισμό ρευμάτων σφάλματος σε κάποιο ή κάποια από τα κυκλώματα που συνδέονται στον υπό προστασία ζυγό, οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης (51) που αναφέραμε μπορούν να αντικατασταθούν από ηλεκτρονόμους απόστασης (21), για ευκολότερη ρύθμιση, ταχύτερη λειτουργία και μεγαλύτερη ευαισθησία, αρκεί να υπάρχουν διαθέσιμοι μετασχηματιστές τάσης.



Σχήμα 1.42: (α) Παράδειγμα εφαρμογής μερικής διαφορικής προστασίας, (β) συμπεριφορά για εσωτερικό σφάλμα, (γ) συμπεριφορά για εξωτερικό σφάλμα [6]

- **Προστασία έναντι σφαλμάτων στο σώμα του ζυγού (Ground-fault bus protection)**

Η προστασία αυτή αφορά σφάλματα γης που μπορούν να συμβούν στο σώμα του ζυγού ή στον επιπλέον εξοπλισμό που αφορά το ζυγό (στοιχεία απόζευξης, μετασχηματιστές οργάνων, μονωτήρες στήριξης κτλ.). Όλα τα στοιχεία αυτά είναι απομονωμένα από τη γη και μέσω αγωγού, ο οποίος διέρχεται από έναν ηλεκτρονόμο υπερέντασης, γειώνονται στο ίδιο σημείο. Οποιοδήποτε σφάλμα συμβεί στον εξοπλισμό του ζυγού θα έχει σαν αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος μέσω του ηλεκτρονόμου και συνεπώς τη λειτουργία του.



Σχήμα 1.43: Προστασία γης του εξοπλισμού ενός ζυγού [8]

### 1.3.5 Προστασία κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος (AC motor protection)



Εικόνα 1.7: Ασύγχρονη μηχανή ονομαστικής ισχύος 2 MW

Στην υποενότητα αυτή θα αναλύσουμε τα βασικότερα σχήματα προστασίας που εφαρμόζονται σε ασύγχρονους κινητήρες ή αλλιώς κινητήρες επαγωγής (για την προστασία των σύγχρονων κινητήρων ισχύουν τα ίδια με τις σύγχρονες γεννήτριες).

Τα είδη προστασιών που εφαρμόζονται σε έναν κινητήρα εξαρτώνται από το μέγεθος του (ισχύς) και για να γίνει σωστή εφαρμογή τους θα πρέπει να είναι γνωστά:

- τα χαρακτηριστικά του δικτύου τροφοδότησης,
- τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κινητήρα,
- η καμπύλη ρεύματος εκκίνησης του κινητήρα (starting-current curve),
- η καμπύλη θερμικής αντοχής (thermal capability curve) καθώς και το θερμικό όριο της έναρξης λειτουργίας του κινητήρα (locked-rotor thermal limit),
- η παράμετρος  $K = R_{r2} / R_{r1}$ , όπου  $R_{r1}$  είναι η αντίσταση θετικής ακολουθίας του δρομέα και  $R_{r2}$  η αντίσταση αρνητικής ακολουθίας του δρομέα.

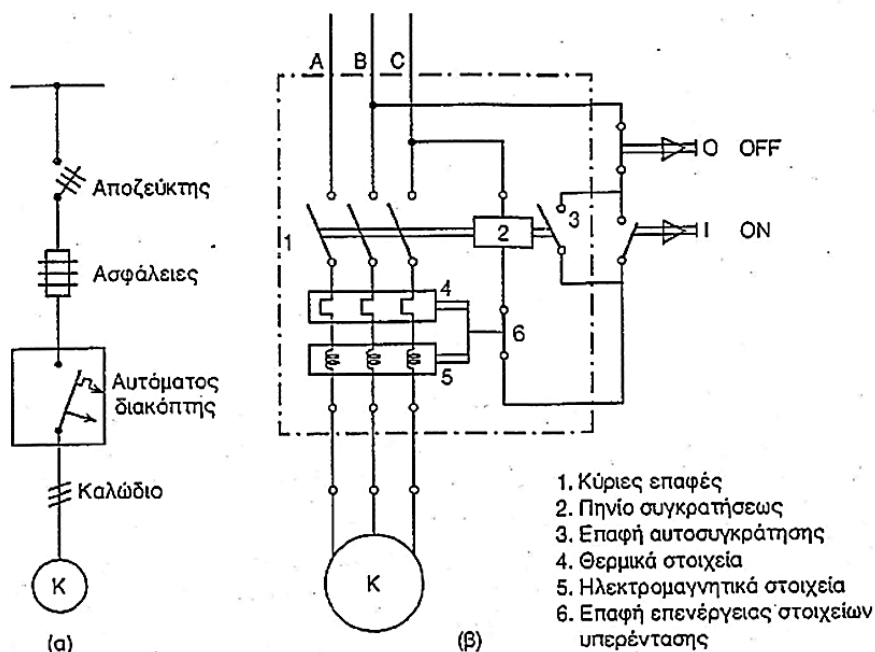
Τα σημαντικότερα σφάλματα και βλάβες που μπορούν να παρατηρηθούν σε έναν κινητήρα επαγωγής είναι τα εξής.

- **Ηλεκτρικά σφάλματα**
  1. σφάλματα μεταξύ φάσεων (π.χ. καταστροφή μόνωσης τυλιγμάτων και βραχυκύκλωμα)
  2. σφάλματα μεταξύ φάσης και γης
- **Θερμική καταπόνηση λόγω**
  1. υπερφόρτισης
  2. ακινητοποιημένου δρομέα (locked rotor)
- **Απαράδεκτες συνθήκες λειτουργίας, όπως**
  1. ασύμμετρη λειτουργία (π.χ. λόγω απώλειας σύνδεσης φάσης του κινητήρα με την αντίστοιχη φάση του δικτύου)
  2. υπόταση ή υπέρταση
  3. αντιστροφή φάσεων
  4. βίαιη διακοπή λειτουργίας ή επανεκκίνηση ενώ ακόμη κινείται ο δρομέας
  5. επιβλαβείς για τη λειτουργία του κινητήρα καιρικές συνθήκες ή συνθήκες περιβάλλοντα χώρου (π.χ. υπερβολική ζέστη, κρύο, σκόνη)
- **Μηχανικές βλάβες**
  1. κραδασμοί
  2. ταλαντώσεις στο δρομέα
  3. αποτυχία συστήματος λίπανσης
  4. αποτυχία συστήματος ψύξης
  5. καταστροφή μονώσεων τυλιγμάτων

Στη συνέχεια αναλύουμε τα είδη προστασίας που εφαρμόζονται στους ασύγχρονους κινητήρες, ανάλογα με το μέγεθός τους.

### 1.3.5.1 Κινητήρες μικρού και μεσαίου μεγέθους XT

Στο σχήμα 1.44 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται στην πράξη η προστασία για κινητήρες επαγωγής XT, από 1 μέχρι μερικές εκατοντάδες KW, όταν δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις προστασίας.



Σχήμα 1.44: Σχήμα προστασίας κινητήρων [4]

Η κύρια προστασία του κινητήρα παρέχεται από τον αυτόματο διακόπτη ισχύος, ο οποίος περιλαμβάνει θερμικό και ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο. Το θερμικό στοιχείο προστατεύει τον κινητήρα από υπερφορτίσεις παρατεταμένης διάρκειας, ενώ το ηλεκτρομαγνητικό από υπερεντάσεις που μπορούν να δημιουργηθούν λόγω κάποιου βραχυκυκλώματος.

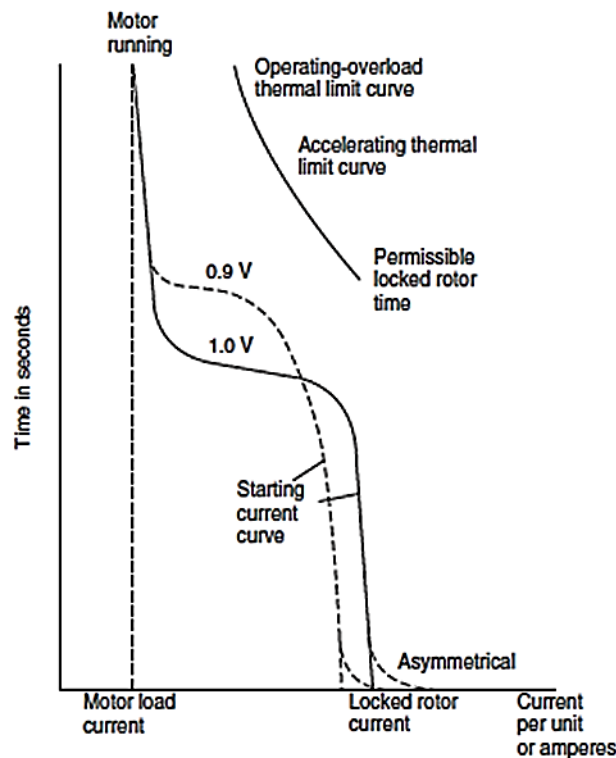
Στο σχήμα 1.44(β) απεικονίζεται το κύκλωμα λειτουργίας ενός συνήθους αυτόματου διακόπτη, ο οποίος περιέχει τα στοιχεία που προαναφέραμε. Τα στοιχεία αυτά επενεργούν στην επαφή 6, η οποία διακόπτει την τροφοδότηση του πηνίου αυτοσυγκράτησης 2 και προκαλείται άνοιγμα του αυτόματου διακόπτη. Η βοηθητική επαφή 3 χρησιμεύει για τη συνεχή τροφοδότηση του πηνίου αυτοσυγκράτησης, όταν ο αυτόματος διακόπτης είναι κλειστός.

Το πηνίο αυτοσυγκράτησης διατηρεί τον αυτόματο διακόπτη κλειστό όσο η τάση στα άκρα του είναι αρκετά υψηλή (συνήθως πάνω από το 70% της ονομαστικής), με αποτέλεσμα να έχουμε το άνοιγμα του αυτόματου διακόπτη, αν η τάση πέσει κάτω από ένα όριο. Στην ουσία το πηνίο αυτοσυγκράτησης παρέχει προστασία υπότασης στον κινητήρα. Για κινητήρες μεγάλης σχετικά ισχύος απαιτείται ηλεκτρονόμος υπότασης, για πιο αποτελεσματική συμπεριφορά της συγκεκριμένης προστασίας.

Η εγκατάσταση ασφαλειών είναι επιτακτική σε περιπτώσεις που ο αυτόματος διακόπτης δεν έχει την ικανότητα διακοπής της μέγιστης υπερέντασης που μπορεί να παρουσιαστεί. Σε διαφορετική περίπτωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό του διακοπόμενου τμήματος σε περίπτωση βλάβης του αυτόματου διακόπτη ή για την προστασία του ίδιου του αυτόματου διακόπτη.

#### 1.3.5.2 Κινητήρες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους MT

Σε κινητήρες επαγωγής μεσαίου και μεγάλου μεγέθους με τάση τροφοδοσίας άνω των 1000 V (MT), χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι διαφόρων ειδών προστασίας, οι οποίοι τροφοδοτούνται από μετασχηματιστές οργάνων και όχι απευθείας από το δίκτυο. Για την κατάλληλη ρύθμιση των προστασιών απαιτούνται, όπως έχουμε αναφέρει, οι καμπύλες ρεύματος-εκκίνησης και θερμικής αντοχής του κινητήρα. Παράδειγμα τέτοιων καμπυλών φαίνεται στο σχήμα 1.45.

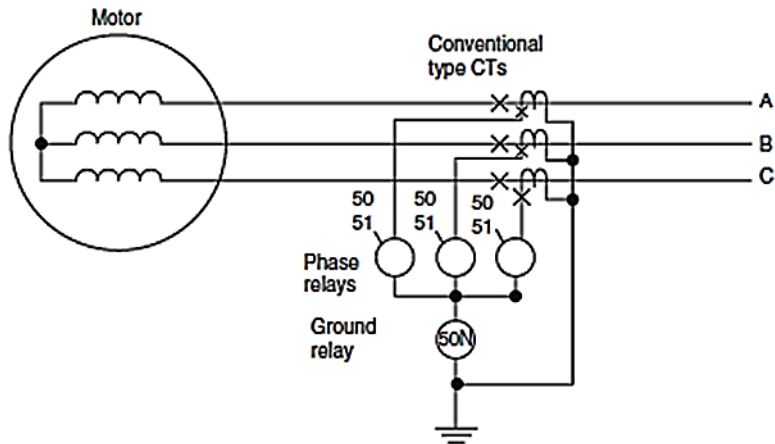


Σχήμα 1.45: Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα επαγωγής [6]



- **Προστασία υπερέντασης**

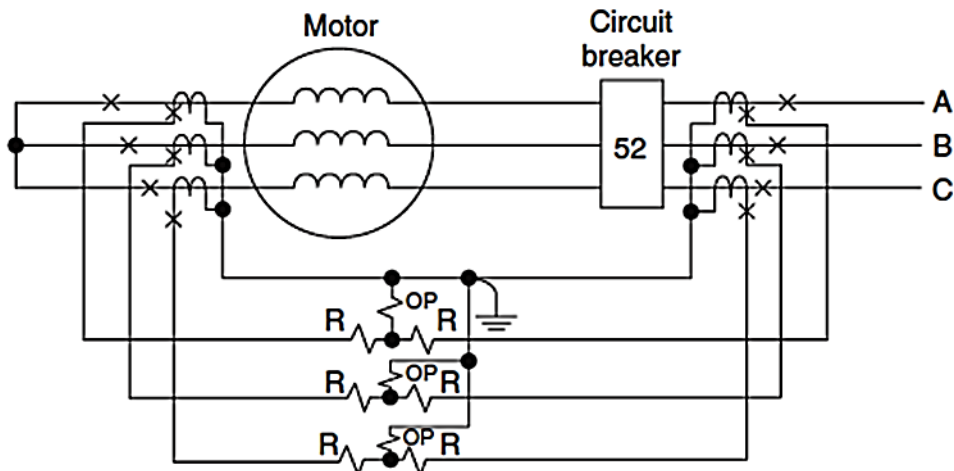
Οι κινητήρες επαγωγής προστατεύονται από υπερεντάσεις, λόγω βραχυκυκλωμάτων, μέσω ηλεκτρονόμων υπερέντασης. Για προστασία έναντι σφαλμάτων φάσεων χρησιμοποιείται συνδυασμός ηλεκτρονόμων υπερέντασης στιγμιαίας λειτουργίας και αντιστρόφου χρόνου (50, 51), ενώ για προστασία έναντι σφαλμάτων γης χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρονόμος υπερέντασης, στιγμιαίας λειτουργίας ή αντιστρόφου χρόνου (50G, 50N, 51N), όπως δείχνει το παράδειγμα του σχήματος 1.46.



Σχήμα 1.46: Παράδειγμα προστασίας υπερέντασης κινητήρα επαγωγής [6]

- **Διαφορική προστασία**

Χρησιμοποιείται σε κινητήρες ισχύος άνω του 1MW, επειδή προσφέρει ταχύτερη λειτουργία, μεγαλύτερη ευαισθησία και ανεξαρτησία από τα υπόλοιπα είδη προστασιών που εφαρμόζονται. Η συνδεσμολογία του ηλεκτρονόμου διαφορικής προστασίας (87) είναι όμοια με αυτή του στάτη στις σύγχρονες γεννήτριες που αναλύσαμε και φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 1.47: Παράδειγμα εφαρμογής διαφορικής προστασίας σε κινητήρα επαγωγής [6]

- **Θερμική προστασία**

Αυτό το είδος προστασίας αφορά την υπερθέρμανση που μπορεί να υποστεί ο κινητήρας κατά τη διάρκεια υπερφόρτισής του (thermal protection), καθώς και την υπερθέρμανση λόγω του μεγάλου ρεύματος εκκίνησης (locked-rotor protection). Για την πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιείται ηλεκτρονόμος υπερθέρμανσης (49), ο οποίος δέχεται σαν είσοδο τις θερμοκρασίες διάφορων σημείων στα τυλίγματα του στάτη μέσω ανιχνευτών (RTDs), ενώ για την προστασία λόγω ρεύματος εκκίνησης μεριμνούμε να είμαστε εντός των επιτρεπτών ορίων,

κατά τη ρύθμιση των ηλεκτρονόμων υπερέντασης. Σε περιπτώσεις κινητήρων μεγάλου μεγέθους, χρησιμοποιούνται και ηλεκτρονόμοι απόστασης (21), για την επιτήρηση της διαδικασίας εκκίνησης. Στο σχήμα 1.48 φαίνεται παράδειγμα εφαρμογής της θερμικής προστασίας, της προστασίας εκκίνησης και της προστασίας υπερέντασης κινητήρα επαγωγής.

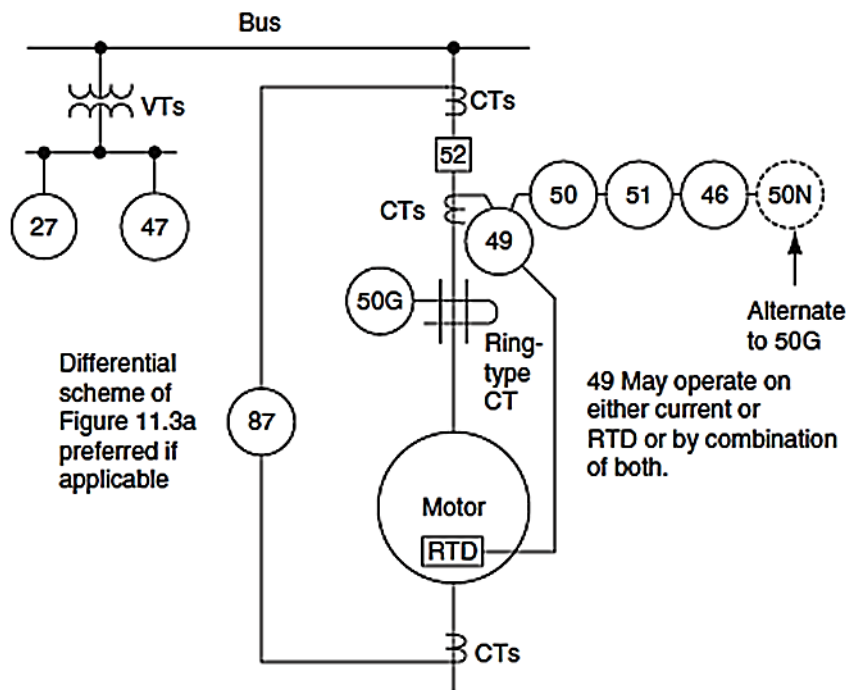
- **Προστασία από ασυμμετρίες και αντιστροφή φάσεων**

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να εντοπίσουμε αν υπάρχουν ασύμμετρες τάσεις και ρεύματα στις φάσεις του κινητήρα. Ένας τρόπος είναι η εφαρμογή ηλεκτρονόμου ισορροπίας ρευμάτων (46, current balance relay), ο οποίος συγκρίνει τις τιμές των εντάσεων στις φάσεις του κινητήρα και λειτουργεί όταν παρατηρήσει διαφορά πάνω από ένα όριο, που του έχουμε θέσει. Ένας δεύτερος τρόπος είναι η εφαρμογή μιας παραλλαγής του ηλεκτρονόμου 46, ο οποίος υπολογίζει τα ρεύματα αρνητικής ακολουθίας των φάσεων (που είναι μεγάλης τιμής για τις ασύμμετρα φορτισμένες φάσεις) και λειτουργεί ακαριαία, σε σταθερό χρόνο ή βάσει της χαρακτηριστικής  $I_2^2 \cdot t = K$ . Μια ακόμη μέθοδος χρησιμοποιεί ηλεκτρονόμο που υπολογίζει την τάση αρνητικής ακολουθίας (47). Το συγκεκριμένο είδος προστασίας προστατεύει, επίσης, τον κινητήρα από πιθανή αντιστροφή φάσεων.

- **Προστασία υπότασης/υπέρτασης**

Η εμφάνιση υπότασης στις φάσεις ενός κινητήρα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρευμάτων των φάσεων, καθώς και την αδυναμία να εκκινήσει ο κινητήρας ή να φτάσει την επιθυμητή ταχύτητα λειτουργίας. Συνήθως, το σύστημα εκκίνησης των μεγάλων κινητήρων διαθέτουν στοιχείο υπότασης. Παρόλα αυτά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και έναν ηλεκτρονόμο υπότασης αντιστρόφου χρόνου (27), αν δε διαθέτει ο κινητήρας τέτοιο στοιχείο ή για εφεδρική προστασία σε περίπτωση βλάβης του. Επιπλέον, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και ηλεκτρονόμο υπέρτασης, για να επιτηρούμε και να προστατεύουμε τον κινητήρα μας από υψηλές τάσεις παρατεταμένης διάρκειας, που μπορούν να προκαλέσουν πρόβλημα στη σωστή λειτουργία του.

Τα είδη προστασίας κινητήρα, που αναφέραμε στις παραπάνω γραμμές, φαίνονται συγκεντρωμένα στο σχήμα 1.48.



Σχήμα 1.48: Προστασίες κινητήρα επαγωγής [6]

### 1.3.6 Προστασία πηνίων (Reactor protection)



Εικόνα 1.8: Πηνία αέρος για εφαρμογή σε σειρά ή παράλληλα

Τα πηνία σε ένα Σ.Η.Ε. μπορούν να εγκατασταθούν:

- σε αγωγούς ουδετέρου γείωσης για να περιορίσουν το ρεύμα σφάλματος προς γη (αναφέρεται και στις μεθόδους γείωσης, ενότητα 1.5),
- σε σειρά με τις φάσεις μιας γραμμής μεταφοράς ή μεταξύ ζυγών με υψηλή στάθμη βραχυκύκλωσης, προκειμένου να μεταβάλλουν τη σύνθετη αντίσταση του συστήματος και να μειώσουν το ρεύμα σφάλματος (series connection),
- παράλληλα σε μια γραμμή μεταφοράς, για να αντισταθμίσουν τη χωρητικότητά της (shunt connection).

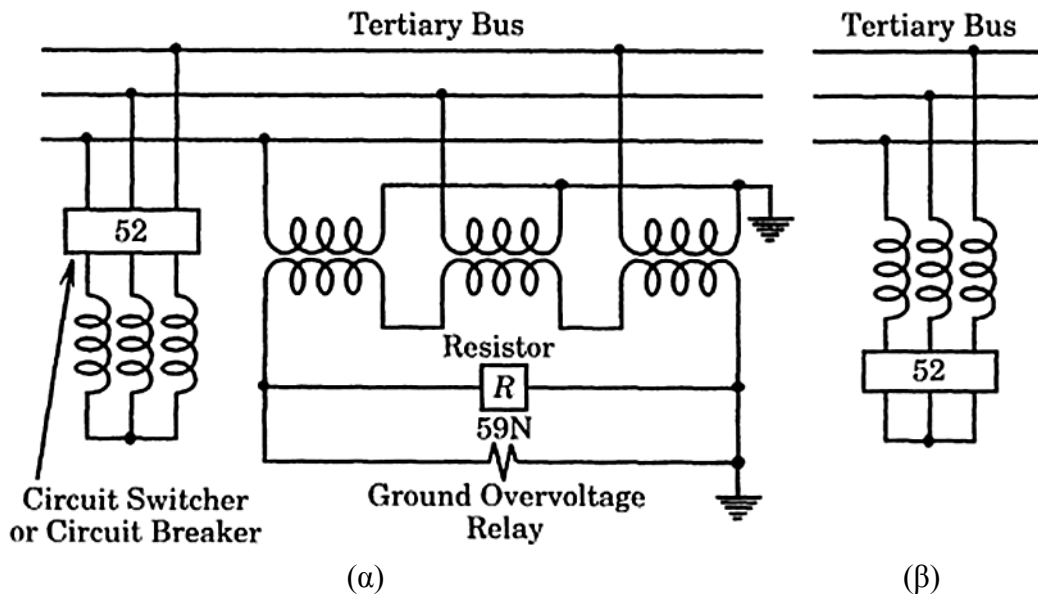
Τα πηνία είναι διαθέσιμα είτε ανά φάση, με το καθένα να διαθέτει το δικό του κέλυφος (single-phase reactors), είτε τριφασικά, με κοινό κέλυφος και για τις τρεις φάσεις. Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιείται σε γραμμές ΥΤ ή ΥΥΤ, ενώ η δεύτερη σε εφαρμογές χαμηλότερης τάσης.

Η προστασία των πηνίων σε σειρά παρέχεται μέσω των σχημάτων προστασίας που εφαρμόζονται στους ζυγούς και στις γραμμές μεταφοράς (διαφορική, υπερέντασης, απόστασης κτλ.). Για τα πηνία γείωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονόμοι υπερέντασης για την επιτήρησή τους. Στην υποενότητα αυτή θα ασχοληθούμε με τα δύο είδη πηνίων, ως προς την κατασκευή, που συναντάμε στα Σ.Η.Ε. και με τις μεθόδους προστασίας που εφαρμόζονται σε αυτά, όταν συνδέονται παράλληλα στο σύστημα.

#### 1.3.6.1 Πηνία αέρος (Dry-type or air-core reactors)

Τα πηνία αυτού του τύπου τοποθετούνται στο τριτεύον των μετασχηματιστών ισχύος ενός υποσταθμού, σε συνδεσμολογία αγείωτου αστέρα. Εκτός από τα πηνία, στο ζυγό του τριτεύοντος τοποθετείται και ένας μετασχηματιστής γείωσης, με το πρωτεύον του σε συνδεσμολογία

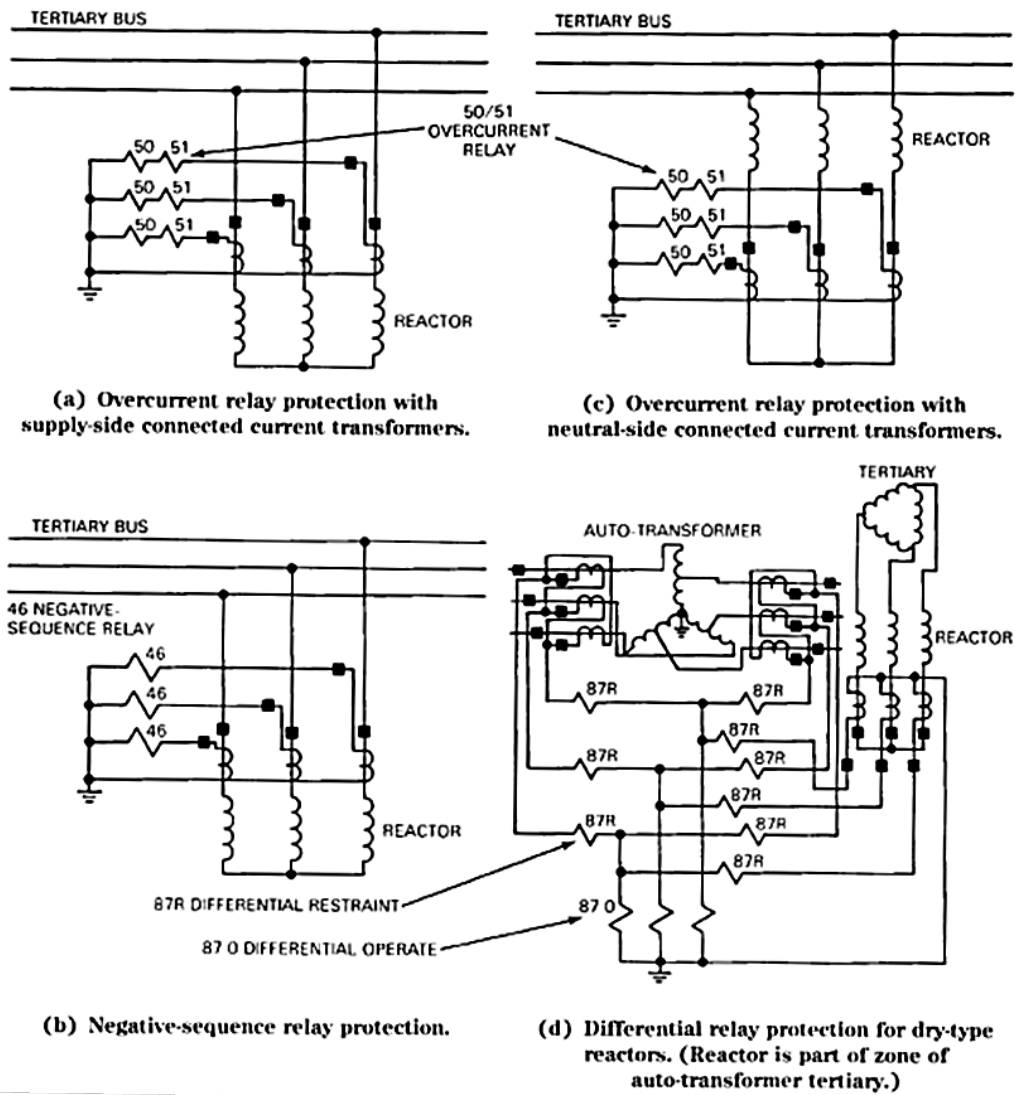
γειωμένου αστέρα και το δευτερεύον του σε ανοικτού δέλτα, με σκοπό τη μείωση του ρεύματος σφάλματος, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος φάσης – γης. Επίσης, σημειώνουμε ότι τα πηνία μπορούν να έχουν το διακόπτη σύνδεσής τους είτε στην πλευρά της τροφοδοσίας είτε στην πλευρά του ουδετέρου κόμβου τους. Όλα όσα περιγράψαμε φαίνονται στο σχήμα 1.49.



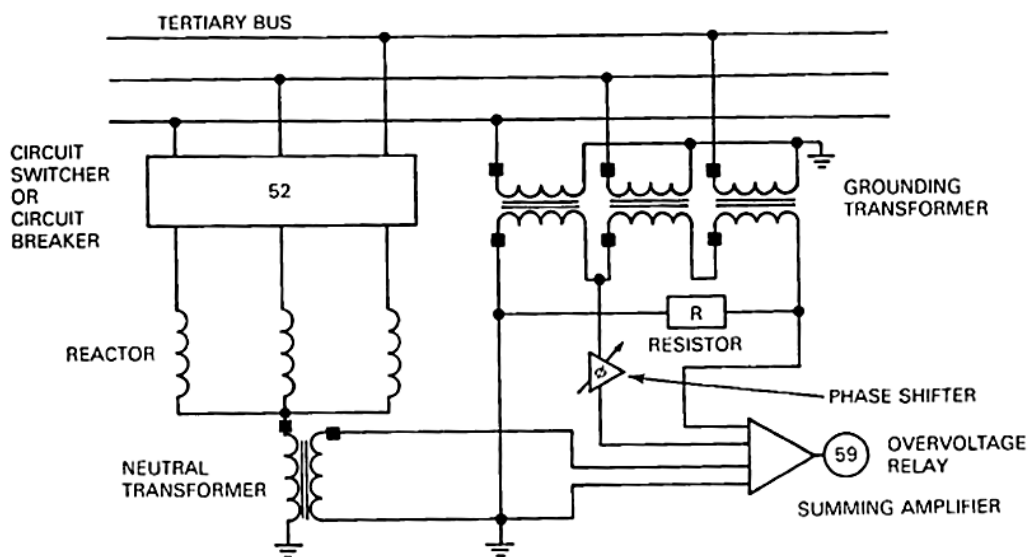
*Σχήμα 1.49: Εγκατάσταση πηνίων αέρος και μετασχηματιστή γείωσης στο τριτεύον μετασχηματιστή ισχύος με το διακόπτη χειρισμού (α) στην πλευρά τροφοδοσίας, (β) στην πλευρά του ουδετέρου [16]*

Τα σφάλματα που μπορούν να προκύψουν σε έναν υποσταθμό και επηρεάζουν τα πηνία, καθώς και τα σχήματα προστασίας που χρησιμοποιούνται για την εκκαθάρισή τους, είναι:

- **Σφάλμα μεταξύ φάσεων του ζυγού τριτεύοντος.** Για την προστασία των πηνίων από τέτοιου είδους σφάλματα χρησιμοποιούνται σχήματα με ηλεκτρονόμους υπέρτασης, διαφορικούς, αρνητικής ακολουθίας ή συνδυασμό τους. Ο τρόπος εφαρμογής των προστασιών αυτών φαίνεται στο σχήμα 1.50.
- **Σφάλμα γης στο ζυγό τριτεύοντος.** Για την προστασία των πηνίων από σφάλματα γης χρησιμοποιείται ηλεκτρονόμος υπέρτασης στα άκρα του ανοικτού δέλτα στο μετασχηματιστή γείωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.49(α).
- **Σφάλμα μεταξύ σπειρών του πηνίου.** Τέτοια σφάλματα είναι δύσκολο να γίνουν αντιληπτά λόγω του μικρού ρεύματος βραχυκύκλωσης που προκύπτει. Για την προστασία των πηνίων από σφάλματα μεταξύ σπειρών χρησιμοποιούνται σχήματα ανίχνευσης ασυμμετρίας τάσης (voltage unbalance schemes), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.51.



Σχήμα 1.50: Σχήματα προστασίας πηνίων έναντι σφαλμάτων φάσης [27]



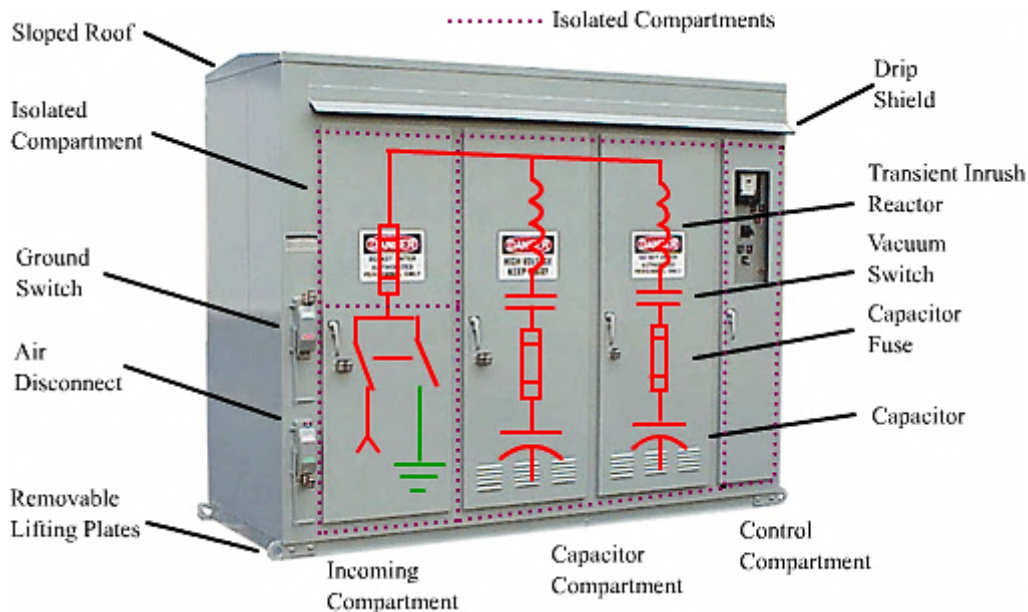
Σχήμα 1.51: Σχήμα προστασίας πηνίων για σφάλματα μεταξύ των σπειρών τους [27]

1.3.6.2 Πηνία ελαίου (Oil-immersed reactors)

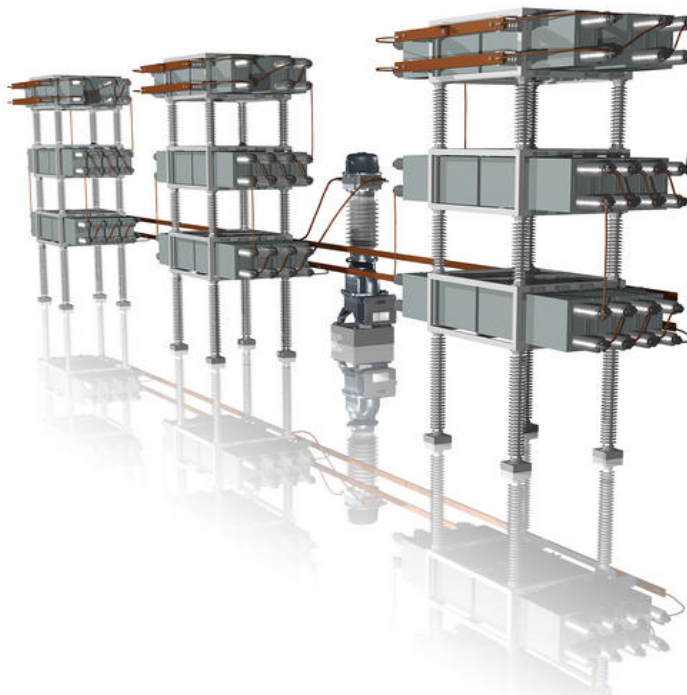
Τα πηνία ελαίου χρησιμοποιούνται στο ένα ή και στα δύο άκρα μιας μεγάλης γραμμής μεταφοράς, με σκοπό τον έλεγχο της τάσης. Επίσης, συχνά συνδέονται και στους ζυγούς ΥΤ υποσταθμών. Η συνδεσμολογία τους είναι αστέρα με απευθείας γείωση και σε αρκετές περιπτώσεις είναι μόνιμη η σύνδεσή τους παράλληλα στη γραμμή που ελέγχουν. Τα σφάλματα καθώς και τα σχήματα προστασίας για την αντιμετώπισή τους, που συναντάμε στα πηνία ελαίου είναι:

- **Σφάλμα στον εξοπλισμό**, όπως καταστροφή μονώσεων, των ακροδεκτών ή βραχυκύκλωμα μεταξύ των τυλιγμάτων και του γειωμένου κελύφους, το οποίο επιφέρει μεγάλης τιμής ρεύμα βραχυκύκλωσης. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται σχήματα προστασίας με ηλεκτρονόμους υπερέντασης, διαφορικούς, απόστασης τύπου σύνθετης αντίστασης ή συνδυασμό τους.
- **Σφάλμα μεταξύ σπειρών του πηνίου**. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι πίεσης (sudden-pressure relays) ή ελέγχου αερίων (gas-accumulator relays), όπως και στους μετασχηματιστές ισχύος με μονωτικό λάδι.
- **Διαρροή λαδιού ή σφάλμα στο σύστημα ψύξης του πηνίου**. Για την έγκαιρη αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων χρησιμοποιούνται συσκευές ελέγχου της ροής του λαδιού και θερμικές συσκευές, που ελέγχουν τη θερμοκρασία του.
- **Υπέρταση στη γραμμή μεταφοράς**. Χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι υπέρτασης (59N), για την αποσύνδεση των πηνίων υπό συνθήκες μεγάλης υπέρτασης, η οποία πρέπει να γίνει ταυτόχρονα με την απομόνωση της γραμμής. Αυτό ισχύει, διότι η αφαίρεση των πηνίων από μια γραμμή μεταφοράς έχει σαν αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της τάσης, με αποτέλεσμα την πιθανότητα πρόκλησης ανεπανόρθωτης βλάβης στη γραμμή.

1.3.7 Προστασία πυκνωτών (Capacitor bank protection)



Εικόνα 1.9: Εσωκλειστη συστοιχία πυκνωτών (Metal enclosed capacitor bank)



*Εικόνα 1.10: Εξωτερική συστοιχία πυκνωτών (Open-rack capacitor bank)*

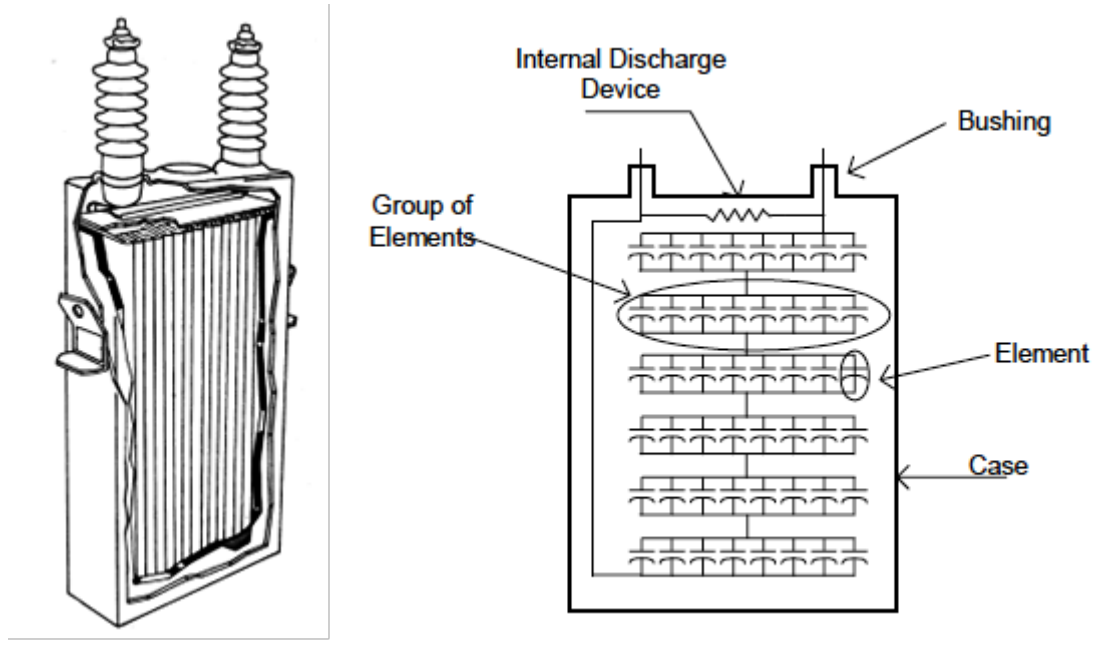
Οι πυκνωτές μπορούν να εγκατασταθούν σε σειρά με μια γραμμή μεταφοράς, για να μειώσουν τη συνολική σύνθετη αντίσταση μεταξύ μεγάλων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή παράλληλα σε ζυγό υποσταθμού, με σκοπό την παραγωγή μέρους της αέργου ισχύος που απαιτούν τα συνδεδεμένα στο σύστημα φορτία, καθώς και για να ελέγχουν την τάση και το συντελεστή ισχύος του συστήματος. Η προστασία των πυκνωτών που συνδέονται σε σειρά με μια γραμμή μεταφοράς λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη προστασίας της γραμμής και γι' αυτό δε θα αναφερθούμε περαιτέρω στην υποενοότητα αυτή.

Η προστασία των παράλληλων στο Σ.Η.Ε. πυκνωτών που τοποθετούνται επί των εναέριων γραμμών διανομής (MT) και είναι μικρής σχετικά ισχύος προστατεύονται ομαδικά με ασφάλειες ανά φάση.



*Εικόνα 1.11: Συστοιχία πυκνωτών σε εναέρια γραμμή MT (Pole-mounted capacitor bank)*

Για τις συστοιχίες πυκνωτών που εγκαθίστανται στους ζυγούς ΜΤ υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ (όπως αυτοί των εικόνων 1.9, 1.10) υπάρχουν διάφορα σχήματα προστασίας. Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή αυτών των σχημάτων, παρουσιάζουμε στο σχήμα 1.52 τη δομή των πυκνωτικών μονάδων (capacitor unit), πολλές από τις οποίες περιλαμβάνει ολόκληρη η συστοιχία (capacitor bank). Οι συνδεσμολογίες των ομαδοποιημένων πυκνωτικών μονάδων εντός μιας συστοιχίας, που εφαρμόζονται, είναι ο αγείωτος αστέρας, ο γειωμένος αστέρας και η συνδεσμολογία τριγώνου.



Σχήμα 1.52: Πυκνωτική μονάδα (Capacitor unit) [19]

Για τη σωστή επιλογή και ρύθμιση των σχημάτων προστασιών που θα χρησιμοποιηθούν για μία συστοιχία πυκνωτών χρειάζεται να γνωρίζουμε τα όρια λειτουργίας της.

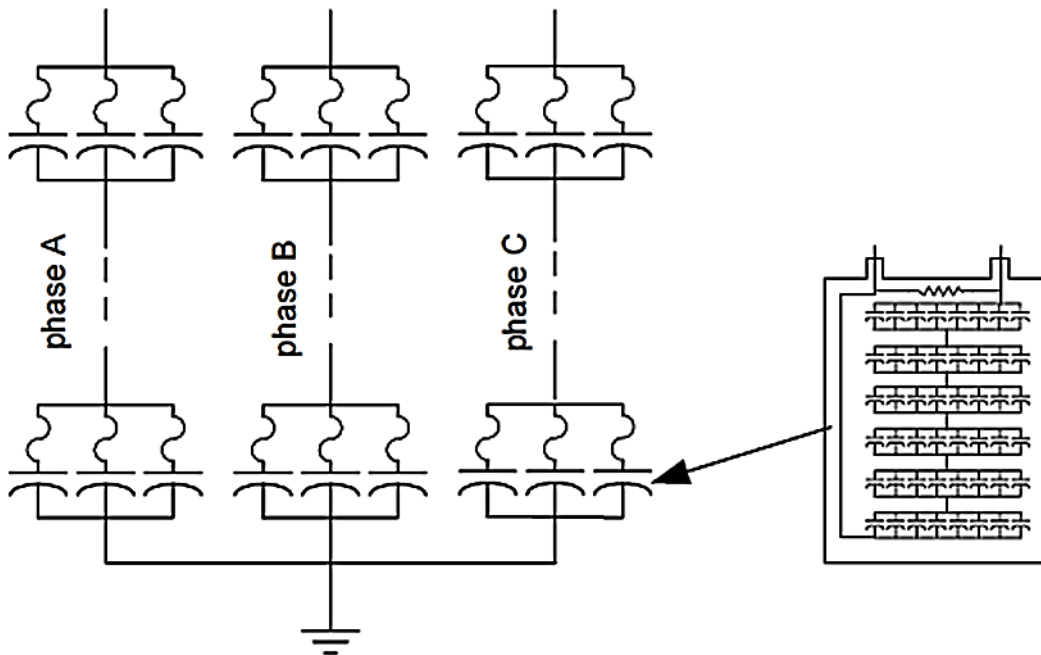
- Η τιμή της τάσης στους ακροδέκτες της συστοιχίας δεν πρέπει να υπερβαίνει το 110% της ονομαστικής στη συνεχή λειτουργία και την τιμή  $1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{nom}$ , για τιμές κορυφής.
- Η συστοιχία πρέπει να είναι ικανή να διαρρέεται από ρεύμα έντασης μέχρι το 135% της ονομαστικής.
- Η συστοιχία δεν πρέπει να παρέχει λιγότερο από το 100% και περισσότερο από το 115% της ονομαστικής αέργου ισχύος, για ημιτονοειδή τάση ονομαστικής τιμής και συχνότητας.
- Η συστοιχία πρέπει να είναι ικανή να παρέχει μέχρι και το 135% της αέργου ισχύος σε συνεχή λειτουργία, αν ισχύουν οι εξής συνθήκες:
  1. Θεμελιώδης συνιστώσα τάσης με τιμή ως το 110% της ονομαστικής.
  2. Επιβολή αρμονικών συνιστωσών τάσης με συχνότητα μεγαλύτερη της θεμελιώδους.
  3. Ανοχή στην άεργο ισχύ, από τον κατασκευαστή, μέχρι και 115% της ονομαστικής.

Ένα βασικό είδος προστασίας που διαθέτει μία συστοιχία πυκνωτών είναι ασφάλειες στις πυκνωτικές μονάδες (υπάρχουν και συστοιχίες που δε διαθέτουν ασφάλειες). Ανάλογα με τον τρόπο που εγκαθίστανται εντός της συστοιχίας, προκύπτουν δύο επιμέρους είδη προστασιών:



- **Εξωτερικά ασφαλισμένες συστοιχίες πυκνωτών (Externally fused capacitor banks)**

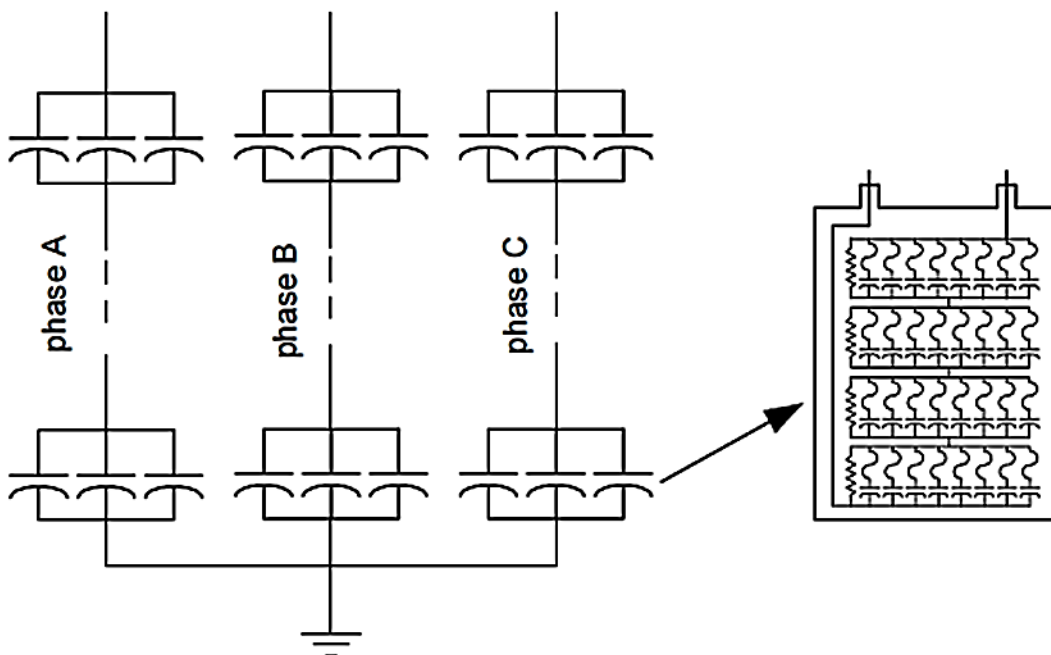
Στην περίπτωση αυτή, το κέλυφος της συστοιχίας πυκνωτών διαθέτει ασφαλειοθήκες μεταξύ των πυκνωτικών μονάδων και το ζυγό ασφαλειών, όπου τοποθετούνται οι κατάλληλες ασφάλειες για κάθε μονάδα ξεχωριστά.



Σχήμα 1.53: Εξωτερικά ασφαλισμένη συστοιχία πυκνωτών [19]

- **Εσωτερικά ασφαλισμένες συστοιχίες πυκνωτών (Internally fused capacitor banks)**

Σε αυτήν την περίπτωση, κάθε πυκνωτικό στοιχείο εντός της πυκνωτικής μονάδας (βλ. σχήμα 1.52) διαθέτει την ασφάλεια του, όπως δείχνει το σχήμα 1.54. Αυτού του είδους οι πυκνωτικές μονάδες είναι ιδιαίτερα μεγάλες και διαθέτουν λιγότερα παράλληλα στοιχεία ανά ομάδα και συνεπώς περισσότερες ομάδες συνδεδεμένες σε σειρά.

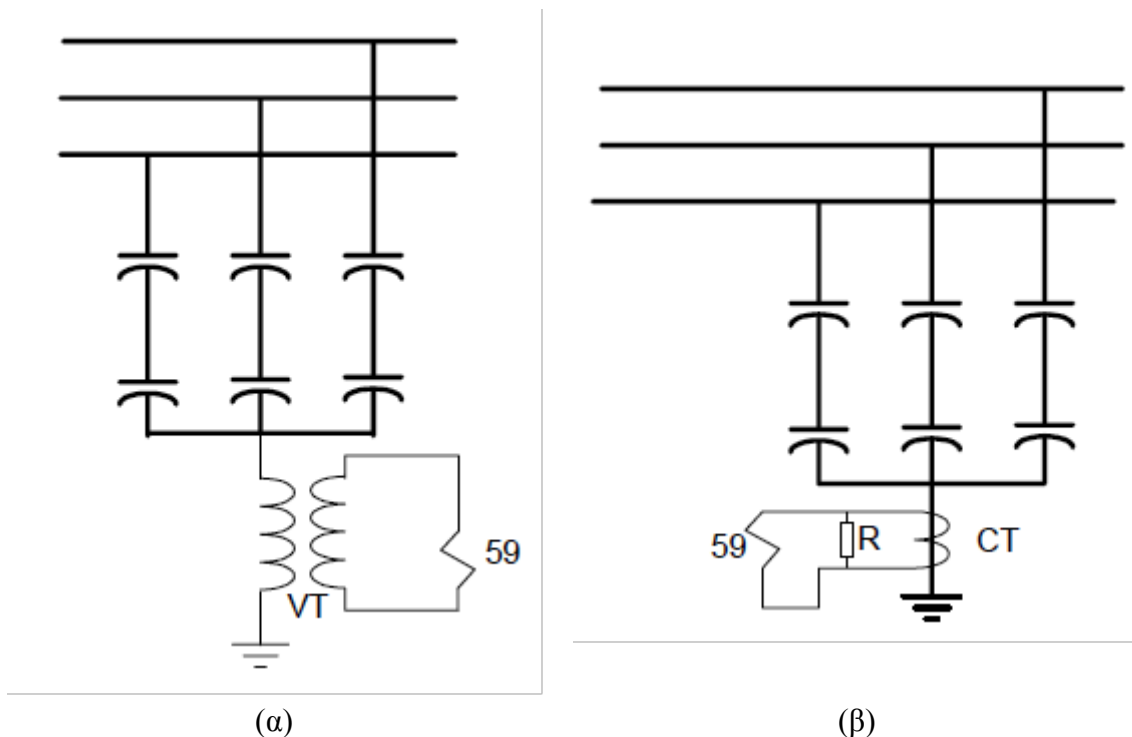


Σχήμα 1.54: Εσωτερικά ασφαλισμένη συστοιχία πυκνωτών [19]

Στη συνέχεια περιγράφουμε τις σημαντικότερες, εκτός των ασφαλειών, μεθόδους προστασίας που μπορούν να εφαρμοστούν σε μια συστοιχία πυκνωτών.

- **Προστασία έναντι ασύμμετρων καταστάσεων (Unbalance protection)**

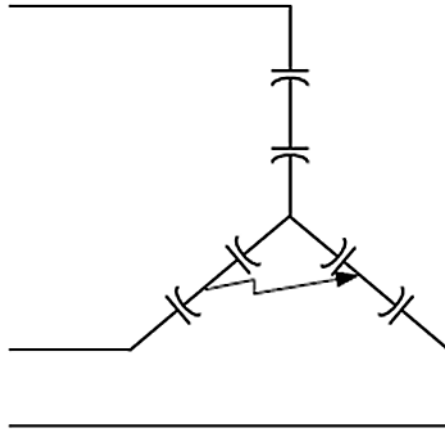
Ως ασύμμετρη κατάσταση εννοούμε την ανομοιομορφία στην κατανομή της τάσης στις ομάδες πυκνωτικών μονάδων, εντός της συστοιχίας, λόγω της τήξης κάποιας ασφάλειας ή βραχυκυκλώματος σε κάποια ομάδα. Η προστασία αυτή επιτυγχάνεται, συνήθως, με την επιτήρηση της τάσης του ουδέτερου κόμβου της συστοιχίας, από έναν ηλεκτρονόμο υπέρτασης (59N) και είναι διαφορετική για τις γειωμένες συστοιχίες απ' ότι στις αγείωτες. Ο τρόπος εφαρμογής της συγκεκριμένης προστασίας και για τις δύο περιπτώσεις φαίνεται στο σχήμα 1.55. Ένας εναλλακτικός τρόπος προστασίας της συστοιχίας πυκνωτών από ασύμμετρες καταστάσεις είναι το σχήμα διαφορικής τάσης (voltage differential scheme), όπου συγκρίνεται η τάση στο ζυγό του υποσταθμού που συνδέεται η συστοιχία με την τάση στα άκρα κάποιας ομάδας πυκνωτικών μονάδων, εντός της συστοιχίας.



**Σχήμα 1.55:** Σχήμα προστασίας έναντι ασύμμετρων καταστάσεων σε συστοιχία πυκνωτών (α) με αγείωτο ουδέτερο κόμβο, (β) με γειωμένο ουδέτερο κόμβο [19]

- **Προστασία αρνητικής ακολουθίας (Negative sequence protection)**

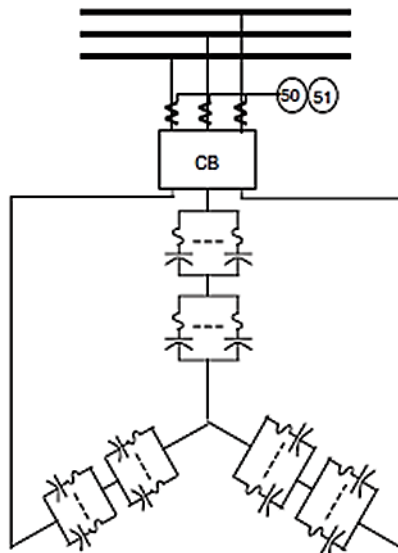
Αυτό το είδος προστασίας εφαρμόζεται για να προστατεύσουμε τη συστοιχία μας από εσωτερικά σφάλματα μεταξύ φάσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.56.



Σχήμα 1.56: Εσωτερικό σφάλμα μεταξύ φάσεων συστοιχίας (Mid-rack phase to phase fault) [19]

- **Προστασία υπερέντασης (Overcurrent protection)**

Χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι υπερέντασης χρονικής καθυστέρησης και στιγμιαίας λειτουργίας, φάσεων και ουδετέρου, στην πλευρά υψηλής τάσης, όπου και συνδέεται η συστοιχία με το ζυγό του υποσταθμού. Με το σχήμα αυτό, προστατεύουμε τη συστοιχία και τον εξοπλισμό του συστήματος από σφάλματα γης ή μεταξύ φάσεων που μπορούν να συμβούν στη συστοιχία.



Σχήμα 1.57: Προστασία υπερέντασης συστοιχίας πυκνωτών [7]

- **Προστασία υπέρτασης (overvoltage protection)**

Χρησιμοποιείται ηλεκτρονόμος υπέρτασης στην πλευρά σύνδεσης της συστοιχίας με το ζυγό του υποσταθμού, για την προστασία της συστοιχίας έναντι υπερτάσεων που μπορεί να συμβούν στο σύστημα, υπό ασυνήθιστες συνθήκες λειτουργίας. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, οι συστοιχίες επιτρέπεται να λειτουργούν το πολύ υπό τάση 110% της ονομαστικής. Για τάσεις συστήματος άνω του ορίου αυτού, οι συστοιχίες πρέπει να αποσυνδέονται.

- **Προστασία έναντι απώλειας της τάσης στο ζυγό ΜΤ (Loss of bus voltage protection)**

Η εφαρμογή αυτού του είδους προστασίας έχει ως αποτέλεσμα την αποσύνδεση της συστοιχίας από το ζυγό, σε περίπτωση που ο ζυγός χάσει το δυναμικό του. Η επίτευξη της μεθόδου αυτής γίνεται μέσω ηλεκτρονόμου υπότασης, που συνδέεται στην πλευρά σύνδεσης της συστοιχίας και είναι απαραίτητη για την αποφυγή των δυσάρεστων συνεπειών στη συστοιχία από

ανεπιθύμητα μεταβατικά φαινόμενα, αν επαναφερθεί η τάση στο ζυγό, μετά από κάποιους κύκλους, λόγω πιθανής ενεργοποίησης επαναληπτικών Δ.Ι.

## 1.4 Προστασία έναντι υπερτάσεων (*Overvoltage protection*)

Στην ενότητα αυτή παραθέτουμε, με συνοπτικό και περιεκτικό τρόπο, ορισμένα βασικά στοιχεία, όσον αφορά τα είδη των υπερτάσεων που παρατηρούνται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την προστασία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, δίνοντας έμφαση στα συστήματα μεταφοράς.

Κυρίαρχο ρόλο στην κατάλληλη επιλογή και προστασία του εξοπλισμού ενός Σ.Η.Ε. από υπερτάσεις διαδραματίζει η στάθμη μόνωσής του (*insulation level*), η οποία σχετίζεται άμεσα με τις διηλεκτρικές καταπονήσεις που υφίσταται ο εξοπλισμός.

Οι διηλεκτρικές καταπονήσεις χωρίζονται σε αυτές που οφείλονται στην κανονική τάση λειτουργίας, οι οποίες είναι συνεχώς παρούσες αλλά δεν είναι πολύ ισχυρές και προκαλούν βαθμιαία γήρανση των μονώσεων του εξοπλισμού και σε αυτές που οφείλονται στις πάσης φύσης υπερτάσεις, οι οποίες είναι ισχυρές αλλά σπάνια εμφανιζόμενες.

### 1.4.1 Είδη υπερτάσεων

Οι υπερτάσεις που μπορούν να παρατηρηθούν σε ένα Σ.Η.Ε. χωρίζονται σε δύο θεμελιώδεις κατηγορίες.

- Τις **εσωτερικές υπερτάσεις**, οι οποίες εξαρτώνται από τη δομή και τα ιδιαίτερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δικτύου από το οποίο παράγονται. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι παροδικές υπερτάσεις βιομηχανικής συχνότητας, λόγω π.χ. απόρριψης φορτίου, φαινομένου Ferranti, βραχυκυκλώματος προς γη ή και συνδυασμού τους. Επίσης ανήκουν οι υπερτάσεις χειρισμών, κατά το άνοιγμα ή το κλείσιμο ενός διακοπτικού μέσου, με σημαντικότερες αυτές που εμφανίζονται κατά τη διακοπή χωρητικού ρεύματος (π.χ. πυκνωτές, γραμμή μεταφοράς κτλ.), μικρών επαγωγικών ρευμάτων (π.χ. μετασχηματιστής εν κενώ), ισχυρών ρευμάτων βραχυκύκλωσης ή κατά την ενεργοποίηση μιας γραμμής μεταφοράς με ανοικτό πέρας.
- Τις **εξωτερικές υπερτάσεις**, οι οποίες προέρχονται από ατμοσφαιρικά αίτια, το κύμα των οποίων μπορεί να διαδοθεί μέσω των γραμμών μεταφοράς και στο γειτονικό εξοπλισμό ενός Σ.Η.Ε., προκαλώντας σοβαρότατες ζημιές. Για το λόγο αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη προστασίας των συνιστωσών ενός Σ.Η.Ε. από τέτοιου είδους υπερτάσεις.

Σημειώνουμε ότι η εξωτερική μόνωση εξοπλισμού ονομαστικής τάσης κάτω των 345 kV εκλέγεται κυρίως βάσει των ατμοσφαιρικών υπερτάσεων (εξωτερικών υπερτάσεων), ενώ για εξοπλισμό ονομαστικής τάσης άνω των 345 kV, κυρίως, βάσει των υπερτάσεων χειρισμών (εσωτερικών υπερτάσεων).

### 1.4.2 Μέσα προστασίας έναντι υπερτάσεων

Στην υποενότητα αυτή αναφέρουμε τα σημαντικότερα προστατευτικά μέσα του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ενός Σ.Η.Ε. έναντι εξωτερικών υπερτάσεων και βασικές πληροφορίες όσον αφορά τη λειτουργία και τη χρησιμότητά τους. Για υπερτάσεις βιομηχανικής συχνότητας χρησιμοποιούνται τα στοιχεία υπέρτασης των σύγχρονων ψηφιακών ηλεκτρονόμων, στα οποία έχουμε αναφερθεί εκτενώς στην ενότητα 1.3.

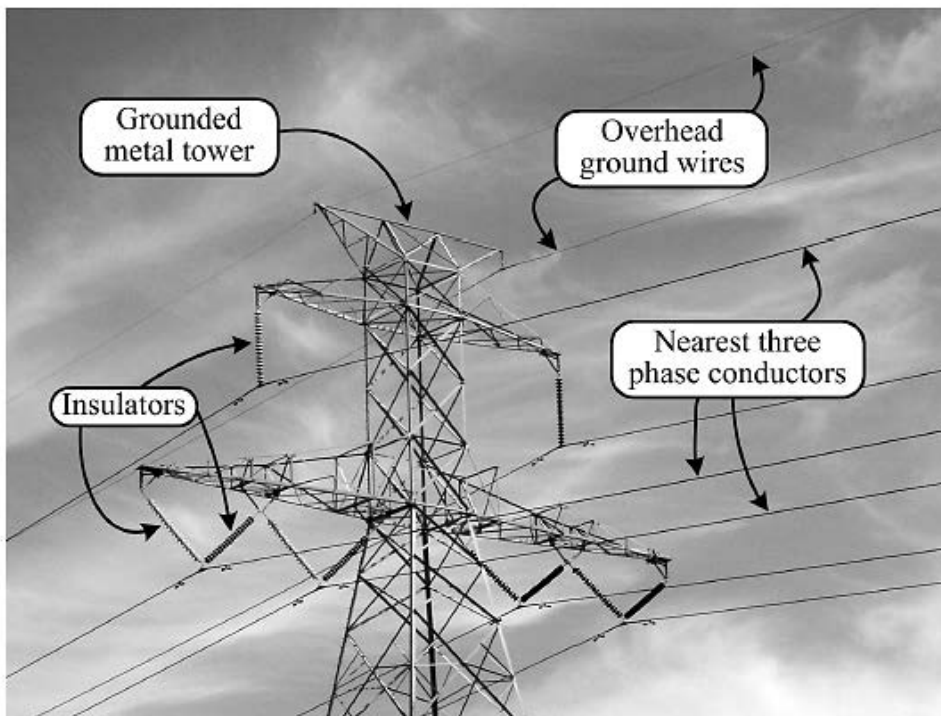
1.4.2.1 Αγωγοί προστασίας (γης) σε εναέριες γραμμές μεταφοράς ΥΤ και ΥΥΤ (overhead earth or ground wires)

Σε συστήματα μεταφοράς για τα οποία είναι βέβαιη η διάσπαση της μόνωσης των αγωγών φάσης, έπειτα από απευθείας πρόσπτωση κεραυνού σε αυτούς, τοποθετούνται αγωγοί προστασίας (ένας ή περισσότεροι) στο ανώτερο μέρος του πυλώνα (έτσι ώστε ο κεραυνός που μπορεί να εμφανιστεί να πλήξει σχεδόν σίγουρα τους αγωγούς προστασίας), οι οποίοι γειώνονται (αγωγοί γης), ούτως ώστε η διοχέτευση του κεραυνικού φορτίου να γίνεται μέσω αυτών και των μεταλλικών πυλώνων των γραμμών μεταφοράς.

Σε περίπτωση απευθείας πλήξης αγωγού προστασίας ή πυλώνα από κεραυνό, η ροή του ρεύματος προς τη γη μέσω του μεταλλικού σώματος του πυλώνα προκαλεί ανύψωση δυναμικού στα ανώτερα μεταλλικά μέρη και κατά συνέπεια και κατά μήκος των αλυσοειδών μονωτήρων. Αν η τιμή αυτή της τάσης υπερβεί την αντοχή της μόνωσής τους, τότε έχουμε το φαινόμενο της ανάστροφης διάσπασης (back flashover).

Σημαντικός παράγοντας για την αποφυγή ανάστροφων διασπάσεων είναι η καλή γείωση των πυλώνων (tower footing impedance). Επίσης, η γεωμετρική δομή του πυλώνα, το άνοιγμα μεταξύ των πυλώνων και το πλήθος των δισκοειδών μονωτήρων της αλύσου επηρεάζουν την εκδήλωση της ανάστροφης διάσπασης. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι με αντίσταση γείωσης 15 Ω η ανάστροφη διάσπαση στους αλυσοειδείς μονωτήρες γραμμής μεταφοράς 150 kV είναι πιθανή, ενώ για γραμμή μεταφοράς 750 kV η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου τείνει στο μηδέν.

Εν τέλει, συμπεραίνουμε ότι στα συστήματα μεταφοράς ΥΤ, ΥΥΤ επιβάλλεται η εγκατάσταση αγωγών προστασίας σε συνδυασμό με την καλή γείωση των πυλώνων, σε αντίθεση με τα συστήματα υπομεταφοράς και διανομής, όπου οι αγωγοί προστασίας δεν είναι απαραίτητοι.



Εικόνα 1.12: Αγωγοί προστασίας σε πυλώνα γραμμής μεταφοράς [17]

1.4.2.2 Αλεξικέραυνα (surge or lightning arresters)

Τα αλεξικέραυνα έχουν ευρεία χρήση στα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Συχνά αναφέρονται και ως καθοδικά αλεξικέραυνα. Στη συνέχεια, περιγράφουμε συνοπτικά τον τρόπο λειτουργίας τους, καθώς και τα διάφορα είδη αλεξικέραυνων που έχουν χρησιμοποιηθεί στο πέρασμα του χρόνου.



*Εικόνα 1.13: Γραμμή μεταφοράς εφοδιασμένη με αλεξικέραυνα*

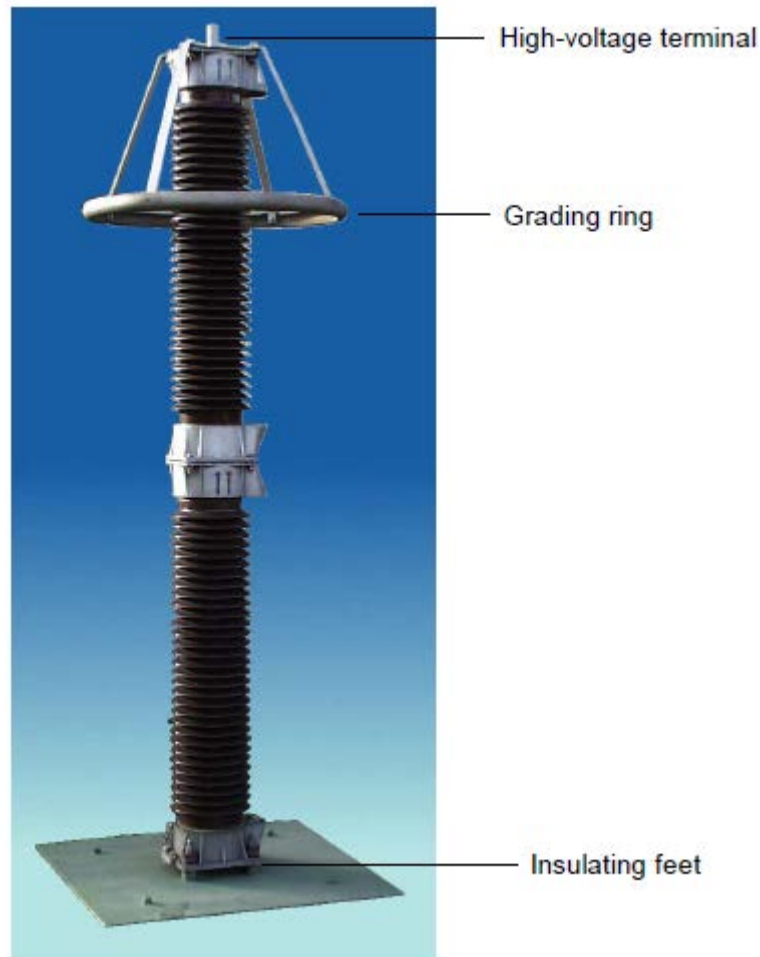
#### Αρχές λειτουργίας

Ένα αλεξικέραυνο είναι σχεδιασμένο

- να μην άγει υπό κανονική τάση λειτουργίας,
- να αρχίσει να άγει μόλις παρουσιασθεί υπέρταση μεγαλύτερη του καθορισμένου ορίου,
- να διακόπτει ακαριαία τη λειτουργία του μόλις παρέλθει η υπέρταση.

Στην ουσία, όλα τα αλεξικέραυνα παρουσιάζουν μια πολύ μεγάλη αντίσταση, της τάξης των  $M\Omega$ , υπό κανονική τάση λειτουργίας, η οποία μειώνεται σε μόλις μερικά  $\Omega$ , σε περίπτωση υπέρτασης.

Ο ακροδέκτης ΥΤ ή ΜΤ συνδέεται στον αγωγό της φάσης που προστατεύει, ενώ ο ακροδέκτης γης, μέσω αγωγού στη γη.



**Εικόνα 1.14:** Αλεξικέραυνο δύο μονάδων με τοροειδές

### Είδη αλεξικέραυνων

Στο πέρασμα του χρόνου, διάφορες τεχνολογίες χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία κατάλληλων αλεξικέραυνων για προστασία ηλεκτρολογικού εξοπλισμού Σ.Η.Ε.. Παλαιότερα, τα αλεξικέραυνα με διάκενα και γραμμική αντίσταση σε σειρά ήταν ευρέως διαδεδομένα, ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά τα αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα. Επιπρόσθετα, στα δίκτυα διανομής χρησιμοποιούνται αλεξικέραυνα τύπου εκτόνωσης (expulsion type), στα οποία η σβέση του τόξου γινόταν εντός θαλάμου με τη βοήθεια εκτονούμενου αερίου, τα οποία πλέον δε βρίσκουν εφαρμογή.

### ***Αλεξικέραυνα με διάκενα (Nonlinear resistor type with gaps)***

Τα αλεξικέραυνα αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από έναν πολλαπλό σπινθηριστή (πολλά διάκενα σε σειρά) σε σειρά με μια μη γραμμική αντίσταση, εντός κατάλληλου μονωτικού περιβλήματος (συνήθως πορσελάνη). Τα διάκενα του σπινθηριστή πρέπει να έχουν όσο το δυνατόν πιο ομοιογενές πεδίο, προκειμένου η τάση διάσπασής τους να είναι ανεξάρτητη από την κλίση του μετώπου της κρουστικής τάσης. Για αυτό το λόγο, κάθε διάκενο αποτελείται από δίσκους, μεγάλης σχετικά επιφάνειας, σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Η μη γραμμική αντίσταση στα αλεξικέραυνα με διάκενα είναι συνήθως από ανθρακοπυρίτιο (SiC) ή οξειδίο του ψευδαργύρου (ZnO) και η τιμή της πέφτει σημαντικά όταν διαρρέεται από υψηλό ρεύμα ατμοσφαιρικής εκκένωσης, με αποτέλεσμα να μη δημιουργείται τάση επικίνδυνη για τον εξοπλισμό.

Επιπλέον, τα διάκενα των αλεξικέραυνων χωρίζονται σε παθητικά και σε ενεργά διάκενα. Μία διάταξη με παθητικά διάκενα αποτελείται από ηλεκτρόδια χωρισμένα με τεμάχια στεατίτου και με μη γραμμικές αντιστάσεις κατανομής μεταξύ διαδοχικών ηλεκτροδίων. Στα διάκενα αυτά

υπάρχει και μια διάταξη προϊόντισμού ούτως ώστε να επιτυγχάνεται συγκεκριμένη στάθμη τάσης διάσπασης και χαμηλή στάθμη προστασίας. Οι αντιστάσεις κατανομής (grading resistors) χρησιμεύουν στην ομοιόμορφη κατανομή της τάσης κατά μήκος των διακένων, κατά την εκδήλωση βραδέως μεταβαλλόμενων υπερτάσεων (π.χ. τάση διάσπασης βιομηχανικής συχνότητας ή χειρισμών). Για ταχέως μεταβαλλόμενες υπερτάσεις, την ομοιόμορφη κατανομή εξασφαλίζουν πυκνωτές κατανομής (grading capacitors), παράλληλοι προς τις αντιστάσεις κατανομής και τα διάκενα.

Από την άλλη πλευρά, μια διάταξη με ενεργά διάκενα αποτελείται από ηλεκτρόδια στερεωμένα πάνω σε μονωτικούς δίσκους, οι οποίοι φέρουν αντίσταση κατά την εκδήλωση του τόξου. Σε σειρά με τα ηλεκτρόδια αυτά και τους δίσκους υπάρχει ένα πηνίο το οποίο δημιουργεί ισχυρό μαγνητικό πεδίο με τη βοήθεια του οποίου το τόξο μετακινείται προς στενό θάλαμο σβέσης, όπου και επιμηκύνεται 50 – 100 φορές. Η επιμήκυνση αυτή του τόξου έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη πτώση τάσης κατά μήκος των διακένων και κατά συνέπεια καλύτερη εκκαθάριση του σφάλματος.

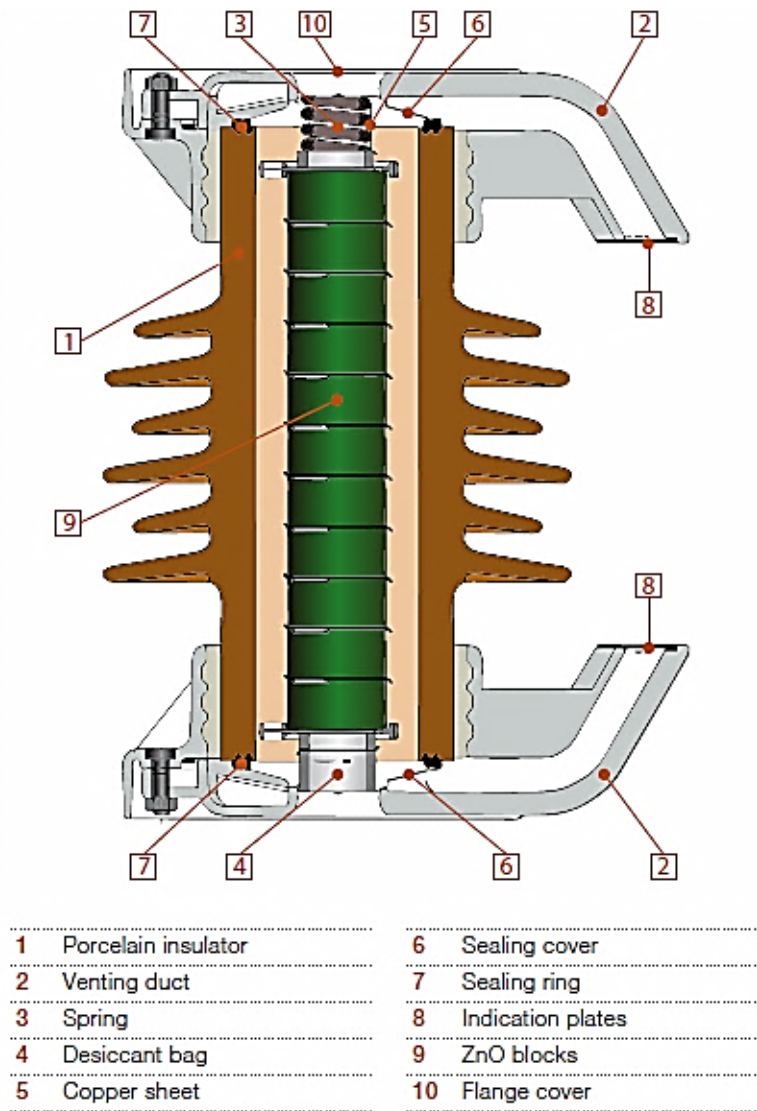
### ***Αλεξικέρανα χωρίς διάκενα (Gapless metal-oxide type)***

Το αλεξικέρανο του συγκεκριμένου είδους έχουν επικρατήσει τα τελευταία χρόνια, όσον αφορά συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούνται από μη γραμμικές αντιστάσεις από μεταλλικά οξειδία (metal oxide varistors), οι οποίες κατά 90% συνίστανται από οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO) και 10% από προσμίξεις άλλων οξειδίων, όπως Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Cr<sub>3</sub>O<sub>3</sub> και Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (βισμούθιου, μαγγανίου, χρωμίου και αντιμονίου αντίστοιχα).

Σε τάση κανονικής λειτουργίας το αλεξικέρανο διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα (κάτω του 1mA) και συμπεριφέρεται ως μονωτής. Σε περίπτωση υπέρτασης, το αλεξικέρανο συμπεριφέρεται ως αγωγός, διοχετεύοντας το ρεύμα προς της γη, ενώ η παραμένουσα τάση στα άκρα του είναι αρκετά χαμηλή, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο ο υπό προστασία εξοπλισμός.

Στην εικόνα 1.15 φαίνεται η τομή ενός αλεξικέρανου, βασικά στοιχεία του οποίου είναι η μη γραμμική αντίσταση (βαρίστορ) από μεταλλικά οξειδία, το μονωτικό περίβλημα από πολυμερές υλικό, ένα ενδιάμεσο υαλώδες υλικό και τα ηλεκτρόδια σύνδεσης με την υψηλή τάση και τη γη. Εξαιτίας παράσιτων χωρητικοτήτων η κατανομή της τάσης κατά μήκος της μη γραμμικής αντίστασης δεν είναι ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα το τμήμα που είναι εγγύτερα στο ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης να καταπονείται περισσότερο. Για την επίτευξη πιο ομοιόμορφης κατανομής τοποθετούνται τοροειδή (rings), όπως φαίνεται στην εικόνα 1.14.





**Εικόνα 1.15:** Τομή αλεξικέραννου χωρίς διάκενα [18]

#### 1.4.2.3 Διάκενα (spark gaps)



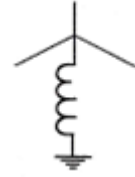
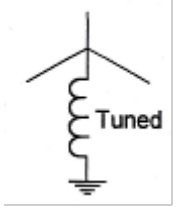
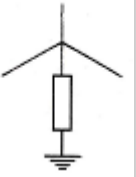
Τα διάκενα αέρος (ή αλλιώς σπινθηριστές) αποτελούνται από δύο ραβδοειδή ηλεκτρόδια (rod gaps), η απόσταση των οποίων ρυθμίζεται, ούτως ώστε να μην προκαλείται διάσπαση όταν εφαρμόζεται η κανονική τάση του συστήματος ή εμφανίζονται εσωτερικές υπερτάσεις (παροδικές βιομηχανικής συχνότητας ή χειρισμών) και αντίθετα, να συμβαίνει διάσπαση σε περίπτωση ατμοσφαιρικής προέλευσης υπέρτασης, με σκοπό την προστασία του εξοπλισμού.

Η αντοχή ενός σπινθηριστή εξαρτάται από την απόσταση των ηλεκτροδίων, τη μορφή τους, το είδος της επιβαλλόμενης τάσης καθώς και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Τέλος, τα διάκενα αέρος χρησιμοποιούνται, λόγω της απλότητας και του μικρού κόστους τους, σε δίκτυα διανομής, όπου η προστασία έναντι υπερτάσεων δεν είναι βαρύνουσας σημασίας. Επίσης, χρησιμοποιούνται σαν εφεδρική προστασία σε εγκαταστάσεις που προστατεύονται από αλεξικέρανα.

### 1.5 Μέθοδοι γείωσης Σ.Η.Ε. (System grounding)

Όπως αναφέραμε σε πολλά σημεία του κεφαλαίου, η μέθοδος με την οποία γειώνονται οι συνιστώσες ενός Σ.Η.Ε. επηρεάζει την επιλογή, τον τρόπο ρύθμισης και τη λειτουργία πολλών μέσων προστασίας. Στον πίνακα 1.3 της επόμενης σελίδας, έχουμε συγκεντρώσει όλους τους δυνατούς τρόπους γείωσης, παραθέτοντας τα κριτήρια επιλογής, καθώς και επιπλέον χρήσιμες πληροφορίες για την κάθε περίπτωση.

	Αγείωτο (Ungrounded)	Απευθείας γειωμένο (Solid or direct grounding)	Γειωμένο με επαγωγική αντίδραση (Reactance grounding)		Γειωμένο με πηνίο Pettersen (Resonant or Pettersen coil grounding)	Γειωμένο με αντίσταση (Resistance grounding)		
								
			Χαμηλή τιμή αντίδρασης	Υψηλή τιμή αντίδρασης		Μικρή αντίσταση	Μεγάλη αντίσταση	
$\frac{I_{f,1\phi}}{I_{f,3\phi}}$ (%)	$\leq 1\%$	ποικίλει από 0% ως 100%, μπορεί και μεγαλύτερο	25% - 100%	5% - 25%	σχεδόν μηδενικό ρεύμα σφάλματος	$\leq 20\%$	$\leq 1\%$	
<b>Μεταβατικές υπερτάσεις</b>	Πολύ υψηλές	Όχι υπερβολικές	Όχι υπερβολικές	Αρκετά υψηλές	Όχι υπερβολικές	Όχι υπερβολικές	Όχι υπερβολικές	
<b>Σχόλια</b>	Δε συνιστάται, λόγω των υψηλών μεταβατικών υπερτάσεων και έλλειψης διάκρισης των σφαλμάτων	Συνήθως επιλέγεται σε: 1) συστήματα με τάση $\leq 600$ V 2) συστήματα με τάση $\geq 15$ kV	Δε χρησιμοποιείται λόγω των υψηλών μεταβατικών υπερτάσεων	Δε χρησιμοποιείται λόγω των υψηλών μεταβατικών υπερτάσεων	Ευρεία εφαρμογή σε βιομηχανικά και εμπορικά συστήματα μέσης τάσης, τα οποία έχουν γαλβανική απομόνωση από το δίκτυο (μέσω μετασχηματιστών)	Χρησιμοποιείται γενικά σε συστήματα με τάση 2,4 kV – 15 kV	Χρησιμοποιείται σε συστήματα τάσης $\leq 600$ V, όπου επιθυμείται αδιάλειπτη παροχή ισχύος	

Πίνακας 1.3: Τρόποι γείωσης των Σ.Η.Ε.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

---

Στο τρέχον κεφάλαιο περιγράφουμε εκτενώς το εργαστηριακό σύστημα (πίνακας) προστασίας μονάδας παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τα επιμέρους στοιχεία που διαθέτει, παρέχοντας στον αναγνώστη μια ολοκληρωμένη άποψη, όσον αφορά τη λειτουργία και τον τρόπο χρήσης του.

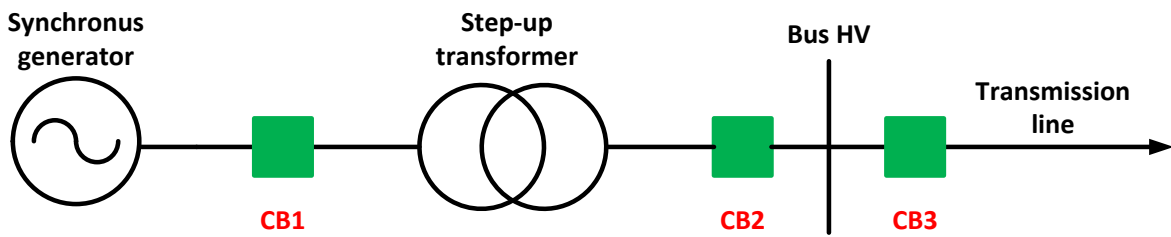
#### ***2.1 Εισαγωγή – Γενική παρουσίαση και περιγραφή του συστήματος***

Η πρόσθια όψη του συστήματός μας παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1. Παρατηρώντας τον πίνακα από πάνω προς τα κάτω, διακρίνουμε τον ενσωματωμένο υπολογιστή SEL-3354, τον επιπρόσθετο υπολογιστή (PC) με οθόνη αφής, τη συρόμενη θήκη για περιφερειακές συσκευές (πληκτρολόγιο, ποντίκι, netbook) που είναι απαραίτητες για το χειρισμό των εφαρμογών που διαθέτουν οι υπολογιστές του συστήματος, τα κομβία χειρισμών των διακοπών ισχύος, τους ψηφιακούς ηλεκτρονόμους προστασίας και επιτήρησης SEL-311B, SEL-587, SEL-300G και τους ακροδέκτες εισόδου και εξόδου των ηλεκτρονόμων.



*Εικόνα 2.1: Πρόσθια όψη εργαστηριακού συστήματος προστασίας*

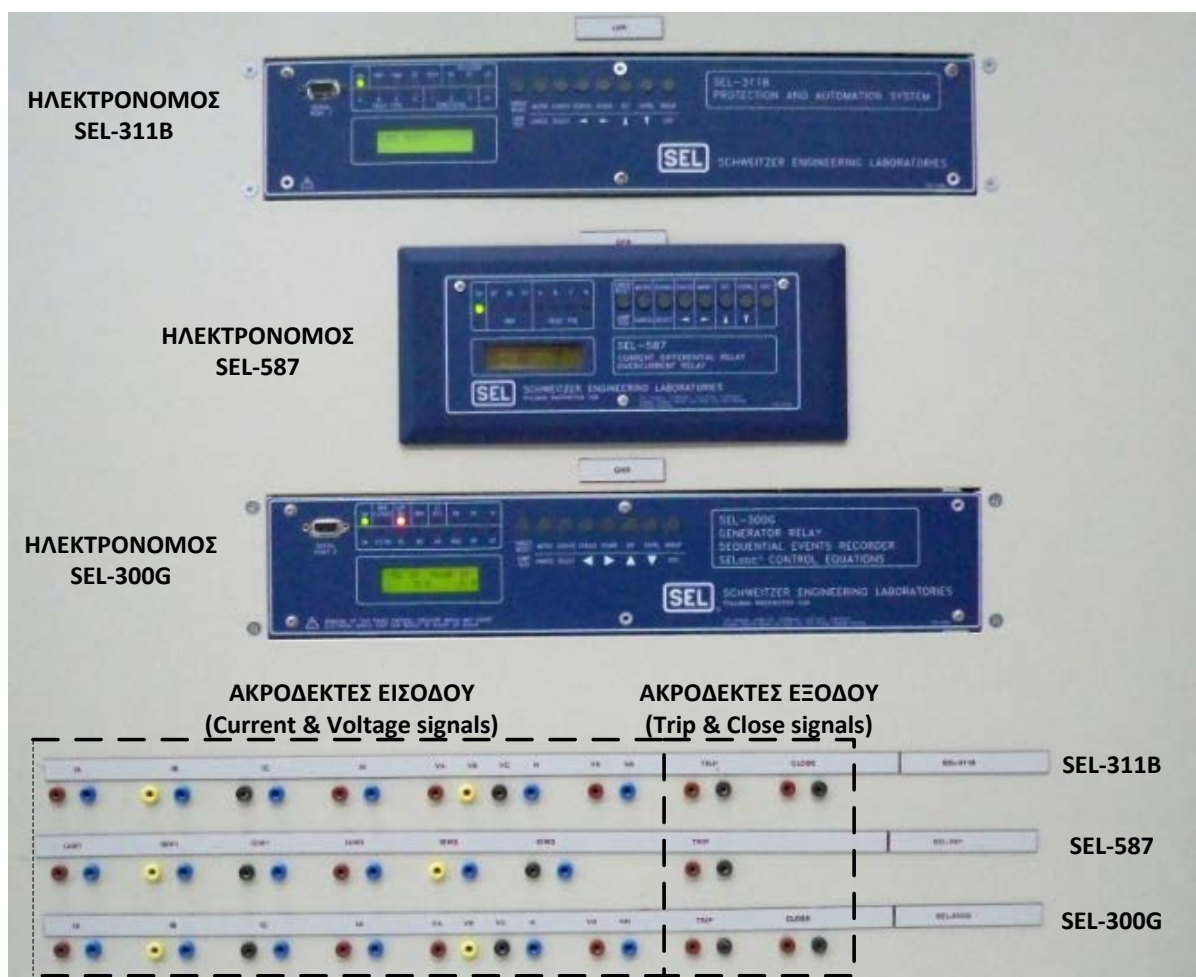
Η μονάδα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που προστατεύει και επιτηρεί το συγκεκριμένο σύστημα φαίνεται στο σχήμα 2.1. Αποτελείται από μία γεννήτρια, η οποία επιτηρείται από τον ηλεκτρονόμο SEL-300G, ένα μετασχηματιστή ανύψωσης (step-up), ο οποίος προστατεύεται από τον ηλεκτρονόμο SEL-587, το ζυγό υψηλής τάσης, καθώς και από μία γραμμή μεταφοράς που αναχωρεί και επιτηρείται από τον ηλεκτρονόμο SEL-311B.



*Σχήμα 2.1: Μονάδα παραγωγής – μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας*

Η γενική αρχή λειτουργίας του εργαστηριακού συστήματος προστασίας είναι η εξής: οι τρεις ηλεκτρονόμοι στέλνουν τα δεδομένα του εξοπλισμού που επιτηρούν στον ενσωματωμένο υπολογιστή SEL-3354 του συστήματος, ο οποίος με τη σειρά του τα μεταβιβάζει στη μονάδα PC του συστήματος, όπου και είναι εγκατεστημένο το SCADA της μονάδας παραγωγής (πρόγραμμα zenon), με στόχο την απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης όλων των συνιστωσών της (τάσεις και ρεύματα γεννήτριας, μετασχηματιστή και γραμμής μεταφοράς, καταστάσεις  $\Delta/I$ , ενδεικτικές λυχνίες πρόσθιας όψης ηλεκτρονόμων κτλ.). Στη συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφουμε διεξοδικά τον τρόπο λειτουργίας και επικοινωνίας των εν λόγω ηλεκτρονόμων και υπολογιστών.

Όσον αφορά τους ηλεκτρονόμους του εργαστηριακού συστήματος, δέχονται ως μεγέθη εισόδου τους μέσω των ακροδεκτών του πίνακα, τις τάσεις και τα ρεύματα που ρέουν στον εξοπλισμό που προστατεύουν, υποβιβασμένα σε τιμές δευτερεύοντος, λόγω των μετασχηματιστών έντασης και τάσης που προηγούνται. Επίσης, παράγουν σήματα εξόδου (π.χ. για κλείσιμο ή άνοιγμα διακόπτη ισχύος), τα οποία μπορούν να οδηγηθούν στα κατάλληλα σημεία (όπως διακόπτες ισχύος, άλλοι ηλεκτρονόμοι κτλ.), μέσω των αντίστοιχων ακροδεκτών εξόδου του πίνακα. Όλα όσα περιγράψαμε στη συγκεκριμένη παράγραφο φαίνονται στην εικόνα 2.2.



*Εικόνα 2.2: Ηλεκτρονόμοι προστασίας με τους ακροδέκτες εισόδου – εξόδου τους*

Οι διακόπτες ισχύος CB1, CB2, CB3, της μονάδας παραγωγής, ελέγχονται μέσω των ηλεκτρονόμων προστασίας του συστήματος, αλλά έχουμε τη δυνατότητα να τους χειριστούμε και μέσω των κομβίων που υπάρχουν στην πρόσθια όψη του πίνακα. Η κατάσταση των διακοπών φαίνεται και από τις ενδεικτικές λυχνίες, που βρίσκονται πάνω από τα κομβία (κόκκινο = κλειστός, πράσινο = ανοιχτός). Επίσης, υπάρχουν και τέσσερα επιπλέον κομβία, μέσω των οποίων προσομοιώνουμε τις εντολές για σήμανση κινδύνου (alarm) ή απομόνωση του μετασχηματιστή (trip), που μπορούν να δώσουν το θερμικό στοιχείο και ο ηλεκτρονόμος Buchholz του μετασχηματιστή μας. Επιπλέον, μέσω του μεταγωγέα S1, μας δίνεται η επιλογή για χειρισμό των διακοπών ισχύος, μέσω των κομβίων του πίνακα (επιλογή Local) ή μέσω του SCADA της μονάδας, δηλαδή από απομακρυσμένο σημείο (επιλογή Remote), ανάλογα τη δικαιοδοσία του εκάστοτε χρήστη (βλ. ενότητα 2.3.2.4).



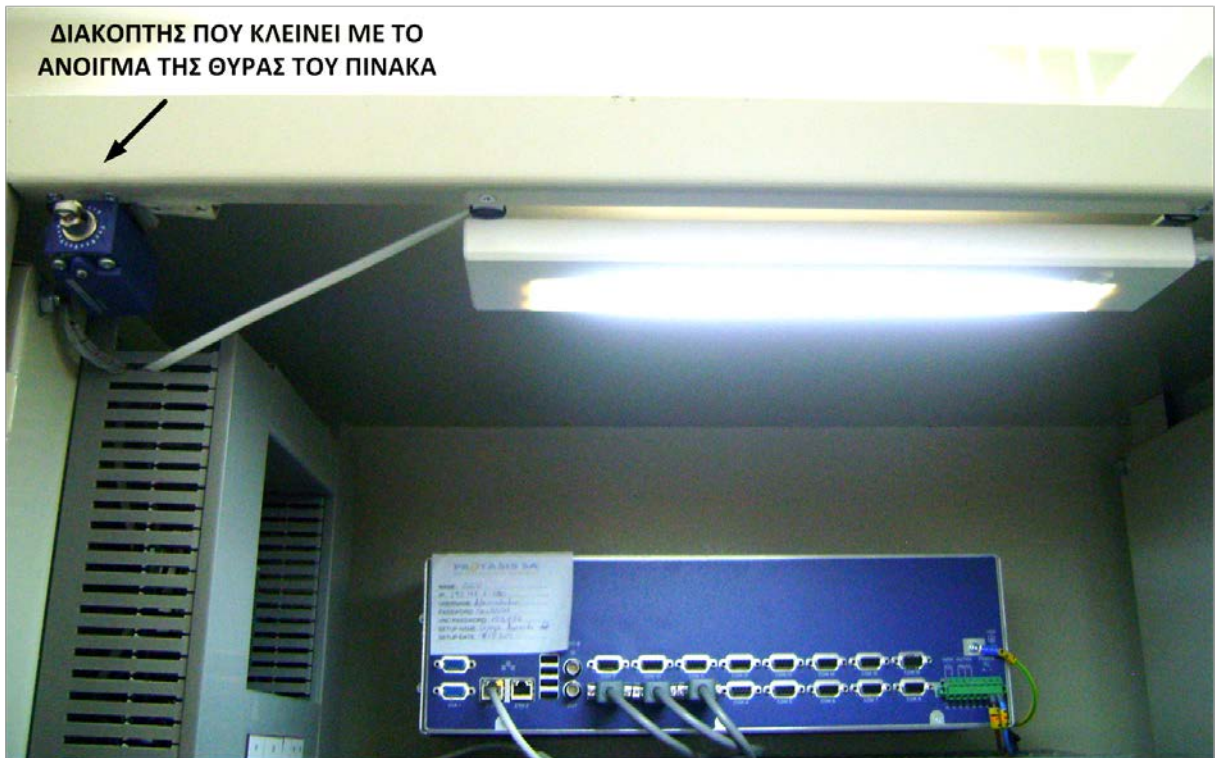


*Εικόνα 2.4: Οπίσθια όψη εργαστηριακού συστήματος προστασίας*

Παρατηρώντας το εσωτερικό του πίνακα από πάνω προς τα κάτω, διακρίνουμε τα εξής επιπρόσθετα στοιχεία:

- φωτιστικό θαλάμου (εικόνα 2.5), για το φωτισμό του εσωτερικού χώρου, όταν απαιτείται πρόσβαση σε αυτόν,





Εικόνα 2.5: Φωτιστικό θαλάμου πίνακα

- γενικός διπολικός μικροαυτόματος διακόπτης (F1), για την τροφοδοσία και την προστασία του πίνακα, πρίζα (Q1), σε περίπτωση ανάγκης για επιπλέον τροφοδοσία, και μονοπολικό μικροαυτόματο διακόπτες (F2, F3) για ενεργοποίηση και προστασία της DC πλευράς των ανορθωτών (εικόνα 2.6),



Εικόνα 2.6: Γενικός διπολικός μικροαυτόματος διακόπτης πίνακα και μονοπολικό μικροαυτόματο διακόπτες στην πλευρά DC των ανορθωτών

- διπολικοί αποζεύκτες για την τροφοδοσία των συσκευών του συστήματος (E1, E2, E3, E4, E5) και ασφαλειοθήκες με τις ασφάλειές τους για την τροφοδοσία και την προστασία της AC πλευράς των ανορθωτών (εικόνα 2.7),



*Εικόνα 2.7: Διπολική αποξέυκτη ηλεκτρονόμων και υπολογιστών πίνακα και ασφάλειες στην πλευρά AC των ανορθωτών*

- ηλεκτρονόμοι K1, K2 (εικόνα 2.8). Ο K1 μεταφέρει πληροφορία για τη θέση του μεταγωγέα S1 (Local/Remote) στις συσκευές που απαιτείται, ενώ ο K2 στέλνει εντολή για απομόνωση του μετασχηματιστή, όταν αυτό απαιτηθεί (σήμα από τα κομβία Buchholz ή Temp Trip),



*Εικόνα 2.8: Ηλεκτρονόμοι K1, K2*

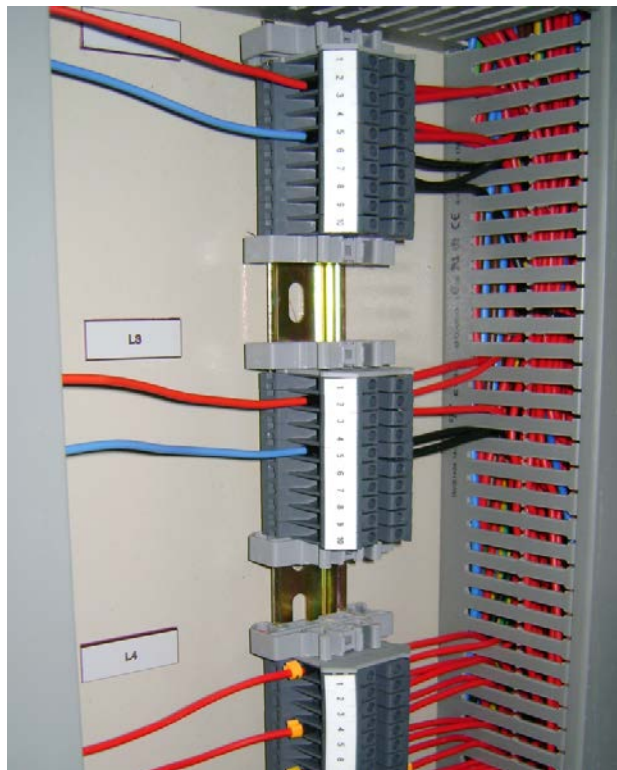
- ηλεκτρονόμοι BK1, BK2, BK3 (εικόνα 2.9), οι οποίοι ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται, ανάλογα την κατάσταση των διακοπών ισχύος CB1, CB2, CB3 και

τους χειρισμούς που γίνονται είτε από τα αντίστοιχα κομβία (Local) είτε από το SCADA του συστήματος (Remote),



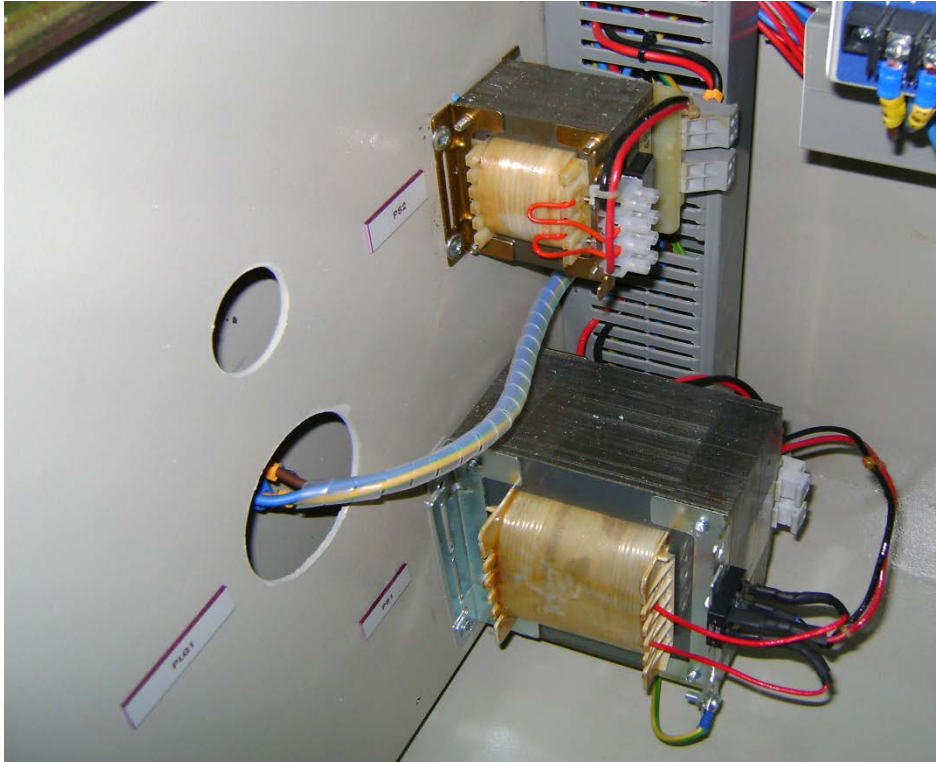
*Σχήμα 2.9: Ηλεκτρονόμοι BK1, BK2, BK3*

- κλεμοσειρές για τις συνδέσεις των συσκευών του συστήματος L1, L2, L3, L4 (εικόνα 2.10),



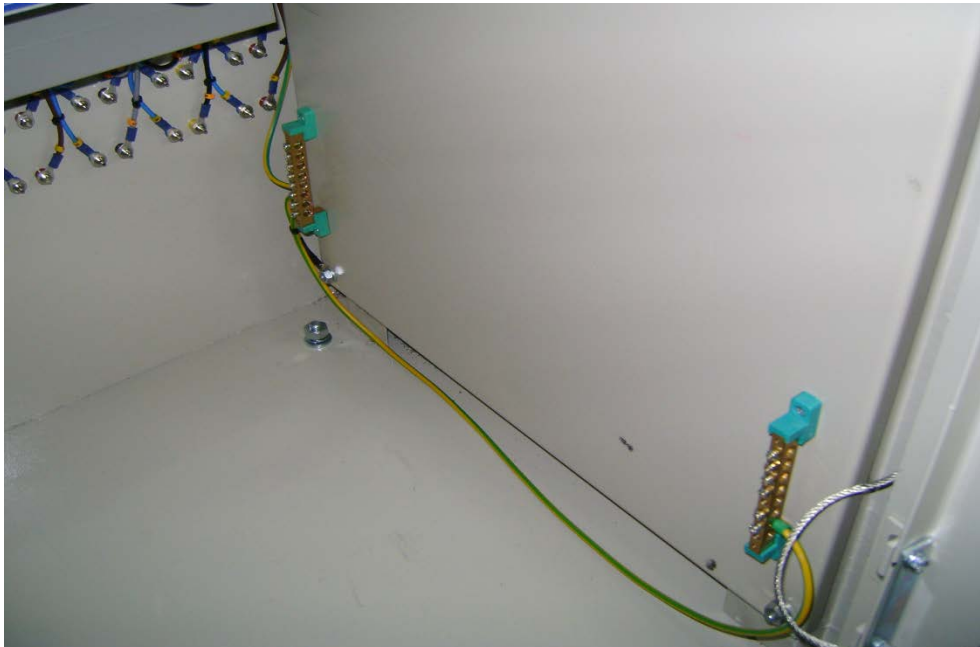
*Εικόνα 2.10: Κλεμοσειρές και καλωδιώσεις*

- καλώδιο τροφοδοσίας από το δίκτυο (PLG1), ανορθωτής 220 Vac/220 Vdc (PS1), για την τροφοδοσία των ηλεκτρονόμων SEL-587, SEL-300G και ανορθωτής 220 Vac/48 Vdc (PS2), για την τροφοδοσία του ηλεκτρονόμου SEL-311B (εικόνα 2.11),



*Εικόνα 2.11: Ανορθωτές PS1, PS2*

- μπάρες γείωσης για την προστασία των χρηστών (εικόνα 2.12).

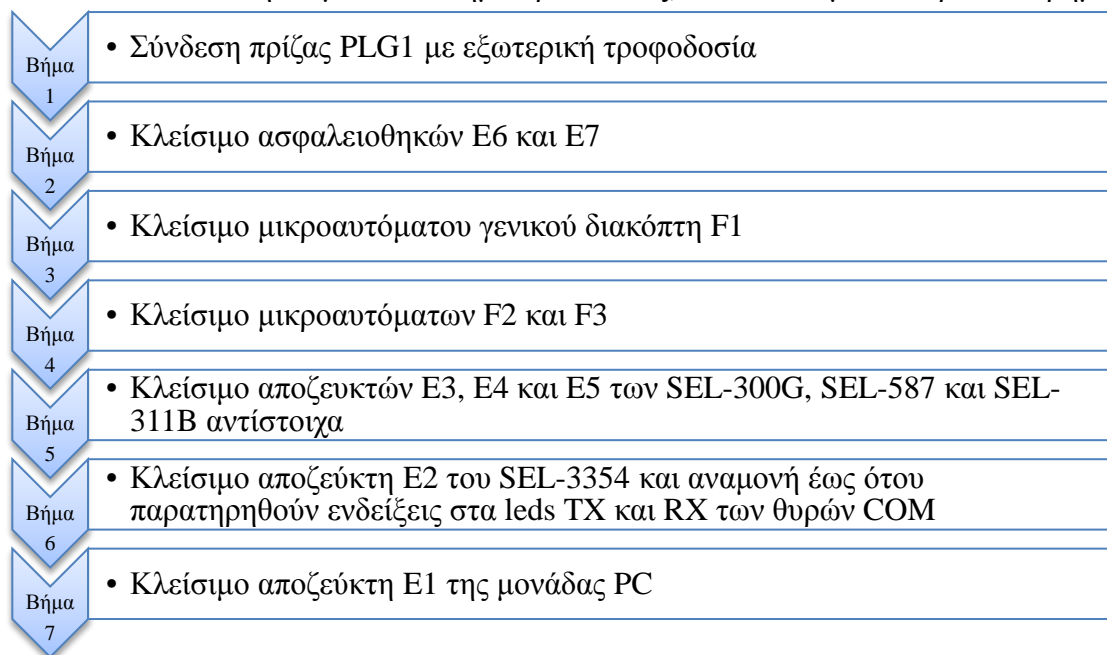


*Εικόνα 2.12: Μπάρες και καλώδια γείωσης*

## 2.2 Εκκίνηση και τερματισμός εργαστηριακού συστήματος προστασίας

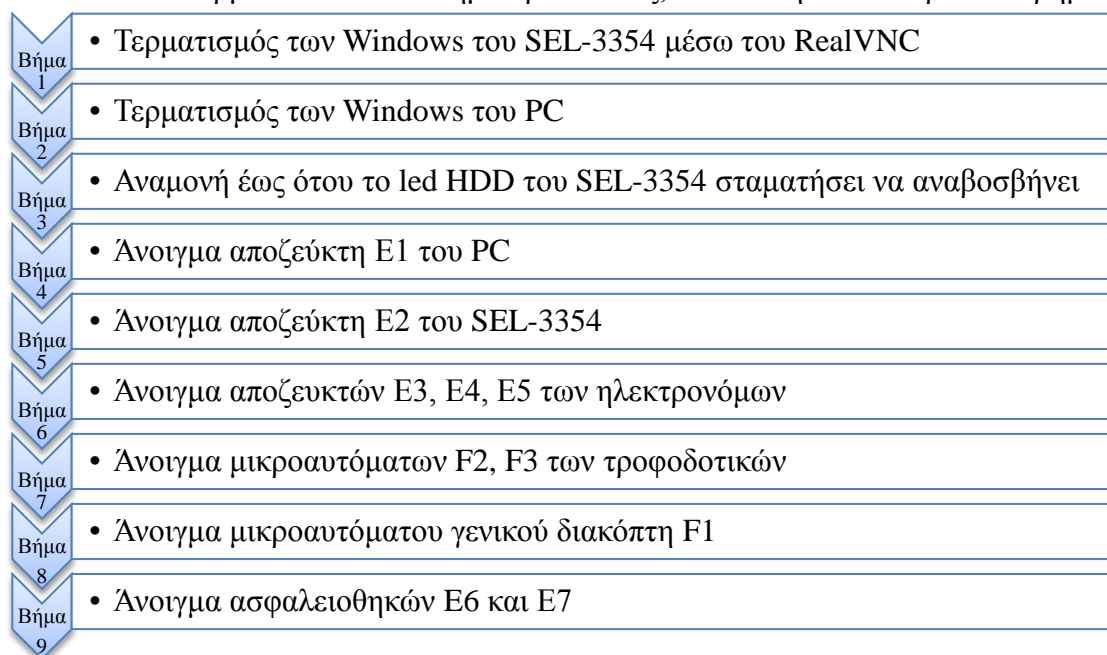
### 2.2.1 Διαδικασία εκκίνησης

Για να εκκινήσουμε το σύστημα προστασίας, ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα.



### 2.2.2 Διαδικασία τερματισμού

Για να τερματίσετε το σύστημα προστασίας, ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα.



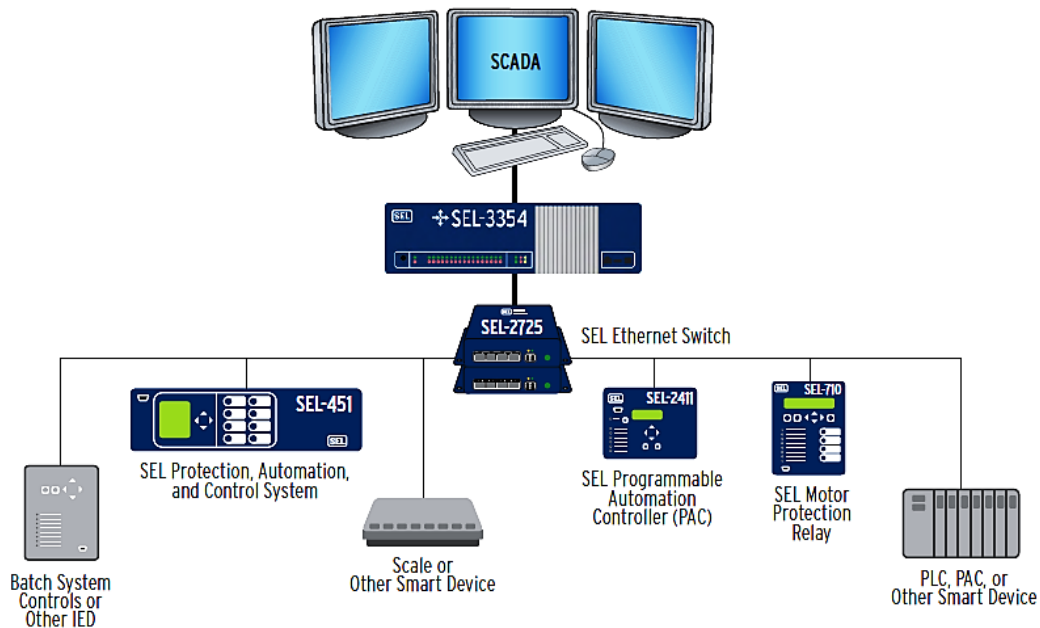
### 2.3 Περιγραφή των συσκευών που διαθέτει το εργαστηριακό σύστημα

Στην ενότητα αυτή θα αναφέρουμε αναλυτικά όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται ο αναγνώστης για να κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας και χειρισμού των πέντε βασικών συσκευών που αποτελούν το εργαστηριακό σύστημα. Η περιγραφή των συσκευών αυτών θα γίνει με τη σειρά που είναι τοποθετημένα στον πίνακα προστασίας από πάνω προς τα κάτω.

#### 2.3.1 SEL 3354: Ενσωματωμένη υπολογιστική πλατφόρμα αυτοματοποίησης

##### 2.3.1.1 Εισαγωγή

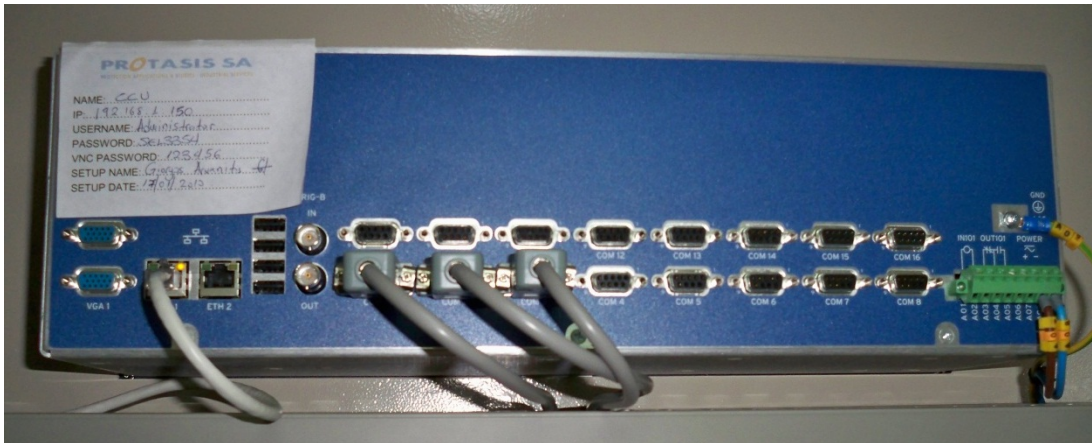
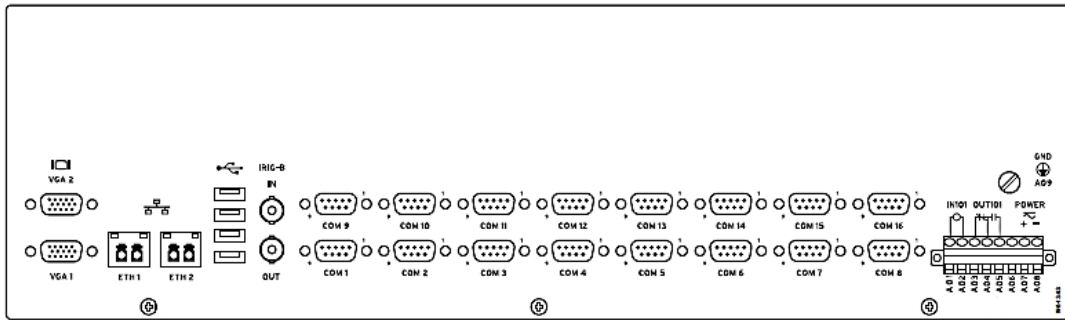
Η συσκευή SEL-3354 είναι ένας υπολογιστής ειδικά κατασκευασμένος να λειτουργεί σε επώδυνα περιβάλλοντα, όπως είναι οι υποσταθμοί και οι βιομηχανίες. Αποτελεί ένα σπουδαίο εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών σε υποσταθμούς, διότι μπορεί να παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο προς τοπικούς clients, όπως είναι οι διεπαφές ανθρώπου-μηχανής (human-machine interfaces – HMIs), οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (remote-terminal units - RTUs) και οι διεπαφές SCADA (SCADA interfaces). Επίσης, έχει τη δυνατότητα να κάνει συγχρονισμό χρόνου και προσπέλαση δεδομένων στις συνδεδεμένες έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές (Intelligent Electronic Devices – IEDs).



Σχήμα 2.2: Παράδειγμα εφαρμογής συσκευής SEL-3354 [32]

##### 2.3.1.2 Γενική περιγραφή

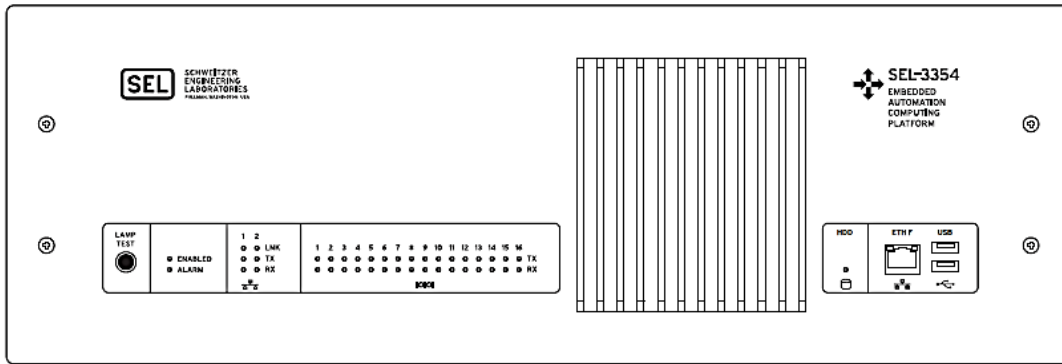
Ο SEL-3354 χρησιμοποιείται στη διάταξη του εργαστηρίου ως master που έχει για slaves τους ηλεκτρονόμους SEL-300G, SEL-311B και SEL-587.



*Εικόνα 2.13: Οπίσθια όψη SEL-3354*

Οι ηλεκτρονόμοι του συστήματος προστασίας συνδέονται και επικοινωνούν με το SEL-3354 μέσω των σειριακών θυρών (COMs) που βρίσκονται στην πίσω όψη του. Επειδή το εργαστηριακό σύστημα δε διαθέτει δύο οθόνες, για την αναπαράσταση της επιφάνειας εργασίας του λειτουργικού συστήματος του SEL-3354 και του λειτουργικού συστήματος του PC ξεχωριστά (βλ. αχρησιμοποίητες θύρες VGA – Εικόνα 2.13), η σύνδεση Ethernet ETH1 μας δίνει την δυνατότητα σύνδεσης απομακρυσμένης επιφάνειας εργασίας (remote desktop connection), ώστε να μπορούμε να χειριζόμαστε και να ελέγχουμε της λειτουργίες του SEL-3354 μέσω της μονάδας PC και πιο συγκεκριμένα μέσω του προγράμματος RealVNC, το οποίο είναι εγκατεστημένο σε αυτή.

Τα καλώδια που έχουν συνδεθεί στις υποδοχές A07 και A08, αποτελούν την τροφοδοσία του SEL-3354. Οι υπόλοιπες υποδοχές στην ίδια σειρά φέρουν τα σήματα που παράγονται από την υπηρεσία SEL SysMon, την οποία θα αναλύσουμε περισσότερο στη συνέχεια. Το καλώδιο στην υποδοχή A09 αποτελεί τη γείωση του κελύφους της συσκευής. Οι υποδοχές IRIG-B δεν χρησιμοποιούνται στον πίνακά μας και γι' αυτό ενδεικτικά αναφέρουμε ότι χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υποσταθμών για τον συγχρονισμό των συσκευών με έναν γνωστό χρόνο αναφοράς μέσω ειδικά διαμορφωμένων σημάτων, τα οποία το SEL-3354 μπορεί να δέχεται από την αντίστοιχη υποδοχή IN και να τα περνάει στις συνδεδεμένες με αυτό συσκευές μέσω των pin 4 και 6 των σειριακών θυρών (το τελευταίο μόνο αν το σήμα IRIG-B που δέχεται είναι demodulated) ή να τα παράγει το ίδιο μέσω του ρολογιού του υπολογιστή και να τα στέλνει, όταν η υποδοχή IN δεν χρησιμοποιείται. Τέλος, στην πίσω όψη υπάρχουν και 4 θύρες USB.



*Εικόνα 2.14: Πρόσθια όψη SEL-3354*

Στην πρόσθια όψη του SEL-3354 υπάρχει το κουμπί LAMP TEST με το οποίο μπορούμε να ελέγξουμε την ορθή λειτουργία των leds που βρίσκονται σε αυτήν. Το led ENABLED ανάβει όταν η μονάδα είναι σε λειτουργία. Το led ALARM επενεργεί μαζί με την υπηρεσία SEL SysMon που τρέχει μέσα στο λειτουργικό της συσκευής για να μας δείξει αν υπάρχει κάποιου είδους δυσλειτουργία στο BIOS του υπολογιστή, στο υλικό του, στο λογισμικό του ή και το λειτουργικό του σύστημα.

Σειρά έχουν τα led που δείχνουν αν υφίσταται κάποιου είδους σύνδεση μέσω Ethernet από τις υποδοχές ETH1 και ETH2 στο πίσω μέρος του πίνακα. Συγκεκριμένα, το LNK led δείχνει αν υπάρχει κάποιο συνδεδεμένο καλώδιο Ethernet στην υποδοχή, το TX led δείχνει αν η μονάδα κάνει μετάδοση δεδομένων μέσω της σύνδεσης Ethernet, ενώ το RX led δείχνει αν η μονάδα δέχεται δεδομένα από κάποιον άλλον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης αυτής. Τονίζουμε ότι στην περίπτωση που κάποιο από τα δύο led TX και RX δεν παρουσιάζει δραστηριότητα, είναι σίγουρο ότι η σύνδεση Ethernet έχει κάποιου είδους πρόβλημα το οποίο πρέπει να επιλυθεί ώστε να λειτουργήσουν όλα σωστά.

Η επόμενη ομάδα led έχουν παρόμοια λειτουργία με αυτά που προηγήθηκαν μόνο που αντιστοιχούν στην δραστηριότητα των σειριακών θυρών COM1-COM16. Τονίζουμε και πάλι ότι αν δεν παρουσιάζεται ένδειξη για μετάδοση και παραλαβή δεδομένων από τις εν λόγω θύρες, υπάρχει κάποιο πρόβλημα σύνδεσης που θα προκαλέσει εσφαλμένη λειτουργία του συστήματος. Στα δεξιά της πρόσθιας όψης, βρίσκεται ένα ακόμη led με όνομα HDD, το οποίο δείχνει αν υπάρχει προσπέλαση στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή. Δίπλα σε αυτό υπάρχει μία υποδοχή Ethernet ETH F για πιο εύκολη πρόσβαση καθώς και δύο υποδοχές USB για τον ίδιο ακριβώς λόγο.

Στο παράρτημα Β έχουμε παραθέσει σχέδιο των καλωδιώσεων της συσκευής SEL-3354, στην οπίσθια όψη της, που δείχνει τη σύνδεση της συσκευής με τις υπόλοιπες του εργαστηριακού συστήματος.

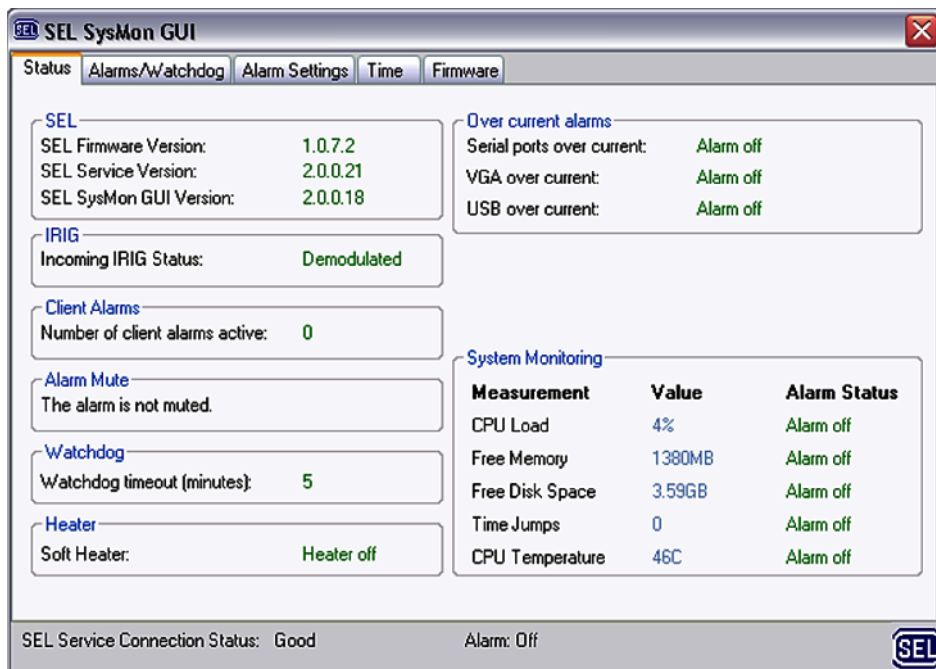


### 2.3.1.3 SEL SysMon

Η υπηρεσία SEL SysMon φορτώνεται και λειτουργεί αμέσως μόλις συνδεθεί κάποιος χρήστης στο λειτουργικό σύστημα του SEL-3354. Σκοπός της είναι να επιτηρεί την ορθή λειτουργία του υπολογιστή αυτού και αν τυχόν υπάρξει κάποια δυσλειτουργία να ενημερώσει τον χρήστη μέσω του ενδεικτικού ALARM led στην πρόσθια όψη, με ταυτόχρονη αποστολή σήματος alarm προς το SCADA μέσω των επαφών σήμανσης (alarm contacts) A01 – A06 στην πίσω όψη και του Windows Event Viewer (το σύστημά μας προφανώς δεν στέλνει τέτοια σήματα στο SCADA αφού δεν έχει γίνει η αντίστοιχη σύνδεση).

Εκκινώντας την υπηρεσία SEL SysMon, παρατηρούμε ότι η πρώτη καρτέλα της παρέχει κάποιες γενικές πληροφορίες για την κατάσταση του υπολογιστή αλλά και της υπηρεσίας, ενώ οι υπόλοιπες, συνοπτικά, μας δίνουν τις εξής δυνατότητες.

- Έλεγχος ορθής λειτουργίας των alarm σημάτων και της επικοινωνίας του ενσωματωμένου FPGA του SEL-3354 με τον υπολογιστή αυτού.
- Επιτήρηση φόρτου εργασίας της CPU ώστε να στέλνεται σήμα alarm όταν παραμένει μεγαλύτερος από ένα συγκεκριμένο όριο για κάποιο χρονικό διάστημα.
- Έλεγχος διαθέσιμης μνήμης RAM ώστε να ενημερώνεται ο χρήστης με σήμα alarm όταν αυτή πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο για κάποιο χρονικό διάστημα.
- Έλεγχος ελεύθερου χώρου στον σκληρό δίσκο με σήμα alarm να στέλνεται όταν αυτός πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο.
- Επιτήρηση αλμάτων χρόνου και ενημέρωση σε περίπτωση που υπάρξουν πολλά τέτοια άλματα μέσα σε κάποιο καθορισμένο χρονικό διάστημα.
- Έλεγχος θερμοκρασίας CPU για την περίπτωση που αυτή βρεθεί είτε πάνω από κάποιο όριο είτε κάτω από κάποιο άλλο.
- Ρυθμίσεις για τον συγχρονισμό χρόνου και πιο συγκεκριμένα για το πότε μια πηγή IRIG-B θα θεωρείται καλή ποιοτικά και πότε όχι.
- Έλεγχος έκδοσης της υπηρεσίας SEL SysMon και δυνατότητα αναβάθμισής της.

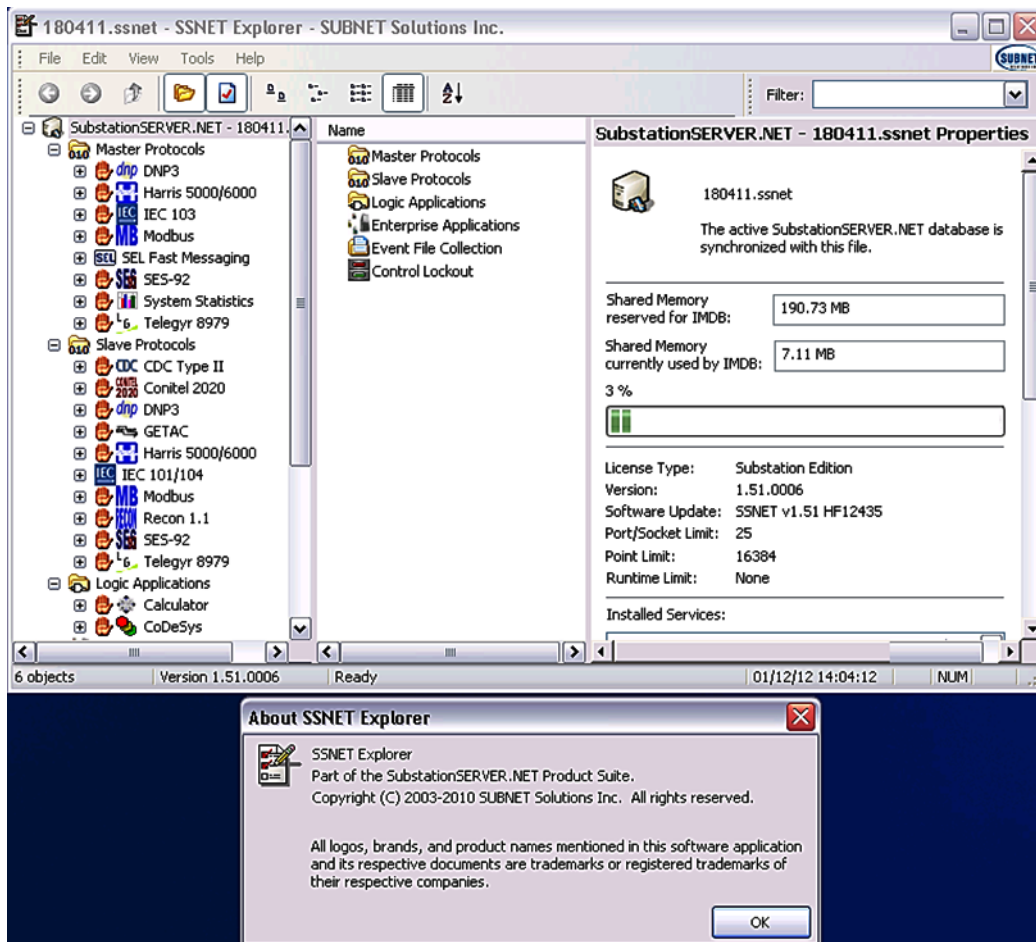


Εικόνα 2.15: SEL SysMon παράθυρο

### 2.3.1.4 Εγκατεστημένο λογισμικό

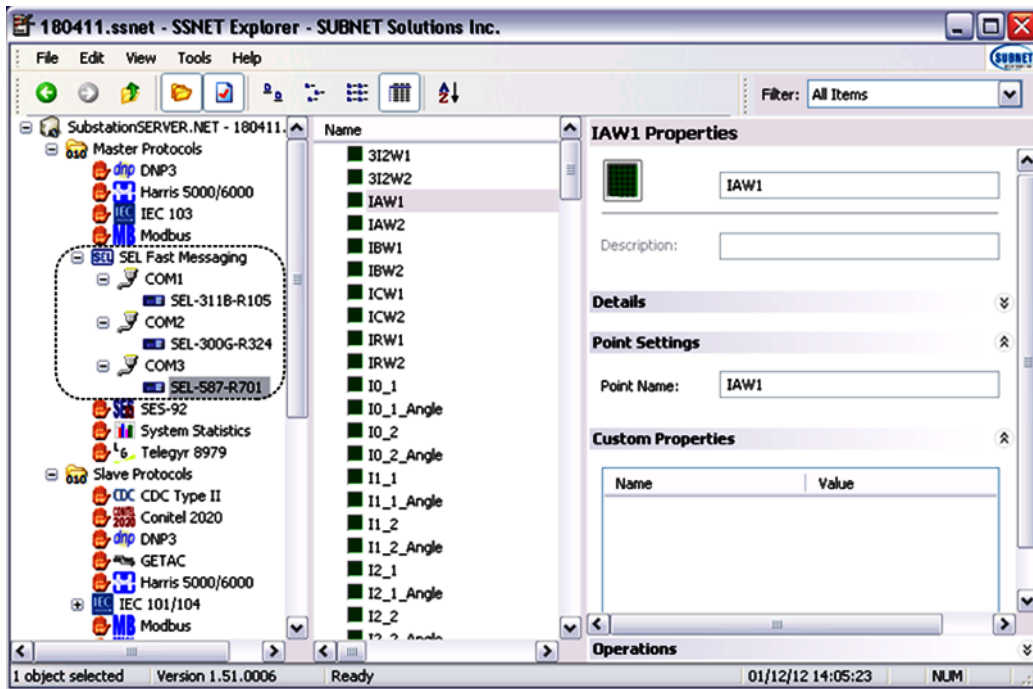
Ο SEL-3354 διαθέτει λειτουργικό σύστημα Windows XP, ειδικά διαμορφωμένο για τον σκοπό τον οποίο πρέπει να επιτελέσει και δεν θα πρέπει επιβαρύνεται με περιττά προγράμματα

και λειτουργίες. Το σημαντικότερο λογισμικό που έχει εγκατασταθεί μέσα στα Windows XP του SEL-3354 είναι το [SUBNET SubSTATION Server](#). Αυτό το πρόγραμμα μάς δίνει την δυνατότητα συλλογής και αποθήκευσης των δεδομένων που έρχονται από τους ηλεκτρονόμους μέσω των σειριακών θυρών και μετάδοσής τους προς την μονάδα PC μέσω της τοπικής του σύνδεσης από τη θύρα Ethernet ETH 1, ώστε να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα από το SCADA.

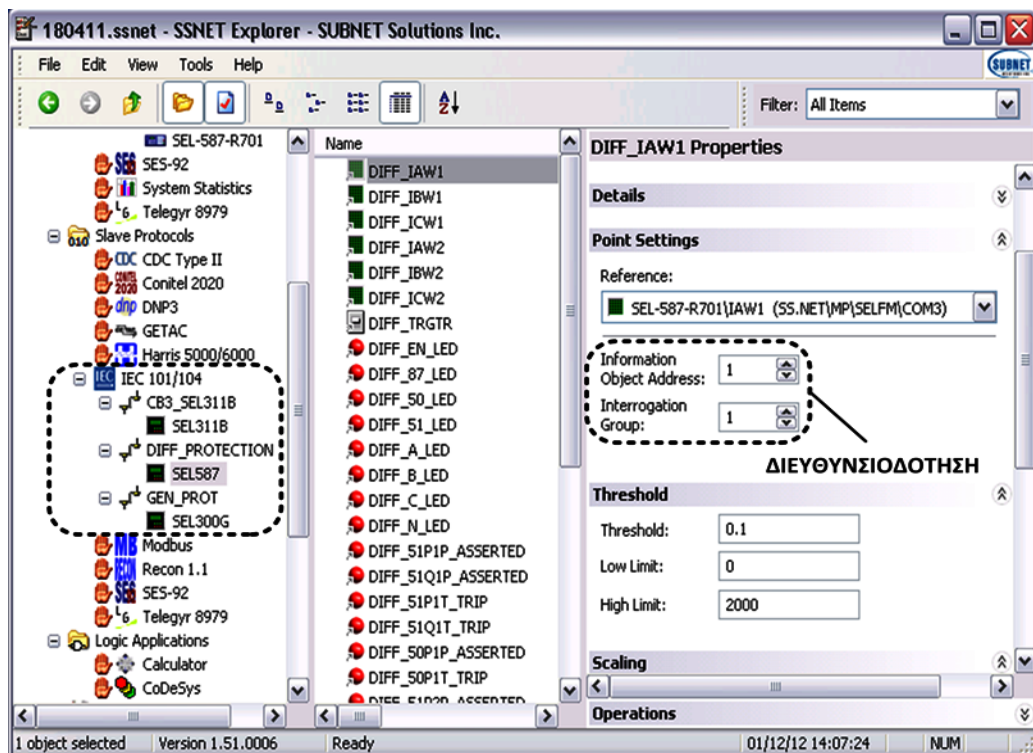


Εικόνα 2.16: Κεντρικό παράθυρο SUBNET SubSTATION Server™

Για να καταστεί η παραπάνω λειτουργία δυνατή, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο επικοινωνίας SEL Fast Messaging για την επικοινωνία μεταξύ του SEL-3354 και των ηλεκτρονόμων και το πρωτόκολλο επικοινωνίας IEC 60870-5 101/104 για την επικοινωνία μεταξύ του SEL-3354 και του SCADA που τρέχει στην μονάδα PC. Για το τελευταίο πρωτόκολλο, δημιουργείται ουσιαστικά μία βάση δεδομένων για όλα τα διαθέσιμα δεδομένα/μεγέθη των ηλεκτρονόμων. Σε κάθε ένα από αυτά τα δεδομένα/μεγέθη που συλλέγονται ανατίθεται κάποια διεύθυνση (βλ. Information Object Address [IOA] και Interrogation Group στην εικόνα 2.18), η οποία χρησιμοποιείται από το SCADA για την προσπέλαση των εν λόγω δεδομένων κατά τη λειτουργία του.

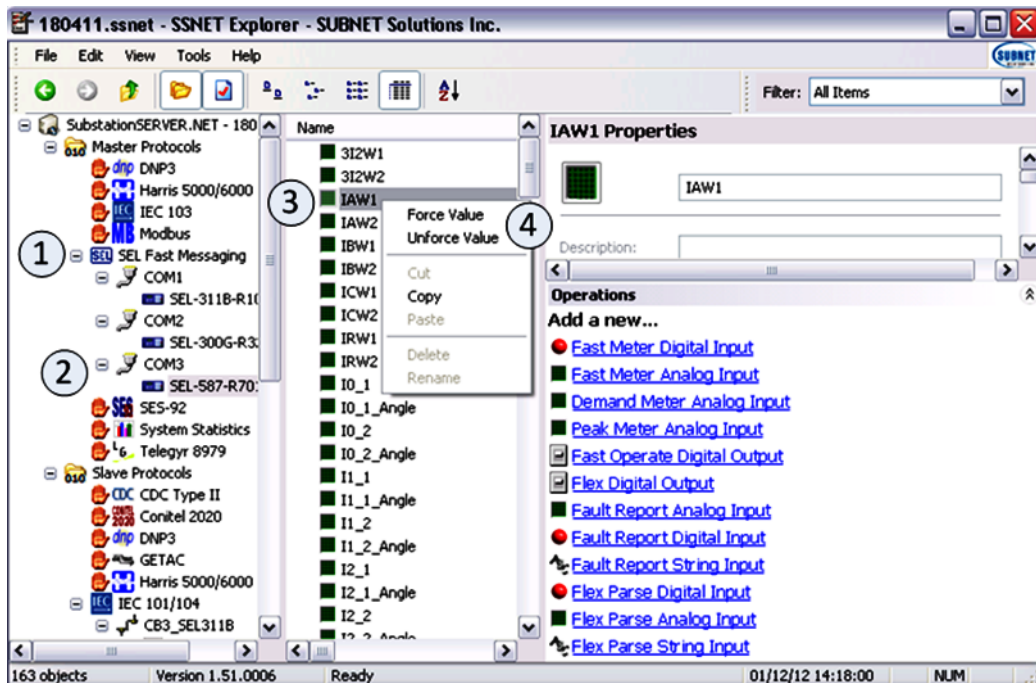


Εικόνα 2.17: Πρωτόκολλο επικοινωνίας SEL Fast Messaging



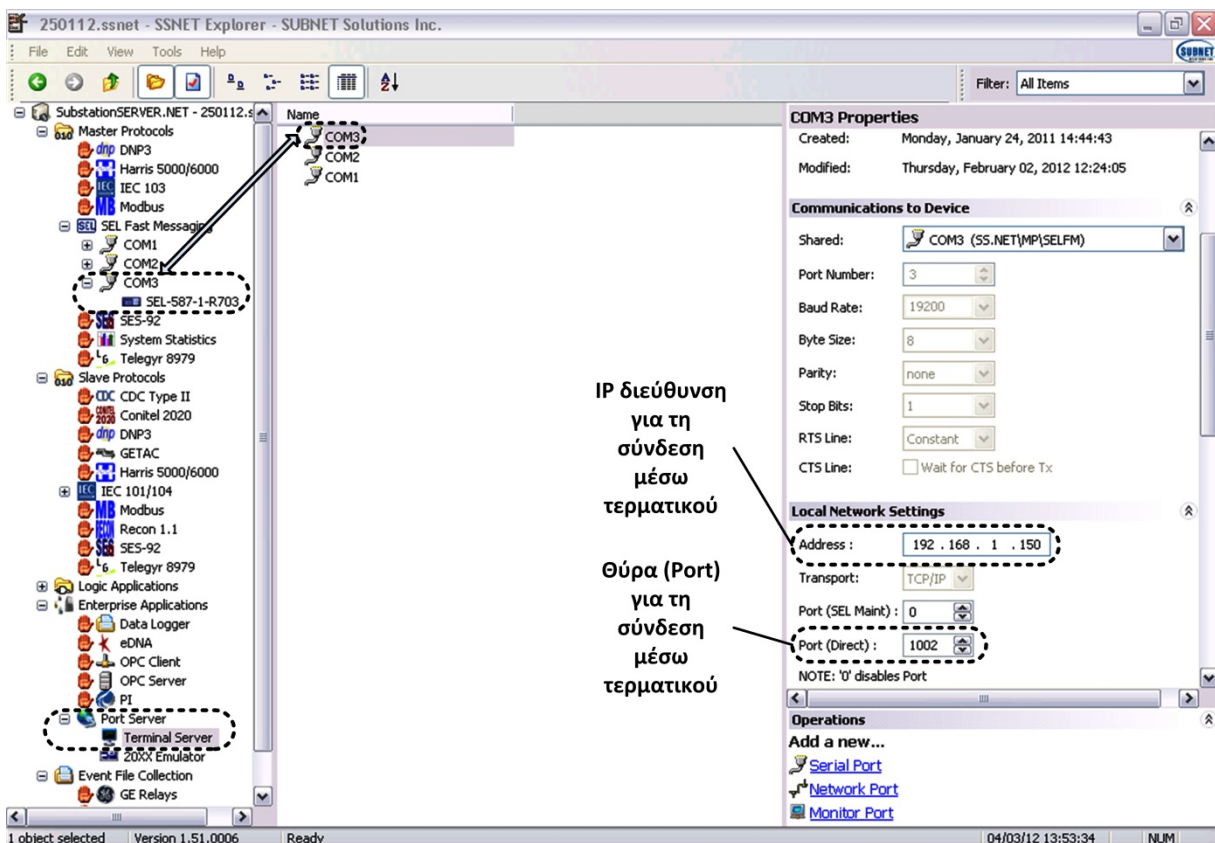
Εικόνα 2.18: Πρωτόκολλο επικοινωνίας IEC 101/104 & Διευθυνσιοδότηση δεδομένου/μέγεθους

Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης επιθυμεί να αναθέσει μια τιμή σε ένα δεδομένο/μέγεθος μέσω του εν λόγω προγράμματος για να εκτελέσει π.χ. κάποιο είδος ελέγχου, χρειάζεται να εντοπίσει αρχικά το μέγεθος αυτό από το SEL Fast Messaging πρωτόκολλο, εν συνεχεία να κάνει δεξί κλικ επάνω του και να επιλέξει την force επιλογή. Προσοχή, όμως, διότι η ανάθεση αυτή παραμένει σταθερή και δεν διαγράφεται με την επανεκκίνηση του προγράμματος, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι για να την αναιρέσει ο χρήστης θα πρέπει να ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία και με δεξί κλικ να επιλεγεί unforce value.



Εικόνα 2.19: Διαδικασία για force/unforce value

Κλείνοντας, αναφέρουμε ότι στο πεδίο ρυθμίσεων Port Server του εν λόγω προγράμματος, μπορούμε να βρούμε τις θύρες επικοινωνίας (ports) που έχουν ανατεθεί σε κάθε ηλεκτρονόμο του συστήματος προστασίας καθώς και την IP διεύθυνση με την οποία είναι συσχετισμένες και χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μέσω τερματικού. Αυτή η ρύθμιση, δηλαδή, είναι υπεύθυνη για την σύνδεση που θα χρειαστούμε ώστε να συνδεθούμε με τους ηλεκτρονόμους και να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους τους, μέσω του ειδικού προγράμματος AcSELarator® QuickSet.



Εικόνα 2.20: Πεδίο ρυθμίσεων Port Server για σύνδεση μέσω τερματικού

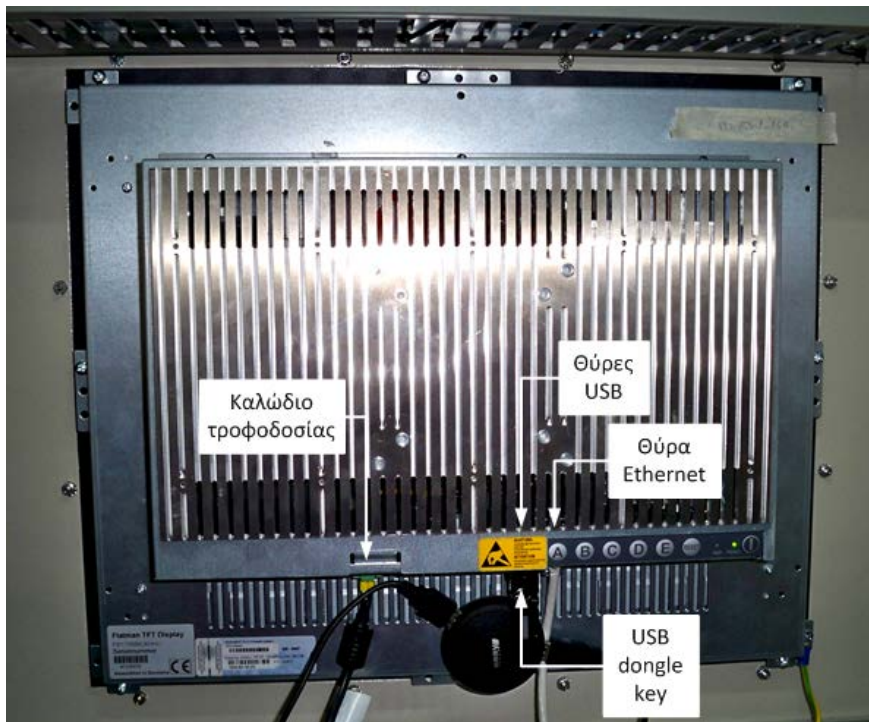
### 2.3.2 Μονάδα PC

#### 2.3.2.1 Εισαγωγή

Η μονάδα PC του εργαστηριακού συστήματος προστασίας είναι ένας υπολογιστής, ο οποίος χρησιμεύει για να τρέξει το πρόγραμμα εποπτείας, ελέγχου και συλλογής πληροφοριών (SCADA). Το SCADA αποσκοπεί στη γραφική αναπαράσταση της μονάδας παραγωγής και της γραμμής μεταφοράς που επιτηρεί το σύστημα προστασίας, καθώς και όλων των απαραίτητων πληροφοριών, που αφορούν τη μονάδα παραγωγής, όπως είναι οι διακόπτες ισχύος, οι ηλεκτρονόμοι κτλ., ώστε να είναι πιο εύκολη και αποδοτική η παρακολούθησή του.

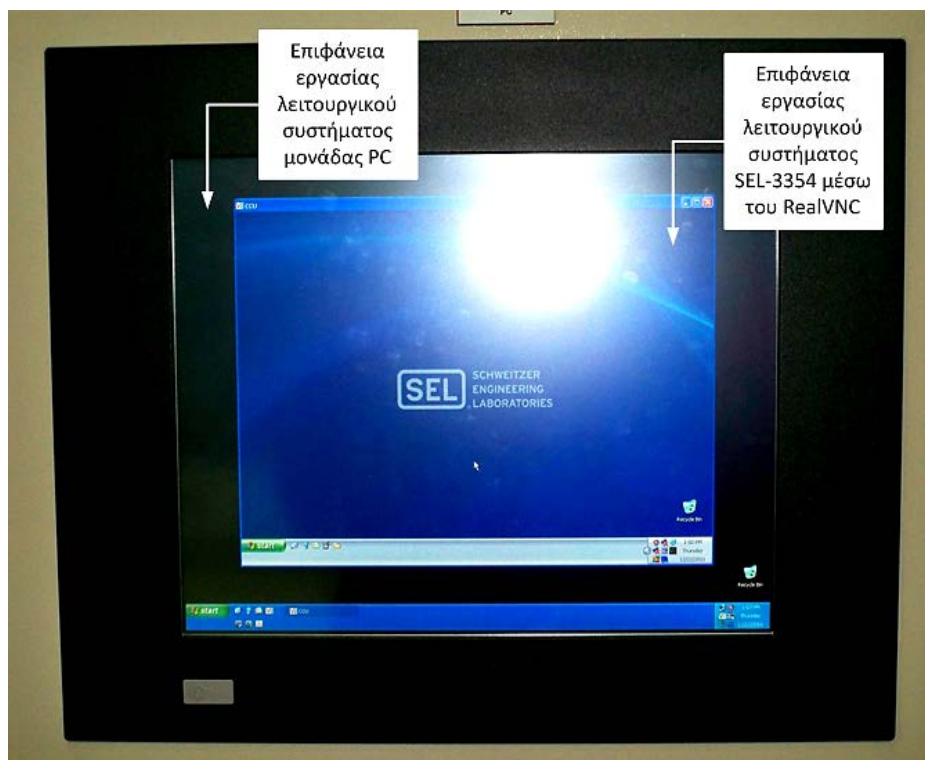
#### 2.3.2.2 Περιγραφή υλικού & λογισμικού

Όσον αφορά το υλικό (hardware), η μονάδα PC είναι ένας ενσωματωμένος υπολογιστής με οθόνη αφής. Στην πίσω όψη της (βλ. εικόνα 2.21), διακρίνονται από τα αριστερά προς τα δεξιά, το καλώδιο τροφοδοσίας, οι 2 διαθέσιμες θύρες USB της μονάδας που εδώ χρησιμοποιούνται αφενός μεν για να συνδέσουμε μέσω ενός USB hub ένα πληκτρολόγιο και ένα ποντίκι στην μονάδα (προαιρετικό) και αφετέρου το κλειδί του λογισμικού [Zenon](#) (USB dongle key) το οποίο μας παρέχει την απαραίτητη άδεια για χρήση και πλήρη αξιοποίηση του συγκεκριμένου λογισμικού, καθώς και η θύρα Ethernet μέσω της οποίας η μονάδα PC συνδέεται τοπικά με τη συσκευή SEL-3354.



*Εικόνα 2.21: Οπίσθια όψη μονάδας PC*

Από μεριάς λογισμικού, το λειτουργικό σύστημα του PC είναι τα Windows XP και το κυριότερο πρόγραμμα που είναι εγκατεστημένο σε αυτό είναι το Zenon Runtime μέσω του οποίου τρέχει το SCADA του συστήματος προστασίας. Επιπροσθέτως, στον συγκεκριμένο υπολογιστή υπάρχει εγκατεστημένο και το πρόγραμμα Zenon Editor, το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να επεξεργάζεται τη μορφή και τη λειτουργία του SCADA αναλόγως των αναγκών του. Στη συνέχεια, αναφερόμαστε στις βασικές δυνατότητες που μας προσφέρουν, τα δύο αυτά προγράμματα.

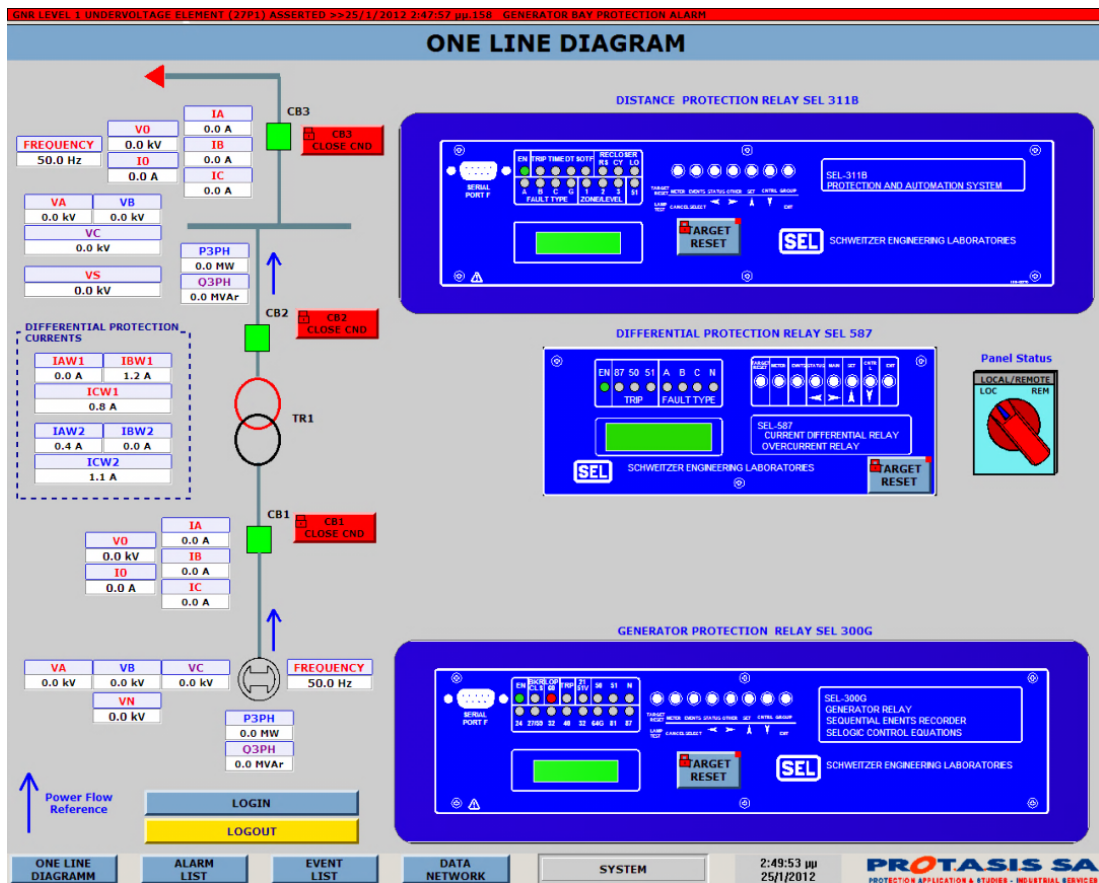


*Εικόνα 2.22: Πρόσθια όψη μονάδας PC*

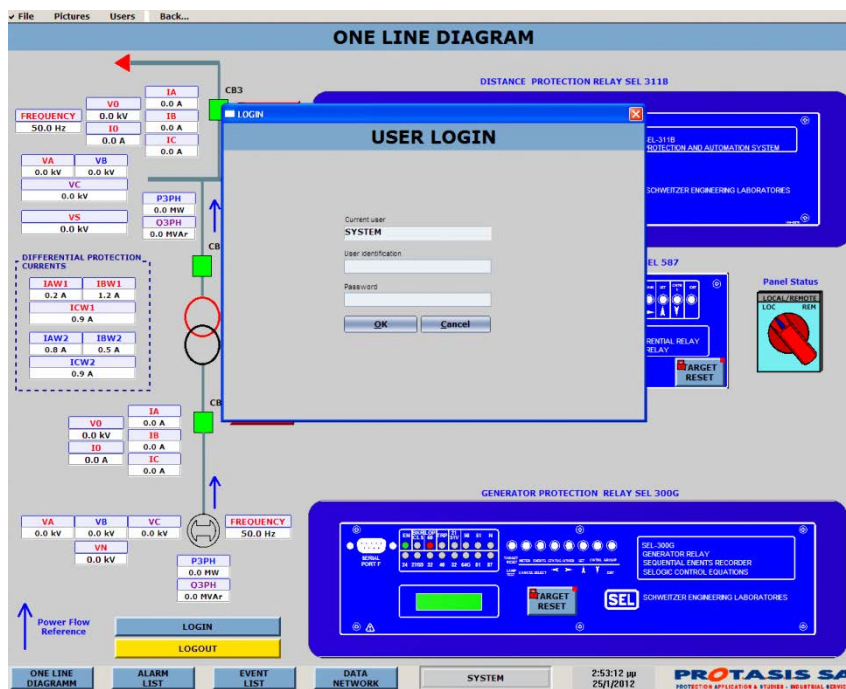
#### 2.3.2.3 Χρήση του Zenon Runtime (SCADA)

Το SCADA του συστήματος προστασίας εκκινεί αυτόματα μέσω του προγράμματος Zenon Runtime και καταλαμβάνει όλη την οθόνη της μονάδας PC. Η πρώτη οθόνη που εμφανίζεται παρέχει τις εξής πληροφορίες και λειτουργίες:

- το μονογραμμικό σχέδιο της μονάδας παραγωγής και της γραμμής μεταφοράς που αναχωρεί από το ζυγό YT, μαζί με τους διακόπτες ισχύος κατάλληλα χρωματισμένους ώστε να φαίνεται η κατάστασή τους (κλειστοί/ανοιχτοί),
- όλες τις τάσεις και τα ρεύματα που μετρώνται από τους ηλεκτρονόμους,
- μια αναπαράσταση της μπροστινής όψης των ηλεκτρονόμων, ρυθμισμένης έτσι ώστε να φαίνεται ακριβώς η κατάσταση των ενδεικτικών λυχνιών τους (LEDs),
- την κατάσταση του button χειρισμού Local/Remote,
- επιλογές για σύνδεση (LOGIN) και αποσύνδεση (LOGOUT) χρήστη για την απόκτηση δικαιοδοσίας εκτέλεσης διενεργειών στο SCADA αλλά και στη μονάδα παραγωγής (π.χ. χειρισμός διακοπών ισχύος, μέσω του Zenon Runtime),
- την alarm status line η οποία εμφανίζεται μόνο όταν υπάρχει κάποια σήμανση από τους ηλεκτρονόμους, π.χ. όταν κάποια προστασία ενεργοποιείται,
- τα μενού στο πάνω αριστερά μέρος της οθόνης με τα οποία μπορείτε να περιηγηθείτε στις άλλες οθόνες του SCADA και να εκτελέσετε διάφορες λειτουργίες,
- την button bar στο κάτω μέρος της οθόνης για πιο γρήγορη μετάβαση στις κυριότερες οθόνες του SCADA μαζί με ένδειξη της κατάστασης σύνδεσης χρήστη (SYSTEM, HV, ADMINISTRATOR κλπ.),
- την τοπική ώρα και το λογότυπο της εταιρείας, η οποία κατασκεύασε το εργαστηριακό σύστημα προστασίας.

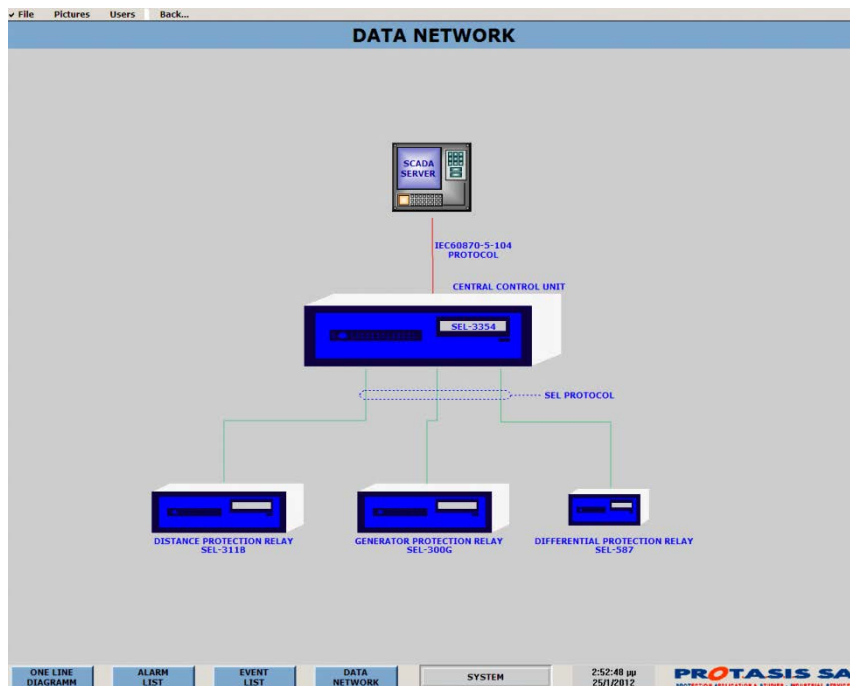


Εικόνα 2.23: Κεντρική οθόνη SCADA



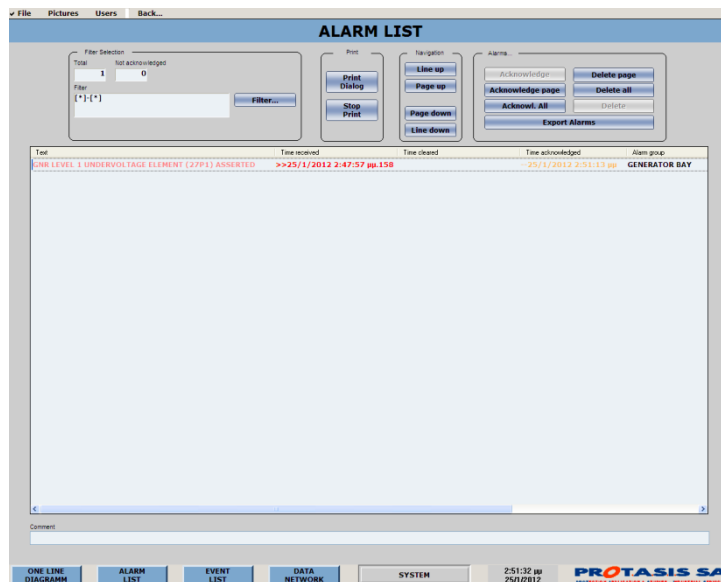
Εικόνα 2.24: Παράθυρο LOGIN του SCADA

Πατώντας το DATA NETWORK από την button bar, μεταβαίνουμε σε μία οθόνη, η οποία ουσιαστικά δείχνει αν όλα λειτουργούν ομαλά όσον αφορά τις συνδέσεις μεταξύ των διαφόρων συσκευών. Πιο συγκεκριμένα, η σύνδεση μεταξύ του SCADA και του SEL-3354 δεν επιτηρείται και γι' αυτό είναι μονίμως κόκκινη. Αντιθέτως, οι συνδέσεις μεταξύ του SEL-3354 με όλους τους ηλεκτρονόμους επιτηρούνται και εμφανίζονται κόκκινες μόνο σε περίπτωση βλάβης.



Εικόνα 2.25: Οθόνη DATA NETWORK του SCADA

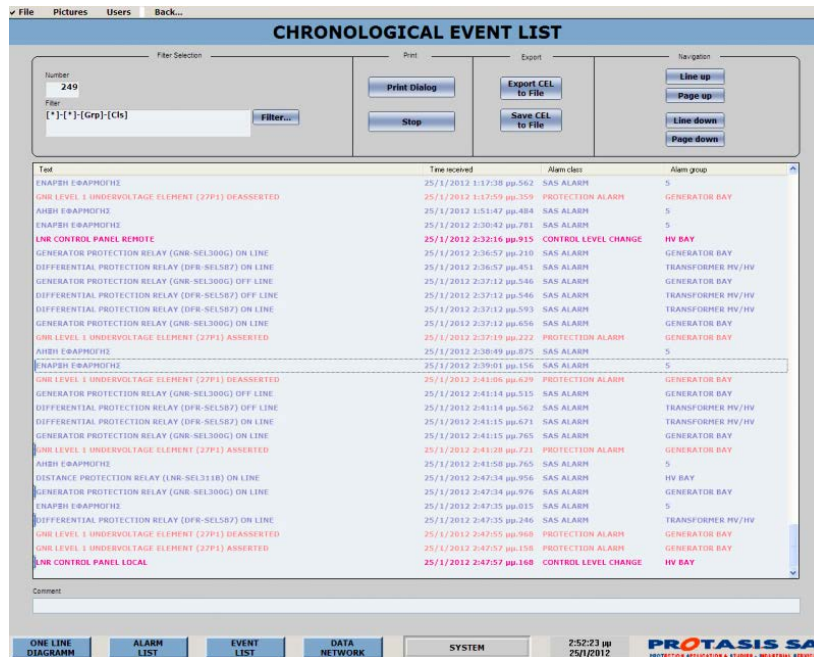
Από το ALARM LIST της button bar της κεντρικής οθόνης του SCADA, ο χρήστης μεταβαίνει σε μία άλλη οθόνη, σκοπός της οποίας είναι η καταγραφή των σημαντικότερων γεγονότων μέσα στο σύστημα, τα οποία κατά κύριο λόγο είναι οι ενεργοποιήσεις (trips) κάποιων προστασιών μετά από κάποιο σφάλμα (fault). Ο επιτηρητής της εγκατάστασης μπορεί μέσω αυτής της οθόνης να αναγνωρίσει (acknowledge) τις σημάσεις που εμφανίζονται και αφού κάνει ότι είναι απαραίτητο ώστε να έρθουν όλα σε φυσιολογική λειτουργία, τα alarms διαγράφονται αυτομάτως. Κανένα alarm, όμως, δεν μπορεί να διαγραφεί χωρίς να έχει απενεργοποιηθεί.



Εικόνα 2.26: Οθόνη ALARM LIST του SCADA

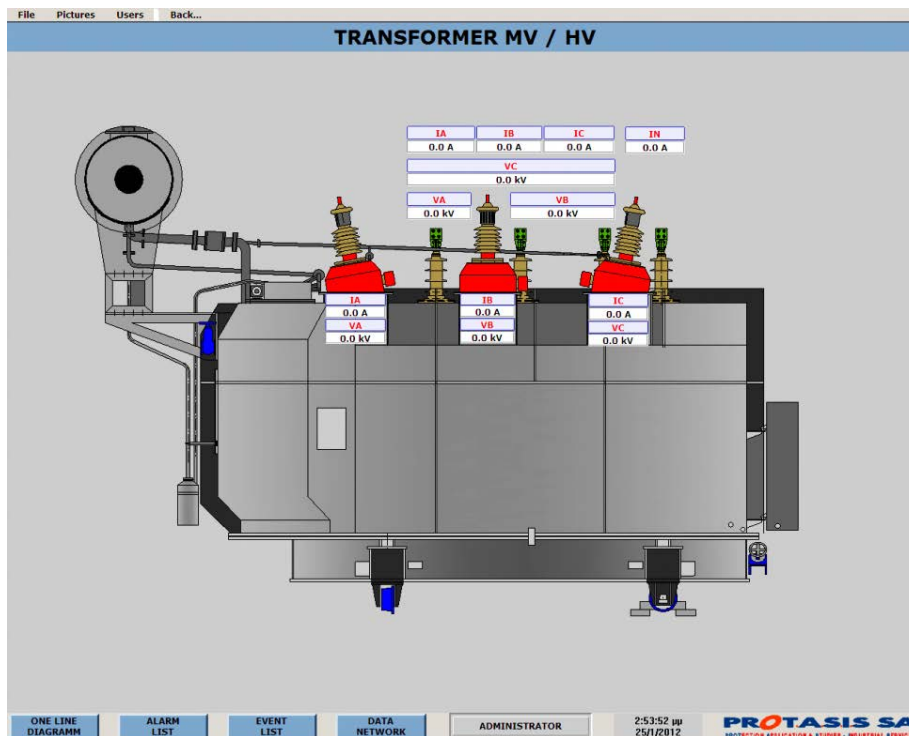
Από το EVENT LIST της button bar της κεντρικής οθόνης του SCADA, ο χρήστης μεταβαίνει σε μία οθόνη, η οποία είναι παρόμοια με αυτήν της ALARM LIST, μόνο που εδώ καταγράφονται ουσιαστικά όλα τα γεγονότα που αφορούν το σύστημα ακόμη κι αν είναι σχετικά ασήμαντα.





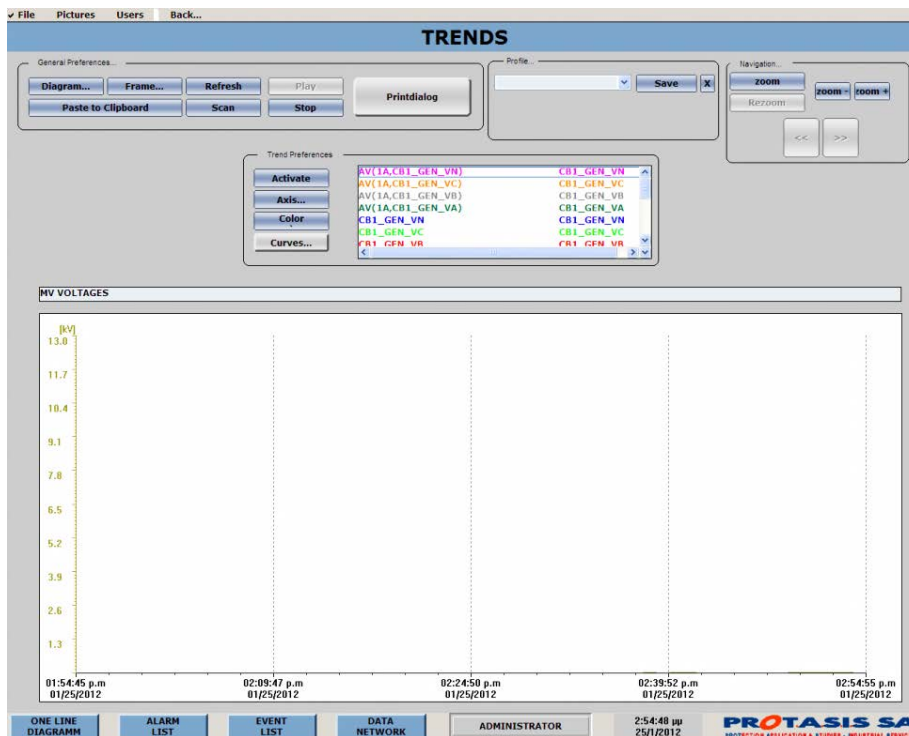
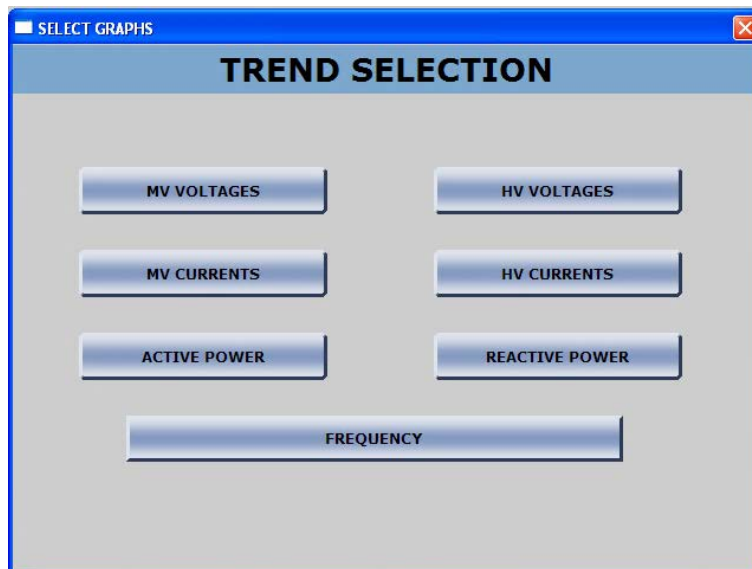
Εικόνα 2.27: Οθόνη EVENT LIST του SCADA

Από το μενού Pictures στο πάνω μέρος της οθόνης, ο χρήστης μεταβαίνει στις δευτερεύουσες οθόνες του SCADA όπως είναι η Transformer detail, η οποία ουσιαστικά επικεντρώνεται στον μετασχηματιστή της μονάδας παραγωγής και παρουσιάζει και τα μετρούμενα μεγέθη (φασικά ρεύματα και τάσεις) στο πρωτεύον και το δευτερεύον του.



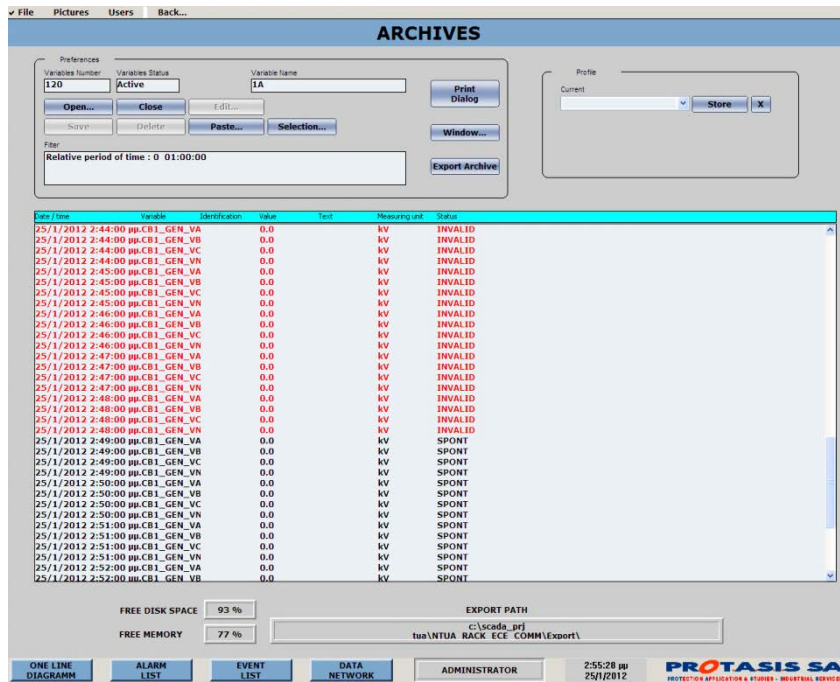
Εικόνα 2.28: Οθόνη TRANSFORMER DETAIL του SCADA

Μία ακόμη οθόνη που είναι διαθέσιμη από το ίδιο μενού Pictures και χρήζει επισήμανσης είναι η Trend selection, σκοπός της οποίας είναι να δείξει την χρονολογική πορεία κάποιου μετρούμενου μεγέθους (π.χ. τάσης, ρεύματος κτλ.).



Εικόνα 2.29: Παράθυρο & Οθόνη TREND SELECTION του SCADA

Επίσης, από το μενού Pictures και την επιλογή Archives, ο χρήστης μπορεί να προσπελάσει τα περιεχόμενα του αρχείου καταγραφής στο οποίο ανά τακτά χρονικά διαστήματα καταγράφονται οι τιμές των μετρούμενων μεγεθών. Η στήλη STATUS μας δείχνει αν η καταγεγραμμένη τιμή του μεγέθους είναι έγκυρη (SPONT) ή λανθασμένη (INVALID) στην περίπτωση που αυτή έγινε ενώ το SCADA δεν είχε πραγματική επικοινωνία με τους ηλεκτρονόμους.



Εικόνα 2.30: Οθόνη ARCHIVES του SCADA

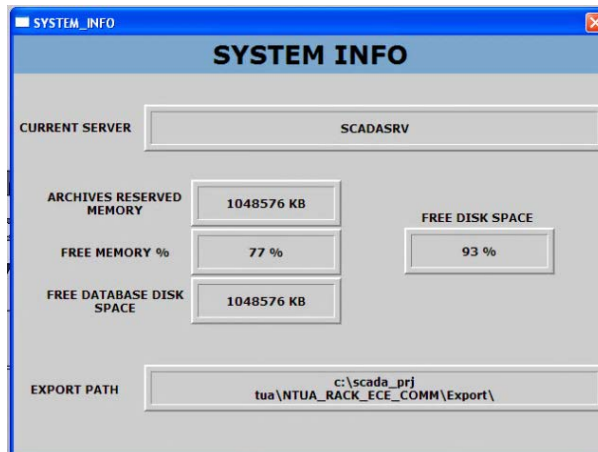
Επιπλέον, από το μενού Pictures και την επιλογή Variable Test, ο χρήστης μπορεί να μεταβεί σε μία οθόνη η οποία δεν έχει να κάνει με το εργαστηριακό σύστημα προστασίας αλλά με τη λειτουργία του ίδιου του SCADA. Πιο συγκεκριμένα μέσω αυτής της οθόνης μπορεί κανείς να κάνει δοκιμές επιβάλλοντας τιμές στις μεταβλητές του SCADA και αξιολογώντας στη συνέχεια, αν λειτουργεί με τον επιθυμητό τρόπο. Συνεπώς, πρόκειται για μία οθόνη δοκιμής του SCADA.



Εικόνα 2.31: Οθόνη VARIABLE TEST του SCADA

Τέλος, από το μενού File και την επιλογή System Info, ο χρήστης μπορεί να δει ποιος Η/Υ χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή για να τρέχει το SCADA μαζί με άλλες πληροφορίες που αφορούν την ελεύθερη μνήμη του εν λόγω υπολογιστή, τον ελεύθερο χώρο δίσκου καθώς και τον φάκελο μέσα στον οποίο αποθηκεύονται οι καταγραφές του SCADA. Φυσικά, στο εργαστηριακό

σύστημα προστασίας δεν υπάρχει περίπτωση να τρέχει άλλος Η/Υ το SCADA πέραν της μονάδας PC και αυτό το παράθυρο δημιουργήθηκε κυρίως για λόγους πληρότητας.

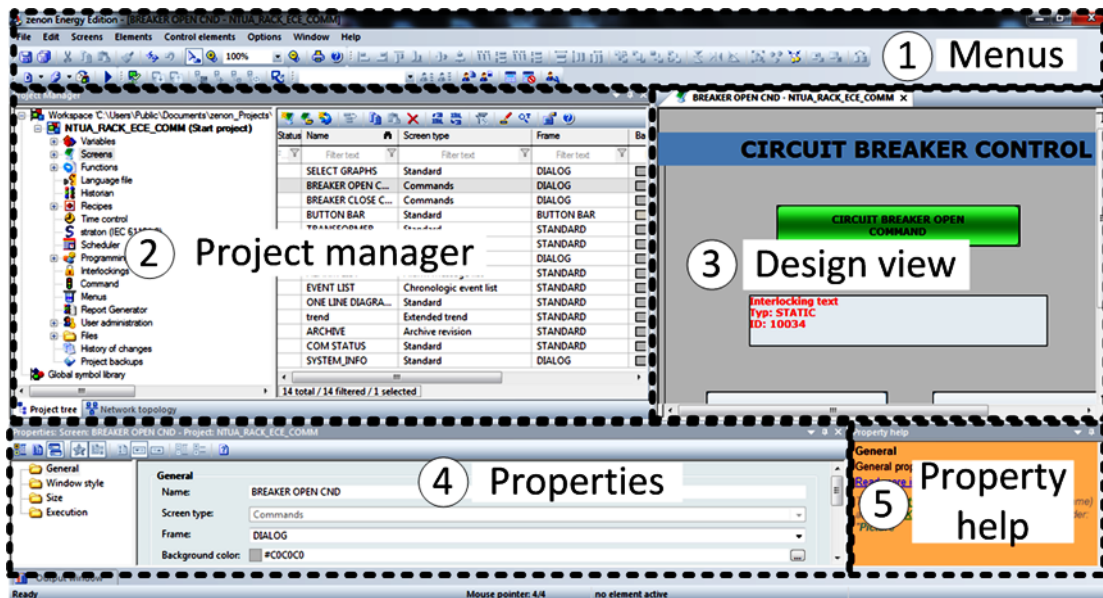


**Εικόνα 2.32:** Παράθυρο SYSTEM INFO του SCADA

#### 2.3.2.4 Εισαγωγή στο Zenon Editor

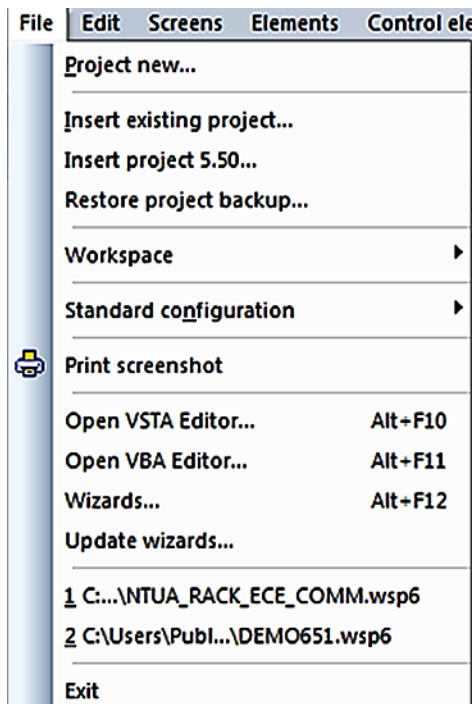
Το πρόγραμμα Zenon Editor δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας ή και δημιουργίας από την αρχή ενός συστήματος SCADA. Στην ενότητα αυτή, αναφέρουμε συνοπτικά τα κυριότερα και βασικότερα στοιχεία που χρειάζεται ο αναγνώστης, για να κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας και τη χρησιμότητά του.

Το κεντρικό παράθυρο του Zenon Editor αποτελείται ουσιαστικά από πέντε περιοχές (εικόνα 2.33). Στο πάνω μέρος της οθόνης υπάρχουν τα κλασικά μενού που συναντώνται σε όλα τα προγράμματα των Windows με τις διάφορες λειτουργίες τους ①. Στη μέση και αριστερά βρίσκεται ο λεγόμενος διαχειριστής έργου (project manager), ο οποίος χωρίζεται σε δύο επιμέρους περιοχές ②. Η αριστερή περιοχή δείχνει την ιεραρχία του έργου (project), η οποία ξεκινά από τις ρυθμίσεις που αφορούν τον χώρο εργασίας (workspace) του χρήστη, περνά μετά σε αυτές των έργων που υπάρχουν εντός του και ακολούθως στις εσωτερικές ρυθμίσεις κάθε ενός έργου. Η δεξιά περιοχή του διαχειριστή έργου είναι το κομμάτι που απεικονίζει τις λεπτομέρειες (details) του επιπέδου ρυθμίσεων που έχουν επιλεγεί στην αριστερή περιοχή. Στη μέση και δεξιά της οθόνης βρίσκεται το γραφικό σχεδιαστήριο (graphical design) μέσω του οποίου γίνεται η σχεδίαση των διάφορων οθονών του SCADA ③. Κάτω και αριστερά του κεντρικού παραθύρου φαίνονται οι ιδιότητες (properties) των επιλεγμένων στοιχείων από τις λεπτομέρειες, οι οποίες δίνουν περαιτέρω δυνατότητες ρυθμίσεων ④. Τέλος, στο κάτω δεξιά κομμάτι της οθόνης υπάρχει η βοήθεια ιδιότητας (Property Help), η οποία παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τις ρυθμίσεις που έχουν επιλεγεί στο κομμάτι των ιδιοτήτων (properties) ⑤.



Εικόνα 2.33: Κεντρικό παράθυρο του Zenon Editor

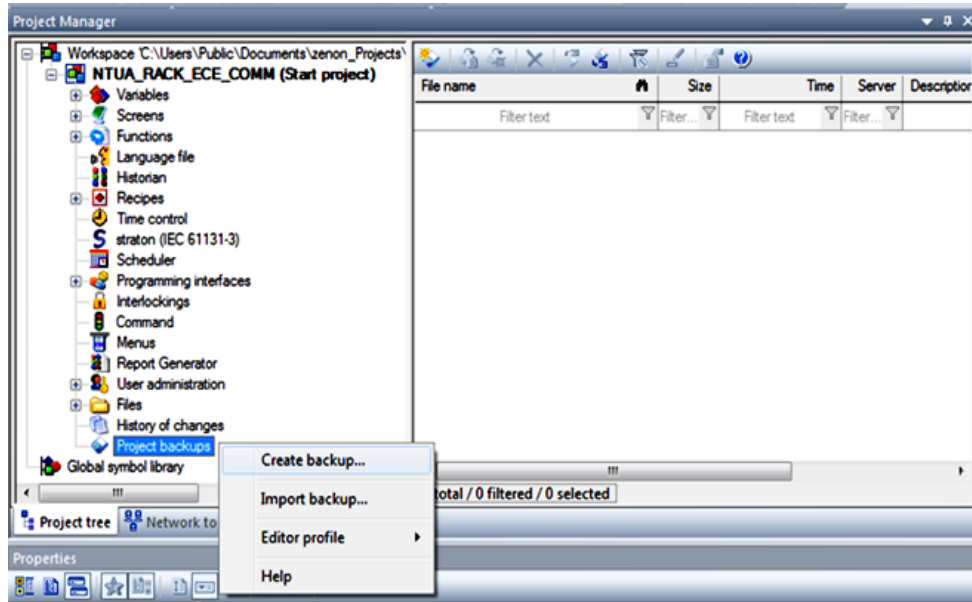
Για να φτιάξει ο χρήστης ένα έργο (project) με το Zenon Editor, θα πρέπει πρώτα να έχει δημιουργήσει έναν χώρο εργασίας (workspace), ο οποίος είναι ουσιαστικά ένας φάκελος μέσα στον οποίον θα βρίσκονται τα έργα (projects) που έχει συνδέσει με αυτόν. Για να δημιουργήσει ένα χώρο εργασίας, πηγαίνει στο File→Workspace→New, επιλέγει σε ποιο φάκελο θα αποθηκεύονται τα workspaces που δημιουργεί (τυπικά στα Windows είναι το \Documents\zenon\_projects\) καθώς και το όνομα του φακέλου που θα φιλοξενήσει το workspace του για καλύτερη οργάνωση. Για να προσθέσει ένα νέο project στον χώρο εργασίας, πηγαίνει File→Project New και δίνει τις απαραίτητες επιλογές. Άξιος αναφοράς και ανάλυσης είναι, επίσης, ο τρόπος που μπορεί να επαναφέρει κάποιος ένα ήδη υπάρχον project από ένα αρχείο backup καθώς και το πώς μπορεί να το δημιουργήσει (αντίγραφο ασφαλείας).



Εικόνα 2.34: File menu

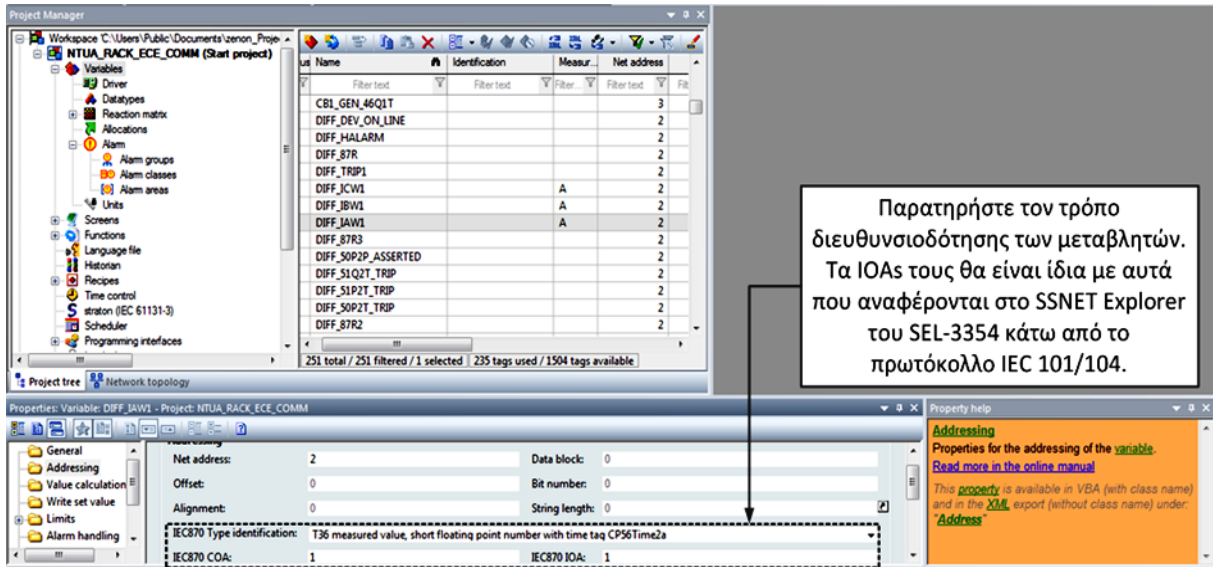
Αρχικά η δημιουργία αρχείου backup ενός project γίνεται ως εξής: έχοντας ανοίξει ένα έργο (project) με το Zenon Editor, από τον διαχειριστή έργου (project manager), ο χρήστης

πηγαίνει στο επίπεδο ρυθμίσεων Project Backups, πατάει δεξί κλικ και ακολούθως Create backup (εικόνα 2.35). Με αυτό τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα νέο backup και να του δοθεί και κάποια περιγραφή, αν είναι επιθυμητό. Αν, τώρα, υπάρχει λόγος να πάρει ο χρήστης μαζί του αυτό το backup σαν αρχείο zip για να το επαναφέρει π.χ. σε κάποιο άλλο workspace ενός άλλου υπολογιστή, επιλέγει το αρχείο backup από το χώρο των details, κάνει δεξί κλικ και στη συνέχεια Export backup. Για να επαναφέρει αυτό το backup σε έναν άλλο workspace, κάνει δεξί κλικ επάνω του και μετά Restore backup αφού πρώτα έχει κάνει Import backup σε περίπτωση που το αρχείο δεν υπήρχε στη λίστα των Project backups.

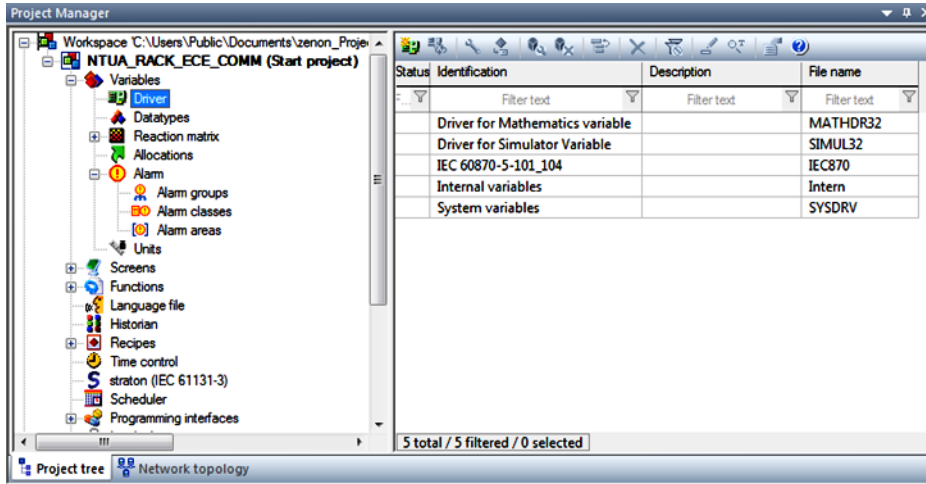


*Εικόνα 2.35: Δημιουργία/Εισαγωγή/Επαναφορά backup*

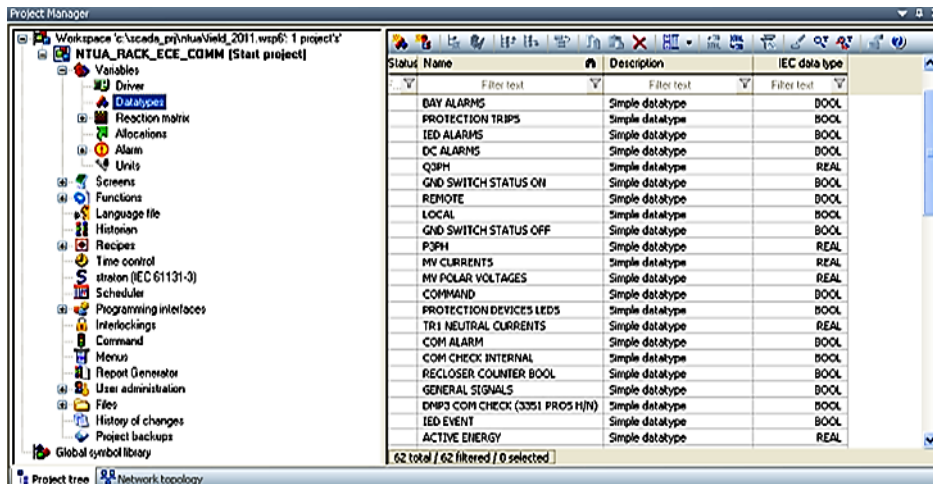
Το επίπεδο ρυθμίσεων Variables του project περιέχει τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν για τις διάφορες λειτουργίες του SCADA (εικόνα 2.36). Οι μεταβλητές αυτές μπορεί να είναι είτε τιμές που έρχονται από τους ηλεκτρονόμους μέσω της σύνδεσης με το SEL-3354, είτε εσωτερικές βοηθητικές μεταβλητές. Οι οδηγοί (drivers) που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ του SCADA και της βάσης δεδομένων του SEL-3354 με τα μεγέθη των ηλεκτρονόμων, καθώς και όποιοι άλλοι οδηγοί απαιτούνται, βρίσκονται στην κατηγορία Variables/Driver (εικόνα 2.37). Στο Variables/Datatypes ορίζονται οι τύποι δεδομένων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν από το χρήστη για τις μεταβλητές του (εικόνα 2.38). Στο Variables/Alarm ορίζονται τα γκρουπ σημάτων (alarm groups) που στην συγκεκριμένη περίπτωση δείχνουν ποιο μέρος του επιτηρούμενου δικτύου αφορά η σήμανση και οι τύποι αυτών (alarm classes) που δείχνουν το είδος της σήμανσης (εικόνας 2.39 & 2.40).



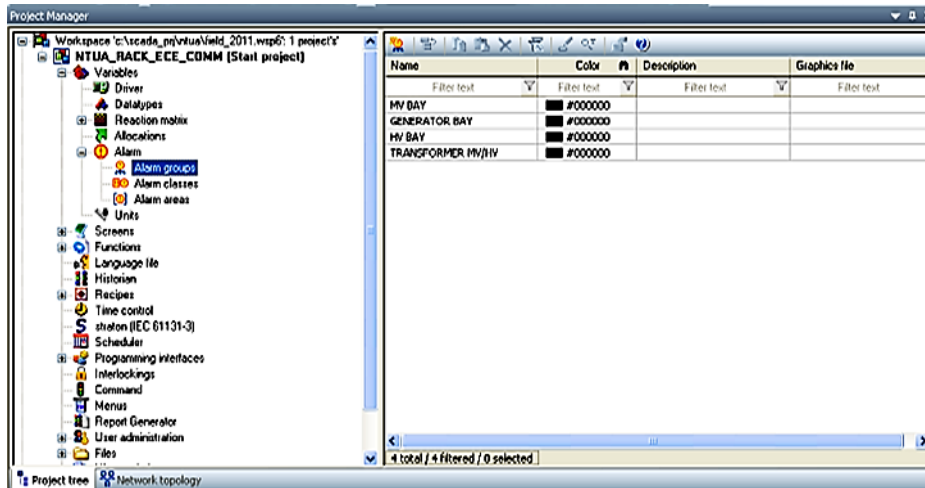
Εικόνα 2.36: Επίπεδο ρυθμίσεων μεταβλητών & διευθυνσιοδότησή τους



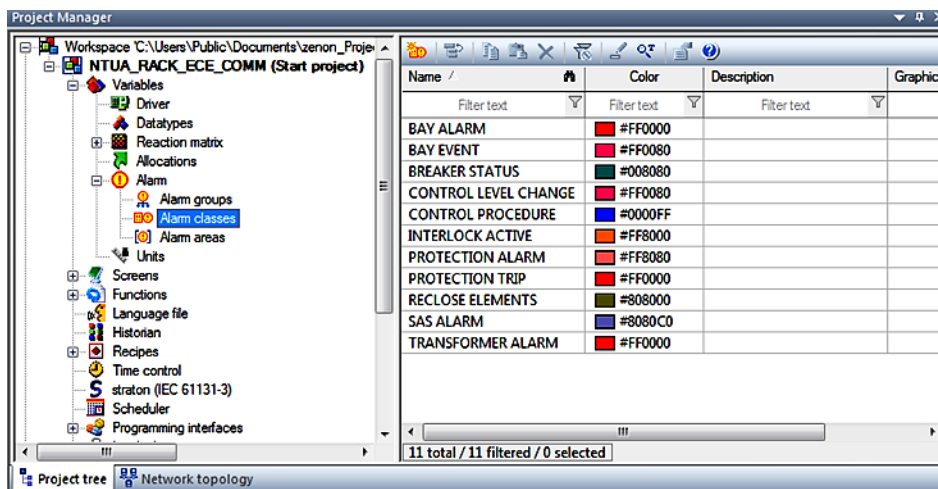
Εικόνα 2.37: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Driver



Εικόνα 2.38: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Datatypes



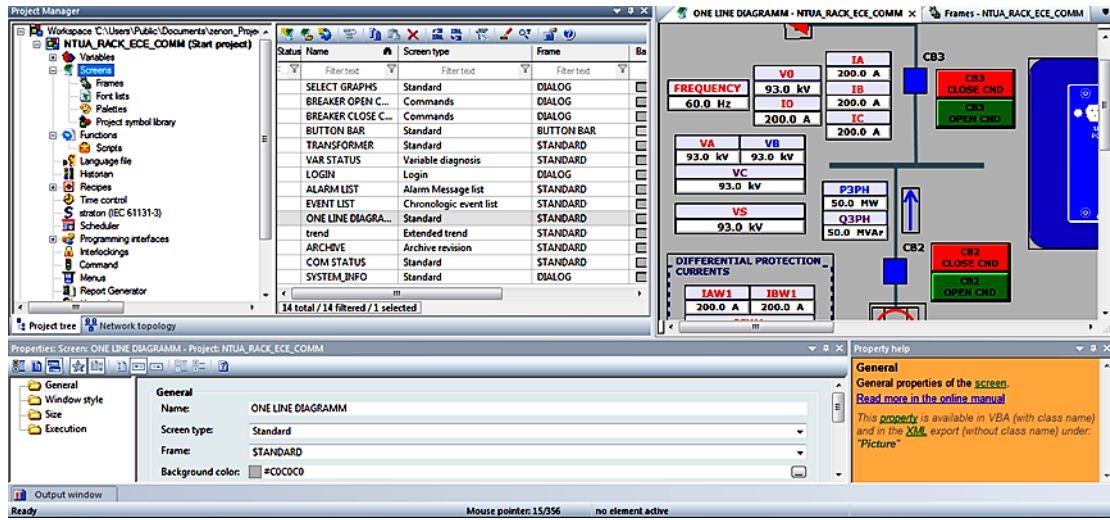
Εικόνα 2.39: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Alarm groups



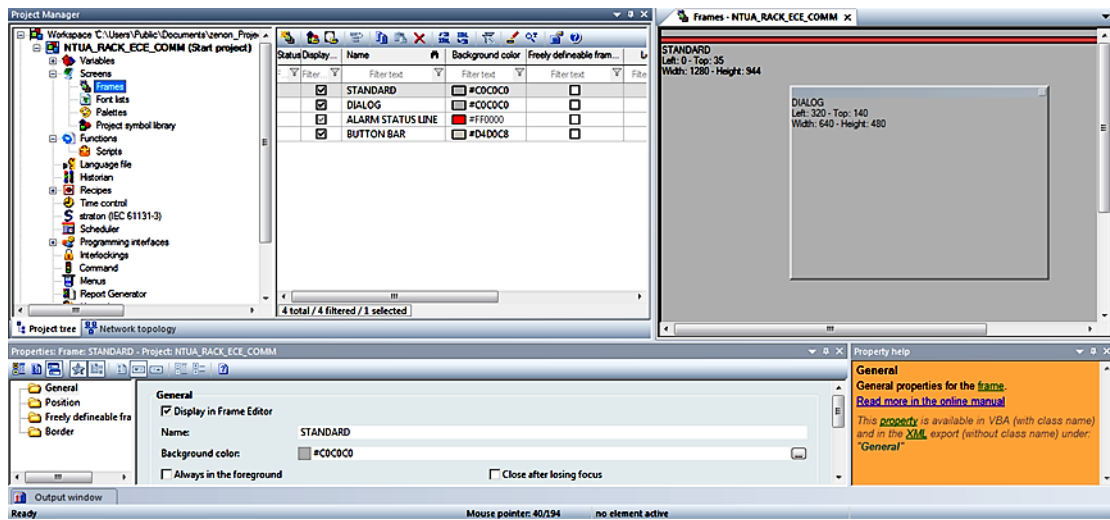
Εικόνα 2.40: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables/Alarm classes

Στο επίπεδο ρυθμίσεων Screens (εικόνα 2.41) ενός project σχεδιάζονται οι διάφορες οθόνες του SCADA μέσω των μενού Elements και Control Elements στο πάνω μέρος της οθόνης. Για να γίνει αυτό, όμως, θα πρέπει πρώτα να καθοριστούν τα πλαίσια των οθονών αυτών, δηλαδή οι διαστάσεις τους και η τοποθέτησή τους στον χώρο. Αυτό γίνεται από το Screens/Frames, στο οποίο φαίνονται με ακρίβεια pixel οι διαστάσεις κάθε διαθέσιμου πλαισίου και η θέση τους (εικόνα 2.42). Τα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία screen είναι δύο ειδών. Τα vector elements των οποίων η όψη μένει η ίδια όταν τρέχει το SCADA και τα dynamic elements των οποίων η όψη αλλάζει (συνήθως) αναλόγως της κατάστασης κάποιας μεταβλητής κατά τη λειτουργία του SCADA. Από το Screens/Font lists μπορούν να καθορισθούν οι γραμματοσειρές που επιθυμεί ο χρήστης να είναι διαθέσιμες προς χρήση για οποιοδήποτε κείμενο προστεθεί σε κάποια από τις screens του (εικόνα 2.43). Το Screens/Project Symbol Library φιλοξενεί διάφορα σύμβολα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη σχεδίαση των screens (εικόνα 2.44).

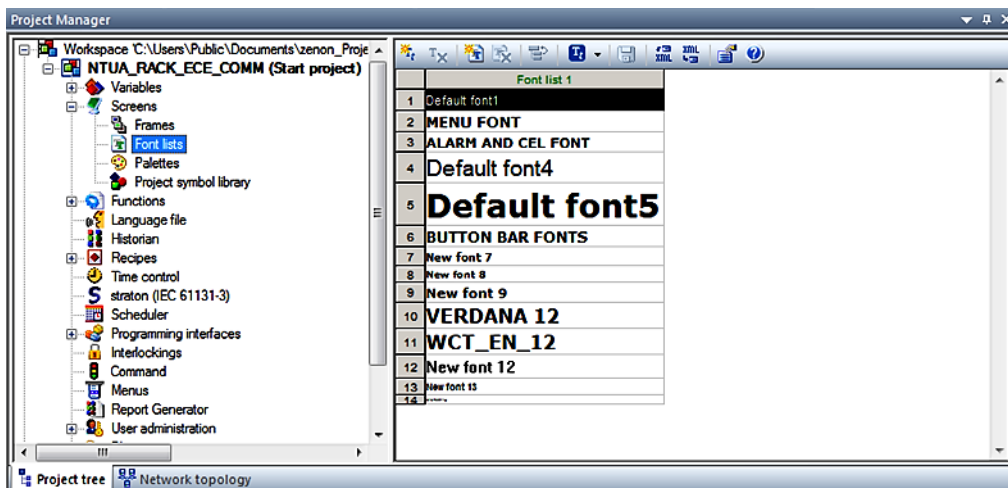




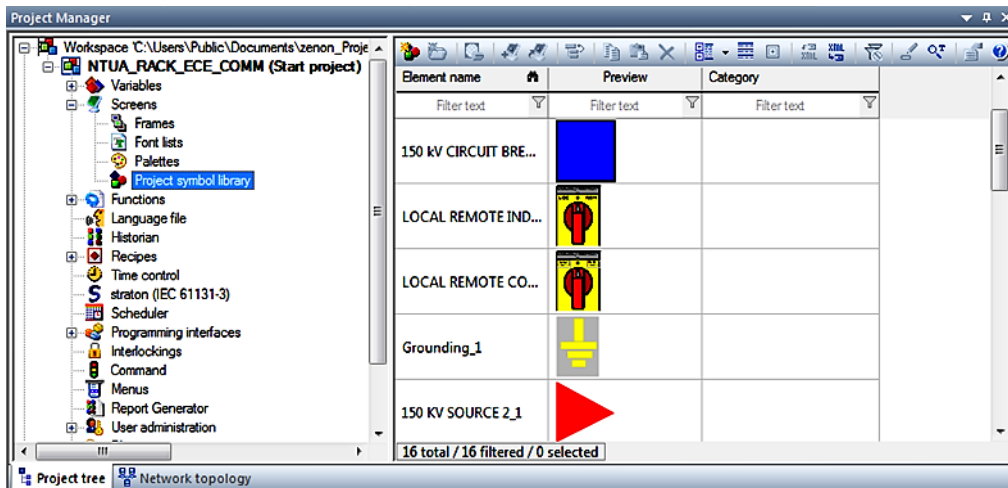
Εικόνα 2.41: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens



Εικόνα 2.42: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens/Frames

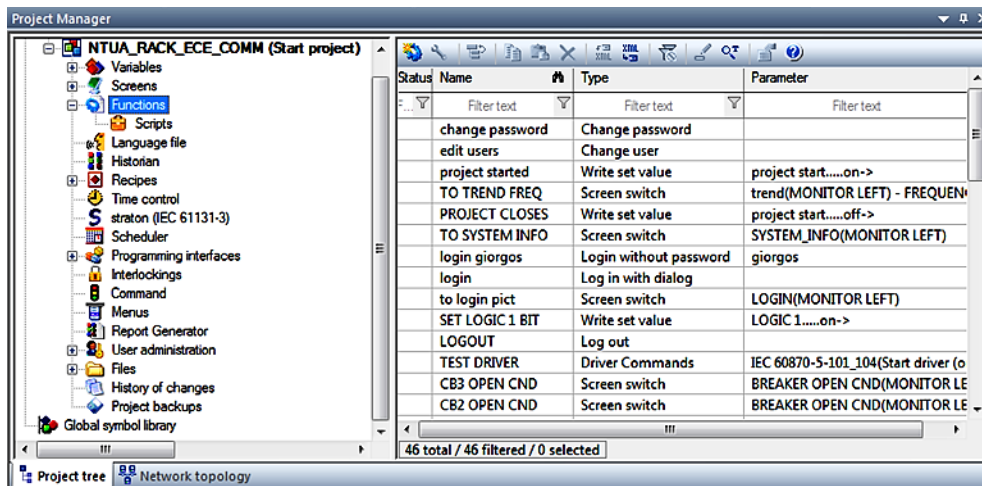


Εικόνα 2.43: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens/Font lists



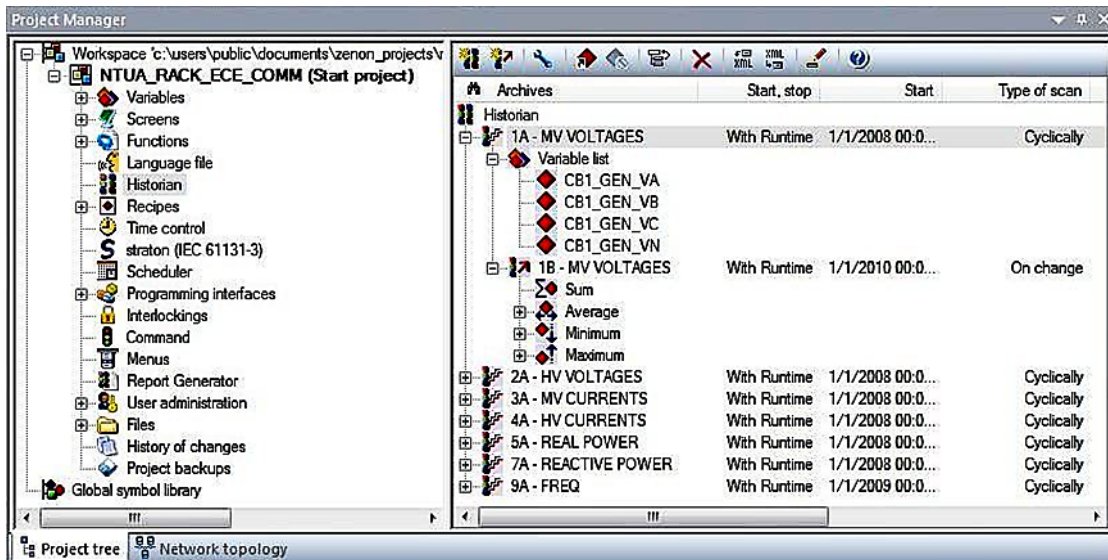
Εικόνα 2.44: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens/Project symbol library

Στο επίπεδο Functions του project (εικόνα 2.45) δημιουργούνται συναρτήσεις που εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία και οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούνται στο SCADA σε συνδυασμό με τα buttons του ώστε π.χ. να μεταβαίνει κάποιος από μία screen σε μία άλλη ή να τερματίζει το SCADA κ.α.



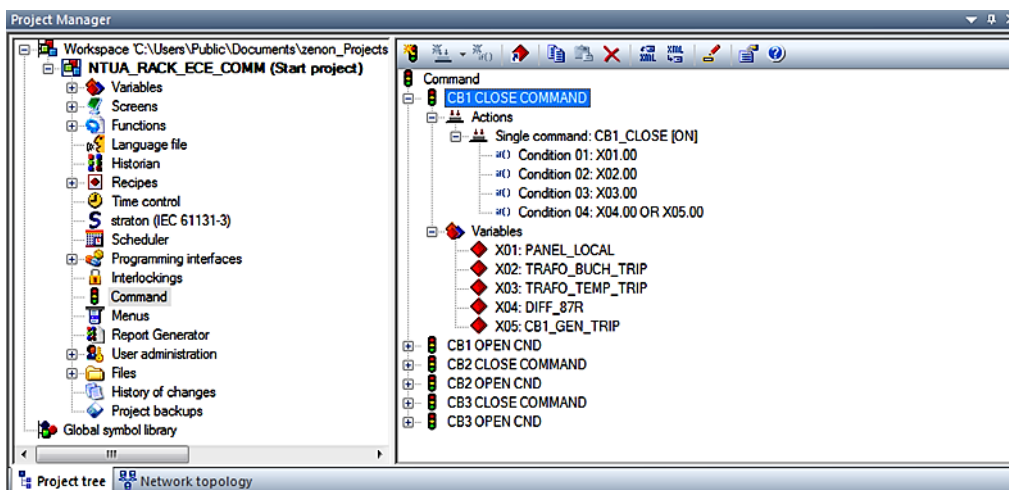
Εικόνα 2.45: Επίπεδο ρυθμίσεων Functions

Το επίπεδο Historian ενός project (εικόνα 2.46) χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλει ο χρήστης να κρατήσει ιστορικά δεδομένα κάποιων μεγεθών για να υπολογίζει π.χ. την μέση ή και την μέγιστη τιμή τους. Πρόκειται, δηλαδή, για το εργαλείο μέσω του οποίου μπορεί να δημιουργήσει ένα αρχείο καταγραφής των μεγεθών που τον ενδιαφέρουν, τα οποία στην περίπτωση μας είναι τα ρεύματα, οι τάσεις, η ενεργός και άεργος ισχύς καθώς και η συχνότητα.



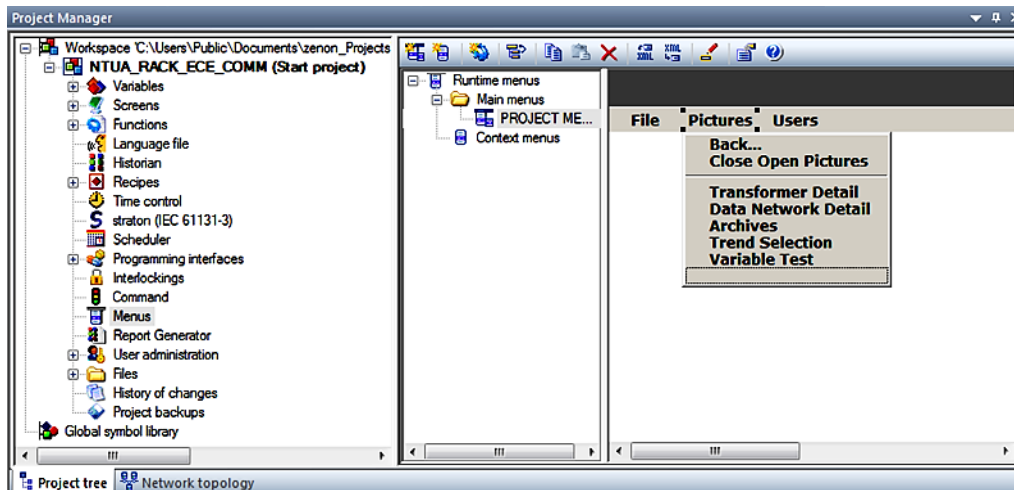
Εικόνα 2.46: Επίπεδο ρυθμίσεων Historian

Στο επίπεδο Command του project (εικόνα 2.47) ορίζονται οι συνθήκες που θα πρέπει να πληρούνται ώστε να έχει τη δυνατότητα ο χρήστης να δώσει κάποιες συγκεκριμένες εντολές μέσω του SCADA. Στην περίπτωση μας, το πεδίο αυτό φιλοξενεί τις συνθήκες των εντολών ανοίγματος και κλεισίματος των διακοπών ισχύος, διότι π.χ. δεν θα πρέπει να μπορεί να γίνει άνοιγμα ή κλείσιμο κάποιου διακόπτη αν έχουμε θέσει τον χειρισμό του panel στο LOCAL.



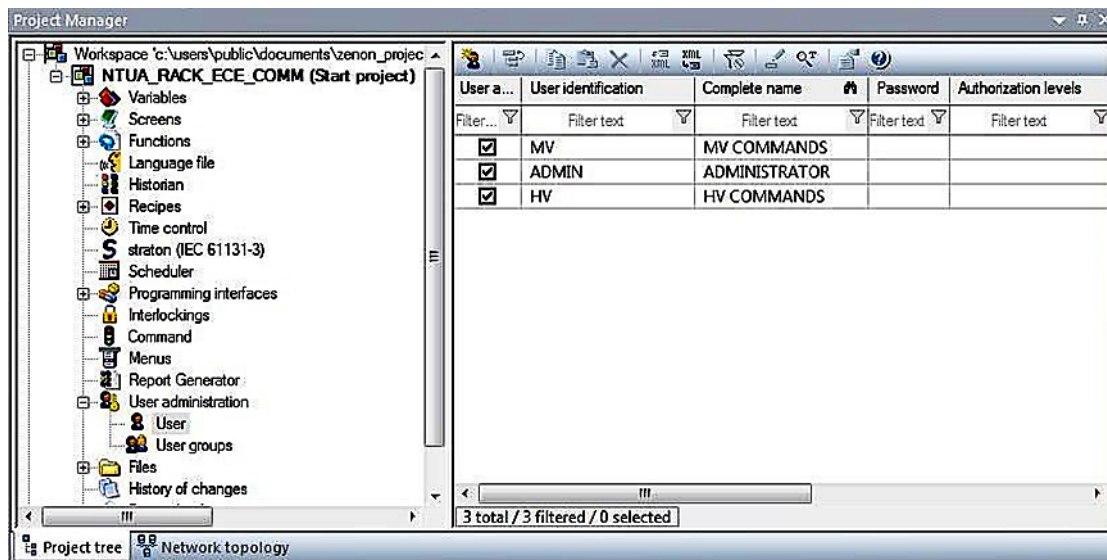
Εικόνα 2.47: Επίπεδο ρυθμίσεων Command

Για να δημιουργηθούν τα μενού που εμφανίζονται σε όλα τα προγράμματα Windows πάνω αριστερά στην οθόνη (File, Pictures, Users στην οθόνη του SCADA), χρησιμοποιείται το επίπεδο Menus του project (εικόνα 2.48). Στην δική μας περίπτωση έχουν φτιαχτεί 3 dropdown menus τα οποία τοποθετούνται αυτόματα από το πρόγραμμα πάνω αριστερά στην οθόνη.



Εικόνα 2.48: Επίπεδο ρυθμίσεων Menus

Επειδή σε ένα SCADA δεν είναι επιθυμητό να μπορεί ο οποιοσδήποτε να εκτελεί εντολές και λοιπές, ύψιστης σημασίας, λειτουργίες ανεμπόδιστα, απαιτείται η δημιουργία λογαριασμών χρηστών από το επίπεδο ρυθμίσεων Users του project (εικόνα 2.49), οι οποίοι έχουν γενικά διαφορετικά δικαιώματα π.χ. στην δική μας περίπτωση ο χρήστης HV δεν μπορεί να δώσει εντολή κλεισίματος/ανοίγματος του διακόπτη ισχύος της μέσης τάσης.

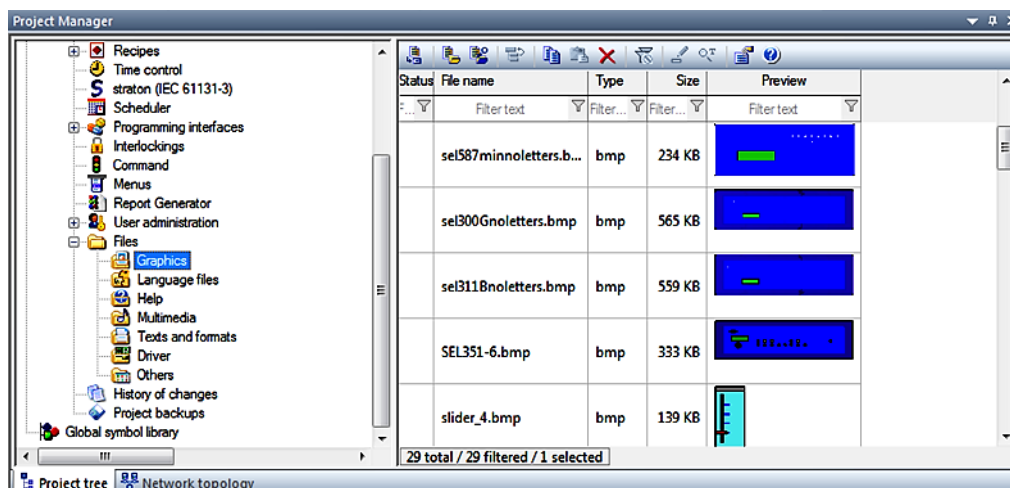


Εικόνα 2.49: Επίπεδο ρυθμίσεων Users

Οι λογαριασμοί χρηστών που δημιουργήσαμε στο εργαστηριακό σύστημα συνοψίζονται ως εξής:

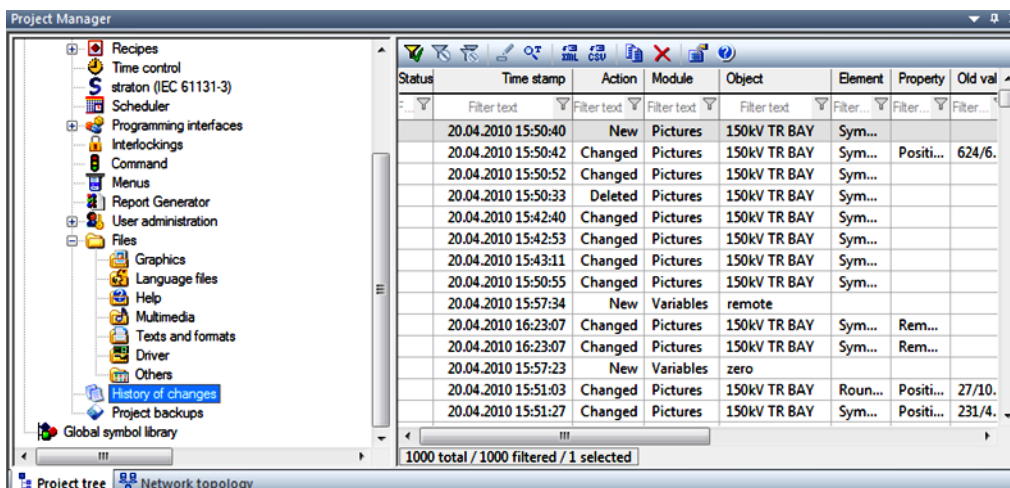
User Identification	Password	Δικαιοδοσία επί των Δ/Ι
ADMIN	123456	Χειρίζεται όλους τους Δ/Ι
HV	123456	Χειρίζεται μόνο τους CB2, CB3
MV	123456	Χειρίζεται μόνο το CB1

Στο επίπεδο Files του project (εικόνα 2.50), ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει διάφορα αρχεία όπως π.χ. τις εικόνες των relays για να τις χρησιμοποιήσει στις screens του SCADA καθώς και άλλα βοηθητικά αρχεία.



Εικόνα 2.50: Επίπεδο ρυθμίσεων Files

Κλείνοντας τη σύντομη περιγραφή του Zenon Editor, αναφέρουμε ότι το επίπεδο History of changes του project (εικόνα 2.51) βοηθά στο να καταγράφεται η πορεία ανάπτυξης του SCADA κατά την υλοποίησή του, για καλύτερη οργάνωση και εποπτεία.



Εικόνα 2.51: Επίπεδο History of changes

### 2.3.3 SEL-311B: Ψηφιακός ηλεκτρονόμος προστασίας γραμμών μεταφοράς

#### 2.3.3.1 Εισαγωγή

Ο ηλεκτρονόμος SEL-311B χρησιμοποιείται σε σχήματα προστασίας γραμμών μεταφοράς, λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που διαθέτει. Είναι εμπλουτισμένος με στοιχεία που προσφέρουν πλήρη προστασία απόστασης, καθώς και με επιπλέον στοιχεία προστασίας και αυτοματισμού, τα οποία διευρύνουν το εύρος εφαρμογών του. Στο εργαστηριακό σύστημα προστασίας που εξετάζουμε, ο ηλεκτρονόμος SEL-311B επιτηρεί και προστατεύει τη γραμμή μεταφοράς που αναχωρεί από το ζυγό YT της μονάδας παραγωγής.

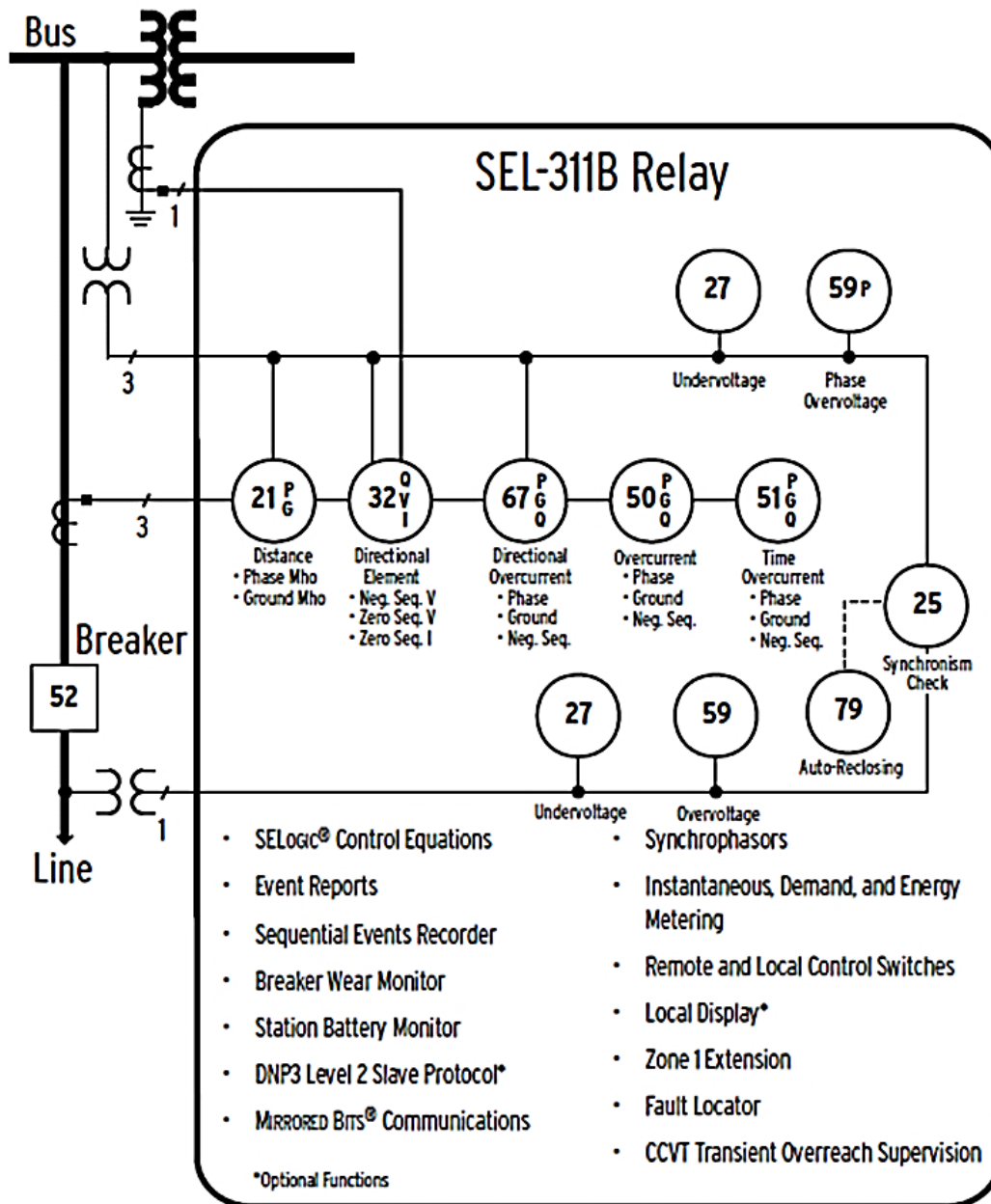
Δέχεται στις αναλογικές εισόδους του, τα ρεύματα και τις τάσεις των φάσεων της γραμμής μεταφοράς και στη συνέχεια υπολογίζει τις συναρτήσεις των στοιχείων προστασίας που διαθέτει. Επιπρόσθετα, διαθέτει 6 εισόδους λογικών σημάτων (optoisolated inputs), 7 επαφές λογικών εξόδων (output contacts), και μία επαφή σήμανσης (alarm contact), για τα σχήματα ελέγχου που θέλει να υλοποιήσει ο χρήστης.

Διαθέτει τρεις σειριακές θύρες τύπου EIA-232 (1 πρόσθια και 2 στην οπίσθια πλευρά του ηλεκτρονόμου) και μία σειριακή θύρα τύπου EIA-485, για επικοινωνία με άλλες συσκευές, όπως για παράδειγμα υπολογιστές ή ηλεκτρονόμους.

Ο συγκεκριμένος ηλεκτρονόμος προσφέρει και επιπρόσθετες δυνατότητες στο χρήστη (εκτός από τα στοιχεία προστασίας και ορισμένες κοινές λειτουργίες στους περισσότερους ηλεκτρονόμους), μετατρέποντάς τον από απλό ηλεκτρονόμο προστασίας, σε ολοκληρωμένο σύστημα προστασίας και αυτοματισμού. Ορισμένες από τις επιπλέον δυνατότητές του είναι οι ακόλουθες.

- **Συγχρονισμένη μονάδα μέτρησης (Synchrophasor):** ο ηλεκτρονόμος διαθέτει δυνατότητα λειτουργίας ως μονάδα μέτρησης φασιθετών τάσης και ρεύματος.
- **Μονάδα ελέγχου αυτόματης επαναφοράς διακοπών (Auto-reclosing control):** ο SEL-311B έχει τη δυνατότητα να δίνει εντολή για κλείσιμο του αντίστοιχου διακόπτη ισχύος, έπειτα από σφάλμα και εφόσον επικρατούν οι κατάλληλες ηλεκτρικές συνθήκες στη γραμμή μεταφοράς που πρόκειται να επαναηλεκτριστεί.
- **Εντοπισμός θέσης σφάλματος (Fault locator):** ο ηλεκτρονόμος περιέχει αλγόριθμο εντοπισμού της θέσης σφάλματος, με σκοπό την ταχεία απομόνωση της πληγείσας περιοχής και την έγκαιρη επίλυση του προβλήματος.
- **Ψηφιακή επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονόμων (Relay-to-relay digital communication):** είναι δυνατή η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονόμων απομακρυσμένων σημείων στο σύστημα, μέσω ειδικής τεχνολογίας που διαθέτει ο ηλεκτρονόμος SEL-311B (Mirrored Bits technology). Η τεχνολογία αυτή δημιουργεί επιπλέον 8 εισόδους (received Mirrored Bits) και 8 εξόδους (transmitted Mirrored Bits) σε κάθε σειριακή θύρα που χρησιμοποιείται για αυτό το είδος επικοινωνίας, προσδίδοντας καλύτερη συνεργασία στους ηλεκτρονόμους του συστήματος και ταχύτερη μεταφορά πληροφοριών.

Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζονται συγκεντρωμένες οι δυνατότητες του ηλεκτρονόμου και ο τρόπος σύνδεσής του στο σύστημα.



Σχήμα 2.3: Λειτουργίες ηλεκτρονόμου SEL-311B [33]

### 2.3.3.2 Ακριβές μοντέλο του ηλεκτρονόμου

Το μοντέλο του ηλεκτρονόμου SEL-311B που έχει το εργαστηριακό σύστημα προστασίας έχει την ακόλουθη έκδοση υλικολογισμικού (firmware):

**FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703**  
**CID=3C2F**

Για τους ηλεκτρονόμους με το συγκεκριμένο υλικολογισμικό ισχύουν οι ειδικές προδιαγραφές, που έχουμε συγκεντρώσει στον πίνακα 2.1. Οι προδιαγραφές αυτές εξαρτώνται από το part number της συγκεκριμένης συσκευής, το οποίο είναι:

**part number = 0311B00H24252XX**

<b>Firmware</b>	Standard
<b>Chassis</b>	2U
<b>Mounting</b>	Horizontal Rack Mount
<b>User Interface</b>	LCD & Targets
<b>Power Supply</b>	125/250 V <sub>dc</sub> ή V <sub>ac</sub>
<b>Secondary Input Voltage</b>	V <sub>a</sub> , V <sub>b</sub> , V <sub>c</sub> , συνδεσμολογία αστέρα (150 V <sub>ac</sub> μέγιστη φασική τάση)
<b>Secondary Input Current</b>	5 A για φασικό ρεύμα και ρεύμα πόλωσης
<b>Control Input Voltage</b>	48 V <sub>dc</sub>
<b>Communications Protocol</b>	SEL ASCII, SEL Compressed ASCII, SEL Distributed Port Switch (LMD), SEL Fast Meter with Configuration, Fast Operate, Fast SER, Mirrored Bits Communications

*Πίνακας 2.1: Ειδικές προδιαγραφές του ηλεκτρονόμου SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος*

### 2.3.3.3 Στοιχεία προστασίας του ηλεκτρονόμου (Protection elements)

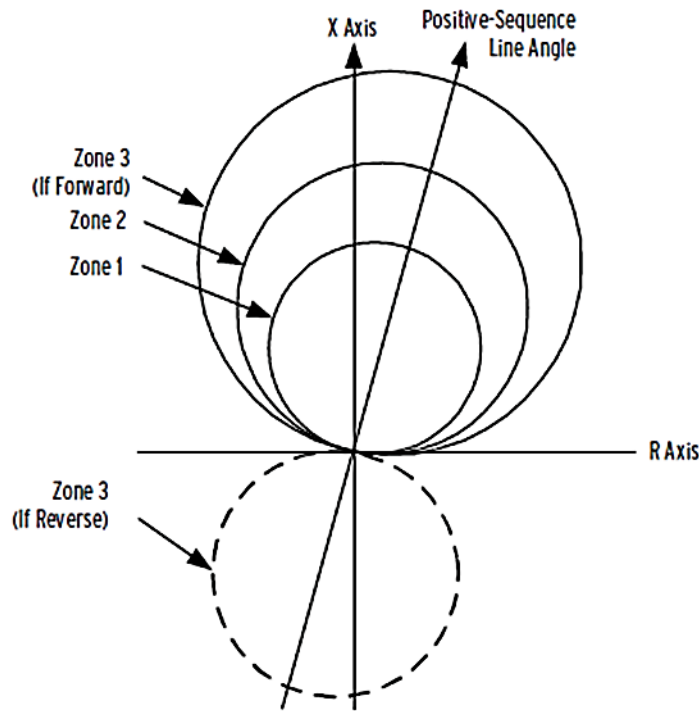
Ο ηλεκτρονόμος SEL-311B διαθέτει έξι ομάδες ρυθμίσεων (setting groups), από τις οποίες μόνο η μία μπορεί να είναι σε ισχύ κάθε στιγμή. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την κάθε ομάδα ρυθμίσεων για ένα συγκεκριμένο σενάριο συνθηκών λειτουργίας και να ρυθμίσει τον ηλεκτρονόμο να μεταβαίνει από μία ομάδα σε άλλη αυτόματα, παρακολουθώντας τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας, που μπορούν να μεταβάλλονται (π.χ. προσθήκη ή αφαίρεση μονάδων παραγωγής από το σύστημα, προσθήκη παράλληλης γραμμής μεταφοράς σε ήδη υπάρχουσα, απόρριψη φορτίων κτλ.)

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των στοιχείων προστασίας που διαθέτει ο ηλεκτρονόμος SEL-311B.

- **Στοιχεία απόστασης 21 (Distance elements)**

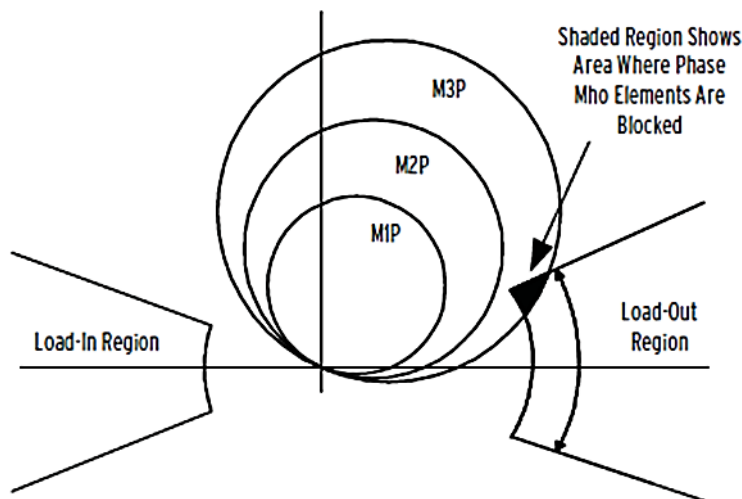
Ο SEL-311B χρησιμοποιεί στοιχεία απόστασης με χαρακτηριστική τύπου mho ή offset mho, για προστασία έναντι σφαλμάτων φάσης και γης. Τα στοιχεία αυτά έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης μέχρι τριών ζωνών προστασίας, εκ των οποίων οι δύο είναι ευθείας φοράς και η τρίτη είτε ευθείας είτε αντίστροφης φοράς, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4.





Σχήμα 2.4: Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείων απόστασης του SEL-311B [33]

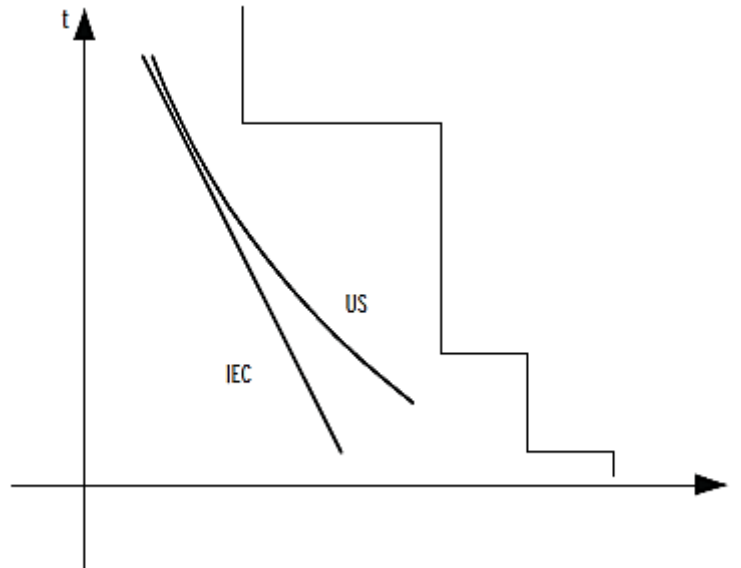
Τα στοιχεία του ηλεκτρονόμου διαθέτουν και τη δυνατότητα ρύθμισης αποκλεισμού περιοχής της χαρακτηριστικής λειτουργίας, όπου μπορεί να βρεθεί το διάνυσμα του φορτίου (load encroachment). Η ικανότητα αυτή του ηλεκτρονόμου αποτρέπει τη λειτουργία του υπό συνθήκες υψηλής φόρτισης και απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.5: Απεικόνιση της χαρακτηριστικής λειτουργίας του ηλεκτρονόμου, με ενεργοποιημένη την παράμετρο load encroachment [33]

- **Στοιχεία υπερέντασης 50, 51 (Overcurrent elements)**

Ο συγκεκριμένος ηλεκτρονόμος διαθέτει τρία στοιχεία υπερέντασης φάσης, τρία αρνητικής ακολουθίας και τρία στοιχεία υπερέντασης γης, στιγμιαίου χρόνου, με δυνατότητα ρύθμισης για λειτουργία σταθερού χρόνου. Επίσης, διαθέτει ένα στοιχείο υπερέντασης φάσης, ένα αρνητικής ακολουθίας και ένα στοιχείο υπερέντασης γης, αντιστρόφου χρόνου.



**Σχήμα 2.6:** Χαρακτηριστικές καμπύλες στοιχείων υπερέντασης στιγμιαίας λειτουργίας, σταθερού χρόνου και αντιστρόφου χρόνου, που χρησιμοποιεί ο SEL-311B [33]

- **Στοιχεία υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης 67 (Directional overcurrent elements):**

Τα στοιχεία υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης χρησιμοποιούνται για την επίβλεψη των στοιχείων απόστασης και υπερέντασης, λόγω της αυξημένης ευαισθησίας που διαθέτουν. Επίσης, είναι απαραίτητη η εφαρμογή τους σε σχήματα προστασίας, όπου επικοινωνούν ηλεκτρονόμοι διάσπαρτοι στο σύστημα, για την ανίχνευση σφαλμάτων υψηλής αντίστασης. Ο ηλεκτρονόμος SEL-311B διαθέτει τρία στοιχεία υπερέντασης-κατεύθυνσης φάσης, τρία αρνητικής ακολουθίας και τρία στοιχεία γης. Τα στοιχεία υπερέντασης-κατεύθυνσης γης μπορούν να χρησιμοποιήσουν τρία διαφορετικά ηλεκτρικά μεγέθη για την πόλωσή τους, τα οποία είναι:

- η τάση αρνητικής ακολουθίας (Negative-sequence voltage-polarized),
- η τάσης μηδενικής ακολουθίας (Zero-sequence voltage-polarized),
- το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας (Zero-sequence current-polarized).

- **Στοιχεία υπότασης 27 (Undervoltage elements) / Στοιχεία υπέρτασης 59 (Overvoltage elements)**

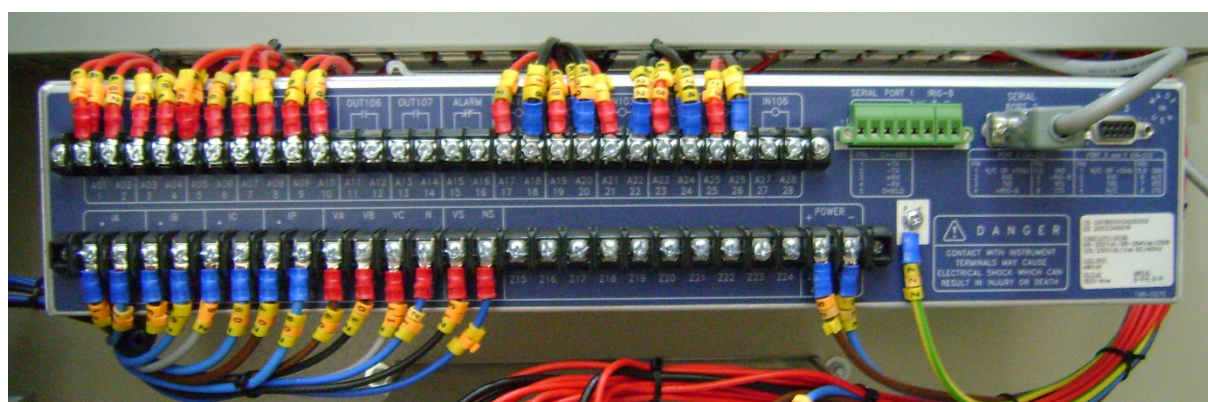
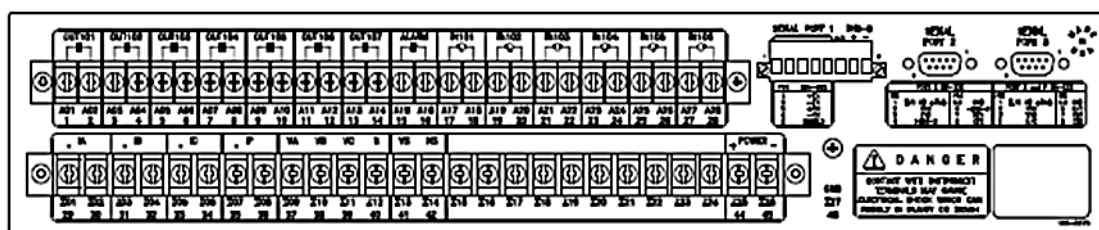
Ο SEL-311B διαθέτει στοιχεία υπότασης και υπέρτασης, με σκοπό τη δημιουργία ολοκληρωμένων σχημάτων προστασίας, τα οποία θα προστατεύουν το μέρος του συστήματος, που επιτηρούν, από ανεπιθύμητες συνθήκες λειτουργίας, όπως υπερφορτισμένες γραμμές μεταφοράς ή ζυγοί, καμένες ασφάλειες στην πλευρά ΥΤ των μετασχηματιστών κτλ.

#### 2.3.3.4 Σχέδια όψεων ηλεκτρονόμου

Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται η πρόσθια και η οπίσθια όψη του ηλεκτρονόμου SEL-311B. Στο παράρτημα Β, υπάρχει το σχέδιο συνδέσεων του ηλεκτρονόμου με τις επιμέρους συνιστώσες του συστήματος, με σκοπό την πλήρη κατανόηση του αναγνώστη, όσον αφορά τη λειτουργία και το ρόλο του ηλεκτρονόμου στο εργαστηριακό σύστημα προστασίας.



Εικόνα 2.52: Πρόσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-311B



Εικόνα 2.53: Οπίσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-311B

### 2.3.4 SEL-587: Ψηφιακός ηλεκτρονόμος διαφορικής προστασίας – προστασίας υπερέντασης

#### 2.3.4.1 Εισαγωγή

Ο SEL-587 είναι ένας ψηφιακός ηλεκτρονόμος που παρέχει διαφορική προστασία και προστασία υπερέντασης. Στο εργαστηριακό σύστημα χρησιμοποιείται για την προστασία και την επιτήρηση του μετασχηματιστή ανύψωσης της μονάδας παραγωγής.

Ο συγκεκριμένος ηλεκτρονόμος χρησιμοποιείται για την προστασία μετασχηματιστών ισχύος δύο τυλιγμάτων, πηνίων, ζυγών, γεννητριών, ηλεκτρικών μηχανών μεγάλης ισχύος κτλ. (two terminal power apparatus).

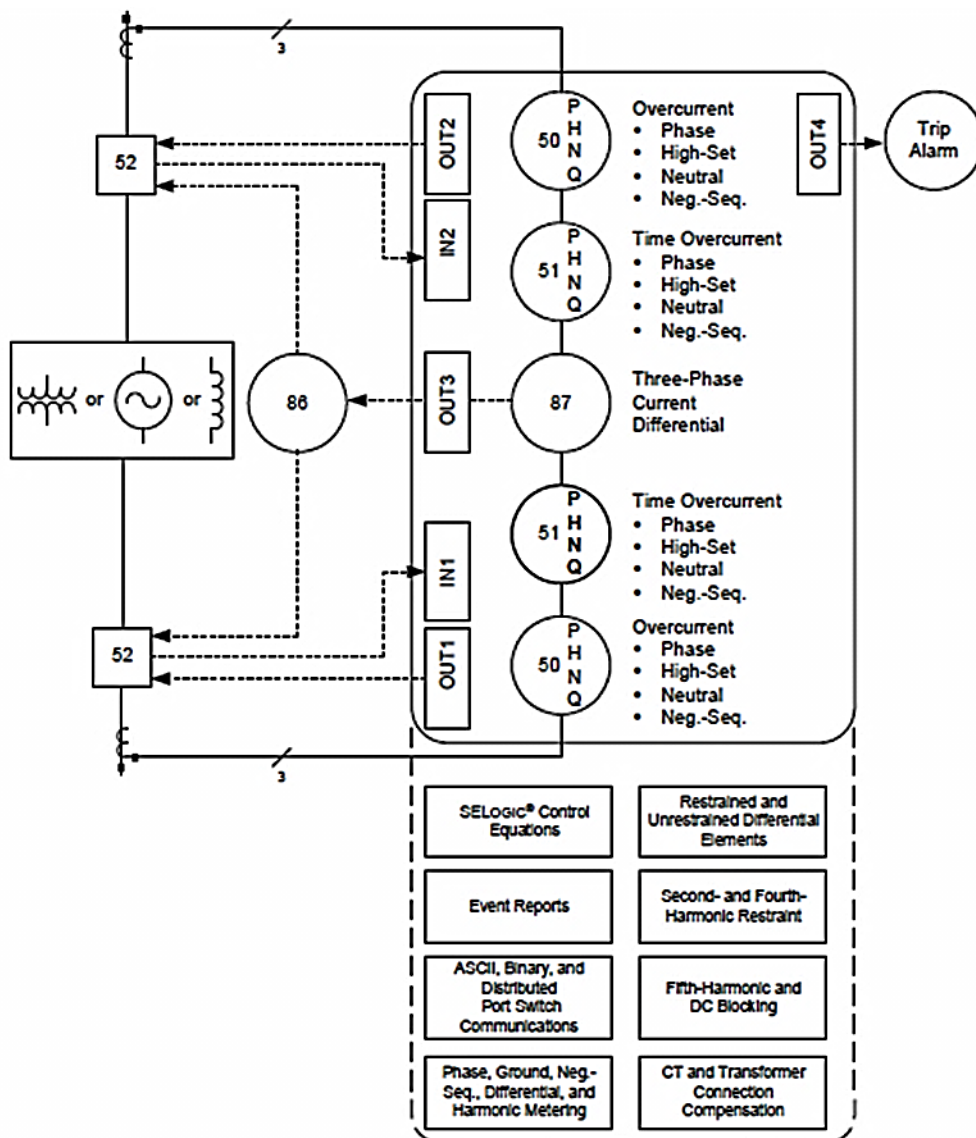
Διαθέτει 6 αναλογικές εισόδους, 3 (μία για κάθε φάση) σε κάθε άκρο του εξοπλισμού που επιθυμούμε να προστατεύσουμε, στις οποίες εισρέουν τα φασικά ρεύματα του εξοπλισμού,

υποβιβασμένα από τους μετασχηματιστές έντασης. Επιπλέον, είναι εφοδιασμένος με 2 εισόδους λογικών σημάτων (optoisolated inputs), 4 προγραμματιζόμενες επαφές λογικών εξόδων (output contacts) και 1 επαφή σήμανσης (alarm), για τα σχήματα ελέγχου του ηλεκτρονόμου, που θέλει να υλοποιήσει ο μελετητής.

Μετράει τα ρεύματα που εμφανίζονται στα άκρα του εξοπλισμού που επιτηρούμε και εξάγει τη 2<sup>η</sup>, τη 4<sup>η</sup> και τη 5<sup>η</sup> αρμονική τους, καθώς και τη dc συνιστώσα τους. Με τα δεδομένα αυτά είναι σε θέση να υπολογίσει τις ποσότητες των στοιχείων διαφορικής προστασίας καθώς και των στοιχείων υπερέντασης που διαθέτει και ακολούθως να δώσει την κατάλληλη εντολή π.χ. στους διακόπτες ισχύος που ελέγχει.

Διαθέτει μία σειριακή θύρα τύπου EIA-232C στην οπίσθια πλευρά του, για επικοινωνία με άλλες συσκευές.

Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζει τα στοιχεία και τις δυνατότητες του SEL-587.



Σχήμα 2.7: Παράδειγμα εφαρμογής του SEL-587 και λειτουργίες που διαθέτει [34]

Στο εργαστηριακό σύστημα, ο ηλεκτρονόμος SEL-587 χρησιμοποιείται για την προστασία του μετασχηματιστή ανύψωσης, εντός της μονάδας παραγωγής, όπως προείπαμε. Στο κεφάλαιο 3 που ακολουθεί, αναλύουμε διεξοδικά τον τρόπο ρύθμισης των στοιχείων του SEL-587 και τις λειτουργίες του, συνεπώς στην υποενότητα αυτή θα περιοριστούμε σε μια γενική και συνοπτική περιγραφή των ειδών προστασίας που παρέχει ο ηλεκτρονόμος.

2.3.4.2 Ακριβές μοντέλο του ηλεκτρονόμου

Το μοντέλο του ηλεκτρονόμου SEL-587 που έχει το εργαστηριακό σύστημα προστασίας έχει την ακόλουθη έκδοση υλικολογισμικού (firmware):

**FID=SEL-587-1-R703-V1b-Z001001-D20061005**  
**CID=ED1C**

Για το συγκεκριμένο μοντέλο ισχύουν οι ειδικές προδιαγραφές, που έχουμε συγκεντρώσει στον πίνακα 2.2. Οι προδιαγραφές αυτές εξαρτώνται από το part number της συγκεκριμένης συσκευής, το οποίο είναι:

**part number = 05871062131**

<b>Firmware</b>	Standard με τις εξής επιπρόσθετες δυνατότητες: Harmonic restraint, Trip unlatch, Zero-sequence removal
<b>Connection Type; Conformal Coat</b>	Terminal block; όχι
<b>Power Supply; Control Input Voltage</b>	125/250 V <sub>dc</sub> ή V <sub>ac</sub> ; 250 V <sub>dc</sub> <sup>(1)</sup>
<b>Communications protocol</b>	Standard και Modbus
<b>Secondary Input Current (phase and neutral)</b>	1 A
<b>Packaging</b>	Horizontal Panel Mount
<b>Communications Port</b>	EIA-232
<sup>(1)</sup> Η τάση για το κύκλωμα ελέγχου των εισόδων μπορεί να μεταβληθεί (jumpers) και να πάρει μία εκ των τιμών 24, 48, 125, 250 V <sub>dc</sub> .	

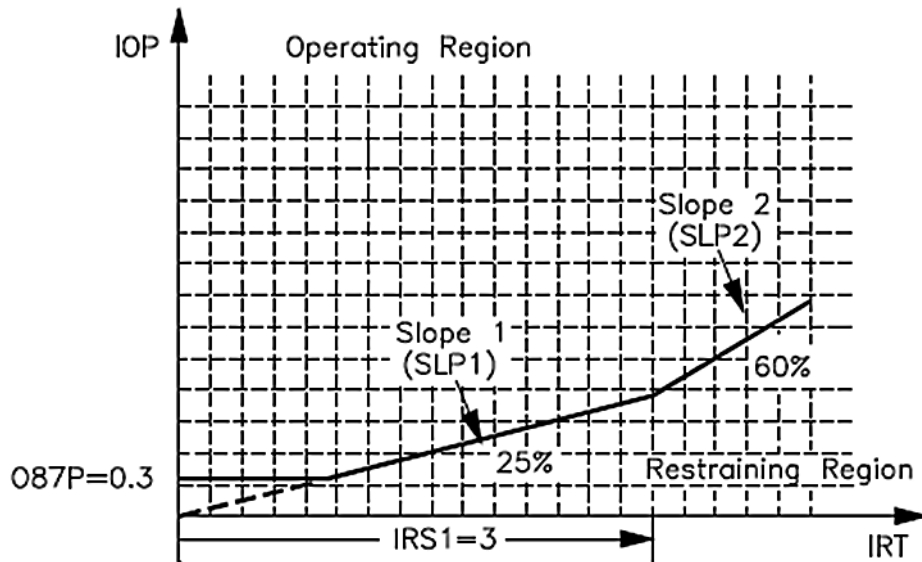
**Πίνακας 2.2:** Ειδικές προδιαγραφές του ηλεκτρονόμου SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος

2.3.4.3 Στοιχεία προστασίας του ηλεκτρονόμου

- **Διαφορική προστασία 87**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 περιέχει τρία στοιχεία διαφορικής προστασίας, ένα για κάθε φάση (τριφασική διαφορική προστασία 87), που το καθένα διαθέτει δύο επιμέρους στοιχεία, ένα με λειτουργία αναστολής (restrained element 87R) κι ένα χωρίς λειτουργία αναστολής (unrestrained element 87U).

Το στοιχείο διαφορικής προστασίας αναστολής έχει χαρακτηριστική απλής ή διπλής κλίσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8. Η δεύτερη κλίση είναι προαιρετική και χρησιμεύει στην αποφυγή ανεπιθύμητης λειτουργίας της διαφορικής προστασίας, π.χ. λόγω του κορεσμού που μπορεί να παρατηρηθεί στους μετασχηματιστές έντασης, κατά τη διάρκεια μεγάλων εξωτερικών σφαλμάτων.

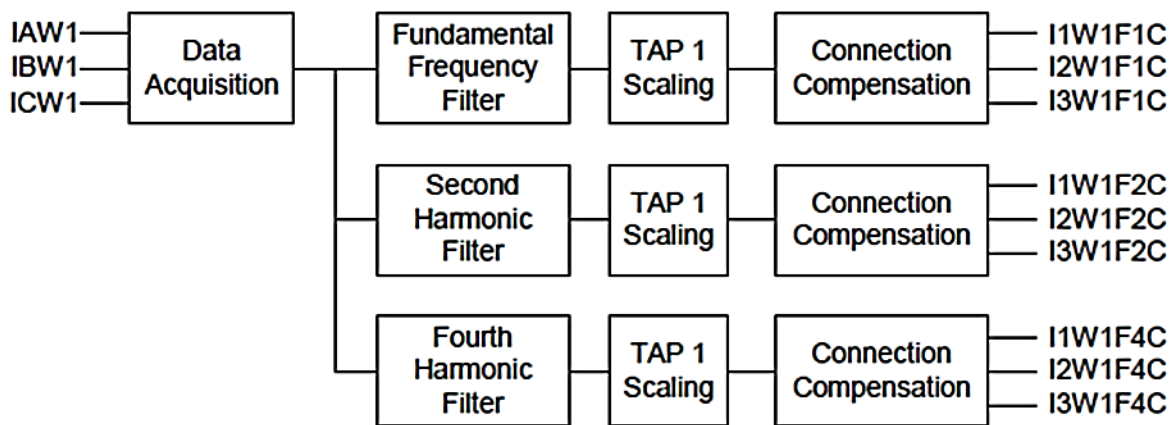


Σχήμα 2.8: Χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικού στοιχείου αναστολής, με διπλή κλίση [34]

Σε εφαρμογές που το απαιτούν, μπορούμε να ορίσουμε συναρτήσεις παρεμπόδισης λειτουργίας (blocking functions), οι οποίες χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονόμο για να διακρίνει αν το διαφορικό ρεύμα που μετράει, προέρχεται από εσωτερικό σφάλμα ή από υπερβολική ροή στο μαγνητικό κύκλωμα του εξοπλισμού, λόγω μεταβατικών φαινομένων (π.χ. ρεύμα ζεύξης κατά τη σύνδεση μετασχηματιστή στο σύστημα).

Το διαφορικό στοιχείο χωρίς λειτουργία αναστολής χρησιμοποιείται, διότι παρέχει ταχύτατη εκκαθάριση εσωτερικών σφαλμάτων, πολύ μεγάλης τιμής.

Στο σχήμα 2.9 απεικονίζεται ο τρόπος που ο ηλεκτρονόμος SEL-587 δειγματοληπτεί, φιλτράρει και αντισταθμίζει τα ρεύματα εισόδου. Επίσης, χρησιμοποιεί ψηφιακό ζωνοπερατό φίλτρο 5<sup>ης</sup> αρμονικής, για τη μέτρηση των αρμονικών 5<sup>ης</sup> τάξης στα εισερχόμενα ρεύματα, καθώς και φίλτρο για τη μέτρηση της dc συνιστώσας τους (δεν απεικονίζονται στο σχήμα).



Σχήμα 2.9: Διαδικασία μέτρησης και αντισταθμίσης διαφορικών ρευμάτων τολίγματος 1 [34]

• **Προστασία υπερέντασης 50, 51**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 παρέχει δύο ομάδες στοιχείων υπερέντασης (μία για το κάθε άκρο του εξοπλισμού ή του μέρους του δικτύου που προστατεύουμε), χωρίς στοιχείο κατεύθυνσης. Η κάθε ομάδα στοιχείων περιλαμβάνει:

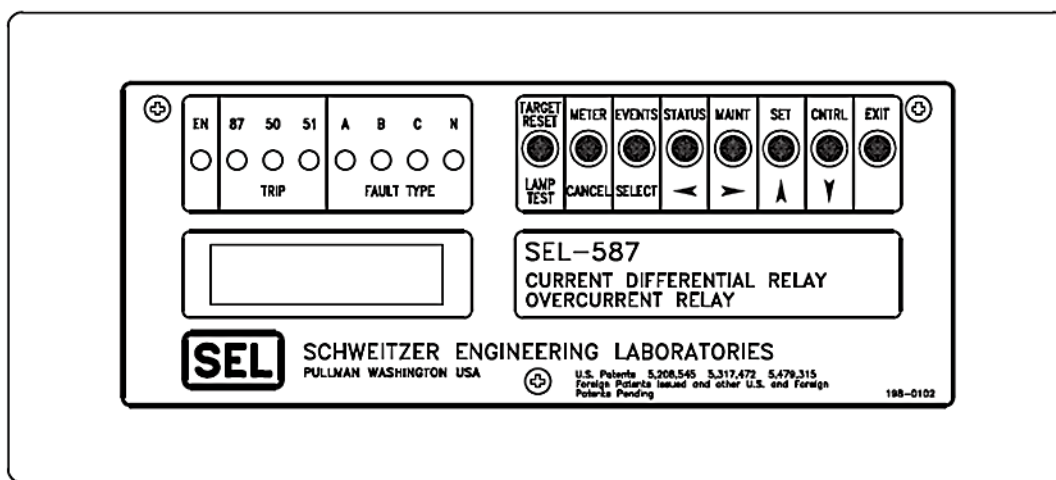
- στιγμιαία στοιχεία υπερέντασης φάσης και ουδετέρου,
- σταθερού χρόνου στοιχεία υπερέντασης φάσης, ουδετέρου και αρνητικής ακολουθίας,

- αντιστρόφου χρόνου στοιχεία υπερέντασης φάσης, ουδετέρου και αρνητικής ακολουθίας.

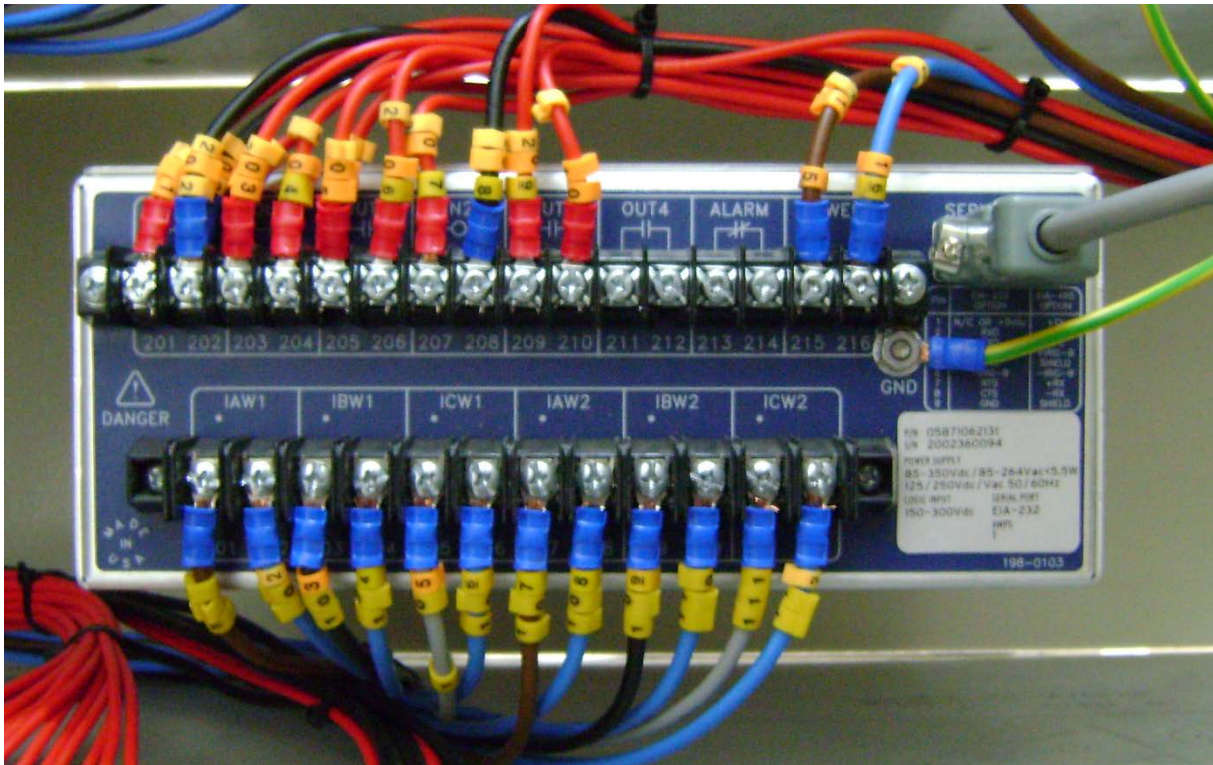
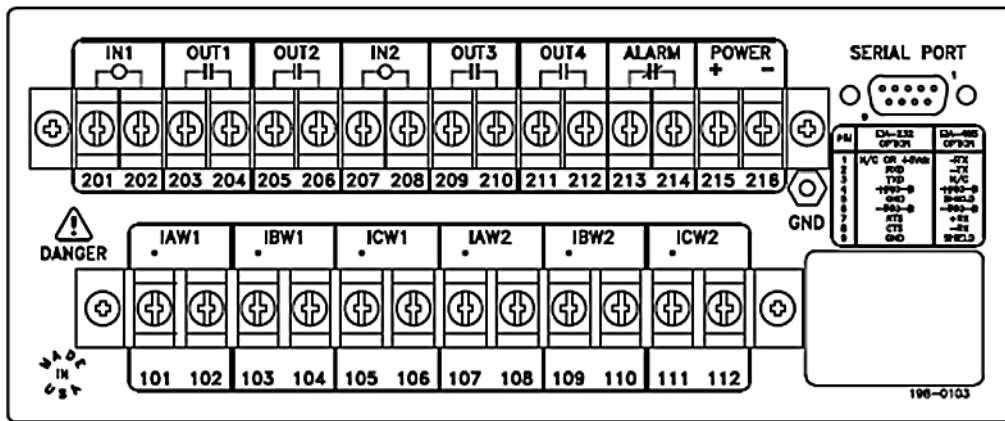
Οι ρυθμίσεις και οι χαρακτηριστικές λειτουργίες των στοιχείων υπερέντασης είναι ανεξάρτητες. Επίσης, αν έχουμε συνδεσμολογία αστέρα στους μετασχηματιστές έντασης που τροφοδοτούν τον ηλεκτρονόμο, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε και τα τρία στοιχεία που αναφέραμε, ενώ σε περίπτωση συνδεσμολογίας τριγώνου, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα στοιχεία ουδετέρου.

#### 2.3.4.4 Σχέδια όψεων ηλεκτρονόμου

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι όψεις του ηλεκτρονόμου SEL-587 (πρόσθια και οπίσθια όψη). Επίσης, στο παράρτημα Β παραθέτουμε το σχέδιο με τις καλωδιώσεις του ηλεκτρονόμου, στην οπίσθια όψη του.



Εικόνα 2.54: Πρόσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-587



Εικόνα 2.55: Οπίσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-587

### 2.3.5 SEL-300G: Ψηφιακός ηλεκτρονόμος προστασίας σύγχρονης γεννήτριας

#### 2.3.5.1 Εισαγωγή

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G χρησιμοποιείται για την προστασία, την εποπτεία και τον έλεγχο σύγχρονων γεννητριών ή κινητήρων. Στο εργαστηριακό σύστημα χρησιμοποιείται για την προστασία της σύγχρονης γεννήτριας της μονάδας παραγωγής.

Δέχεται ως εισόδους 3 φασικές τάσεις, στην περίπτωση που έχουμε συνδεσμολογία αστέρα ή 2 πολικές, στην περίπτωση που έχουμε συνδεσμολογία τριγώνου, στα τυλίγματα της γεννήτριας, καθώς και 3 φασικά ρεύματα (ένα για κάθε φάση), υπολογίζει τις συναρτήσεις των στοιχείων που διαθέτει και δίνει, αναλόγως, την κατάλληλη εντολή μέσω των λογικών εξόδων του (π.χ. κλείσιμο ή άνοιγμα διακόπτη ισχύος, ενεργοποίηση ένδειξης συναγερμού alarm, καταγραφή τιμών για τα ηλεκτρικά μεγέθη της γεννήτριας κ.α.). Τα ηλεκτρικά μεγέθη που δέχεται σαν αναλογικές εισόδους ο ηλεκτρονόμος είναι υποβιβασμένα από μετασχηματιστές έντασης και τάσης. Επιπρόσθετα, διαθέτει 6 εισόδους λογικών σημάτων (optoisolated inputs), 7 επαφές λογικών εξόδων (output contacts), και μία επαφή σήμανσης (alarm contact), για τα σχήματα ελέγχου που θέλει να υλοποιήσει ο μελετητής.

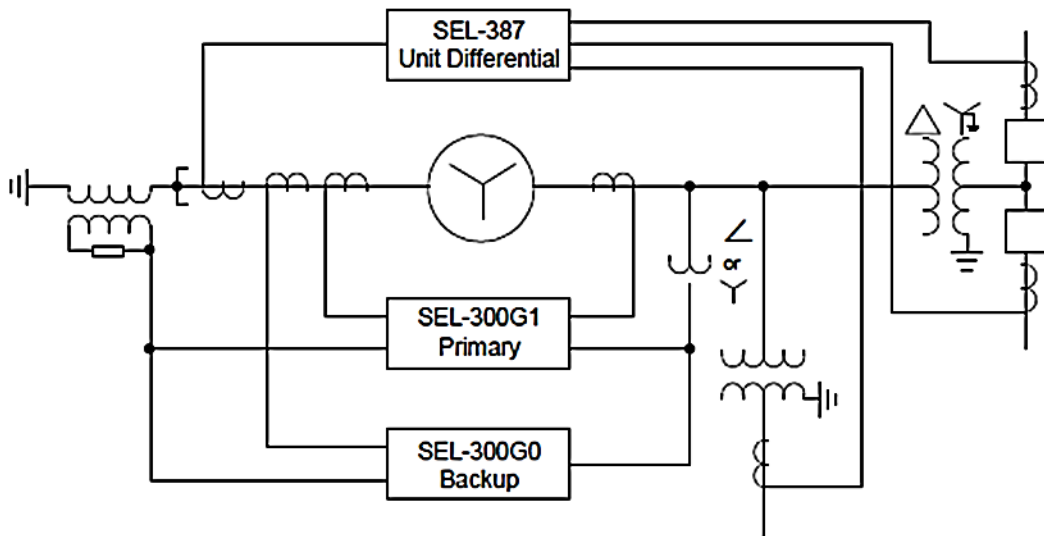


Επίσης, διαθέτει στοιχεία δευτερεύουσας προστασίας (backup protection elements), τα οποία μπορούν να ενεργοποιηθούν ανάλογα την εφαρμογή και τις απαιτήσεις που υπάρχουν.

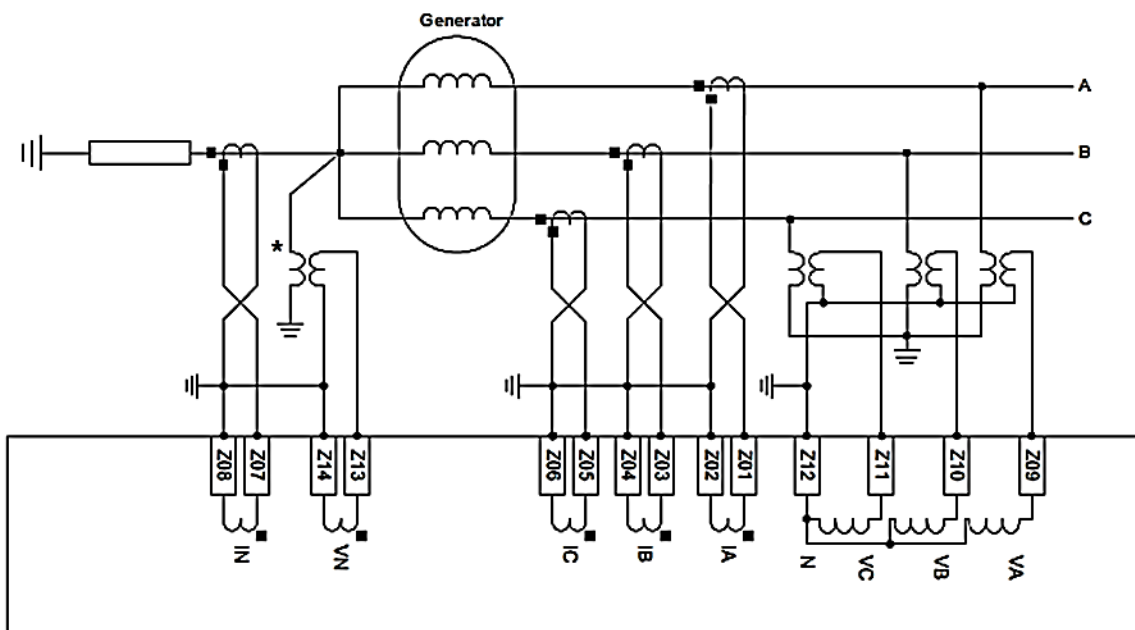
Αξίζει να αναφέρουμε, ότι η χρησιμοποίηση ή μη των στοιχείων προστασίας που διαθέτει ο SEL-300G εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο γείωσης του ουδέτερου κόμβου της γεννήτριας (εφόσον έχουμε συνδεσμολογία αστέρα), γεγονός με το οποίο θα ασχοληθούμε στη συνέχεια της ενότητας.

Διαθέτει τρεις σειριακές θύρες τύπου EIA-232 (1 στην πρόσθια και 2 στην οπίσθια πλευρά του ηλεκτρονόμου) και μία σειριακή θύρα τύπου EIA-485, για επικοινωνία του ηλεκτρονόμου με άλλες συσκευές.

Ακολουθούν ενδεικτικά σχήματα που απεικονίζουν εφαρμογές του SEL-300G για διάφορα είδη σύγχρονων γεννητριών και διαφορετικές απαιτήσεις προστασίας.

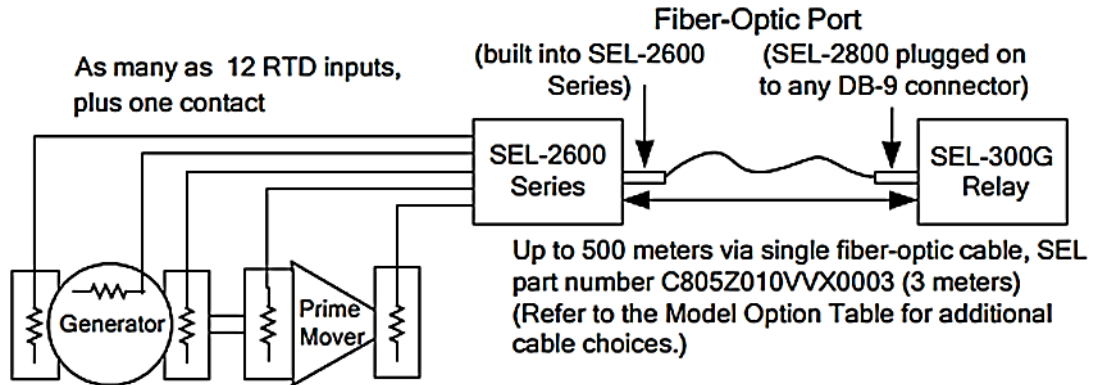


Σχήμα 2.10: Σχήμα πρωτεύουσας και δευτερεύουσας προστασίας μεγάλης γεννήτριας, με χρήση του SEL-300G [35]

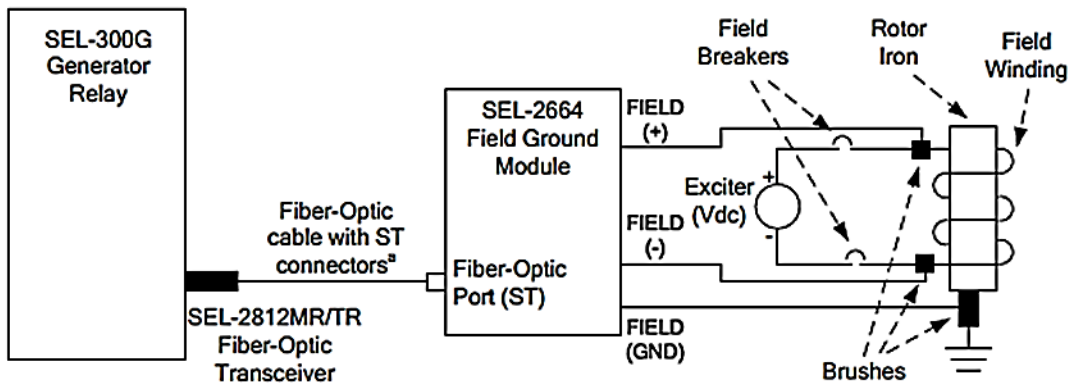


\* Optional VN connection provides 100% Stator Ground Protection

Σχήμα 2.11: Παράδειγμα συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων της γεννήτριας με τις ac εισόδους του SEL-300G [35]



Σχήμα 2.12: Θερμική προστασία γεννήτριας μέσω μονάδας RTD της σειράς SEL-2600 [35]



<sup>a</sup> Refer to the Model Option Table for cable choices.

Σχήμα 2.13: Σχήμα προστασίας γης του κυκλώματος διέγερσης γεννήτριας [35]

### 2.3.5.2 Ακριβές μοντέλο του ηλεκτρονόμου

Το μοντέλο του ηλεκτρονόμου SEL-587 που έχει το εργαστηριακό σύστημα προστασίας έχει την ακόλουθη έκδοση υλικολογισμικού (firmware):

**FID=SEL-300G-R324-V00H421XX52XX-Z301301-D20060731  
CID=E26D**

Για το συγκεκριμένο μοντέλο ισχύουν οι ειδικές προδιαγραφές, που έχουμε συγκεντρώσει στον πίνακα 2.3. Οι προδιαγραφές αυτές εξαρτώνται από το part number της συγκεκριμένης συσκευής, το οποίο είναι:

**part number = 0300G00H421XX52XX**

<b>Firmware</b>	Standard, που σημαίνει ότι δε διαθέτει επιπλέον, στοιχείο διαφορικής προστασίας (differential element 87), στοιχείο ελέγχου συγχρονισμού τάσης γεννήτριας και δικτύου (synch-check element 25) και συμβατότητα με μονάδες της σειράς SEL-2600
<b>I/O board; Chassis; Mounting</b>	δε διαθέτει επιπλέον εισόδους και εξόδους (δηλαδή έχει 6 επαφές εισόδου και 8 επαφές εξόδου); 2U; Horizontal Rack Mount
<b>Power Supply</b>	125/250 V <sub>dc</sub> ή V <sub>ac</sub>
<b>Secondary Input Voltage</b>	V <sub>a</sub> , V <sub>b</sub> , V <sub>c</sub> , για συνδεσμολογία αστέρα V <sub>ab</sub> , V <sub>bc</sub> , για συνδεσμολογία τριγώνου
<b>Secondary Input Current (phase and neutral)</b>	1 A
<b>Control Input Voltage</b>	220 V <sub>dc</sub>
<b>Communications Protocol</b>	Standard και Modbus
<b>Conformal coat</b>	Όχι

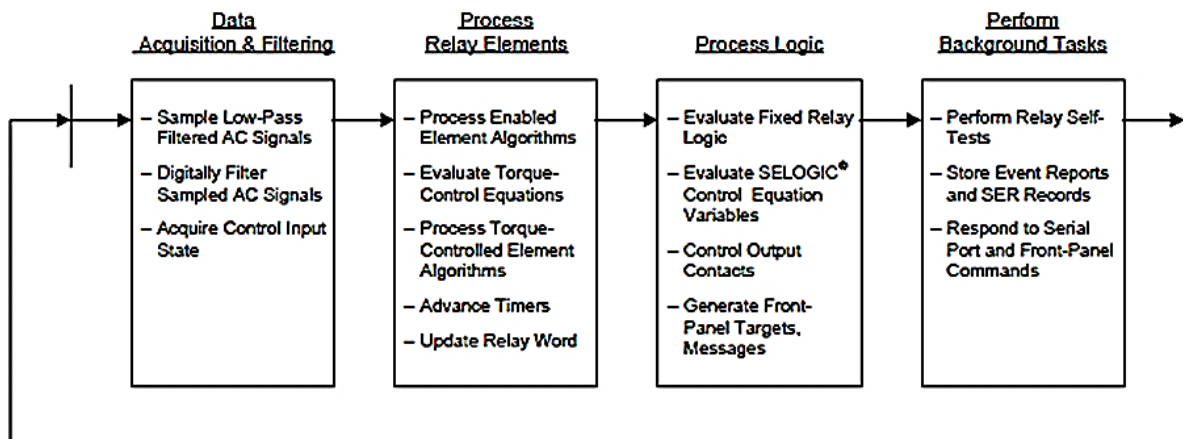
Πίνακας 2.3: Ειδικές προδιαγραφές του ηλεκτρονόμου SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος

### 2.3.5.3 Περίληψη τρόπου λειτουργίας ηλεκτρονόμου

Για να μπορέσει κάποιος να ρυθμίσει τον ηλεκτρονόμο SEL-300G κατάλληλα, είναι χρήσιμο να γνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί. Η διαδικασία που εκτελείται από τον ηλεκτρονόμο, σε γενικές γραμμές, είναι η εξής:

- μετράει τις τάσεις και τα ρεύματα των φάσεων της γεννήτριας (αναλογικές εισοδοι),
- συλλέγει τις εισόδους ελέγχου (λογικές εισοδοι),
- εκτελεί τους αλγόριθμους των στοιχείων προστασίας,
- υπολογίζει τις ενσωματωμένες και ρυθμισμένες λογικές συναρτήσεις,
- οδηγεί τα αποτελέσματα στις επαφές εξόδου.

Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζει όλα τα στάδια επεξεργασίας του ηλεκτρονόμου SEL-300G και στη συνέχεια περιγράφουμε το κάθε στάδιο χωριστά.



Σχήμα 2.14: Στάδια επεξεργασίας ηλεκτρονόμου SEL-300G, σε έναν κύκλο λειτουργίας [35]

### Λήψη και φιλτράρισμα δεδομένων (Data acquisition and filtering)

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G περιέχει μετασχηματιστές έντασης και τάσης, οι οποίοι υποβιβάζουν τα εισερχόμενα ηλεκτρικά μεγέθη στα επίπεδα που μπορούν να χειριστούν τα ηλεκτρονικά κυκλώματά του. Τα υποβαθμισμένα ac σήματα οδηγούνται μέσα από βαθυπερατά φίλτρα (low pass filters) και έναν πολυπλέκτη (multiplexer) σε ένα μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D converter). Ο πολυπλέκτης και ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό εκτελούν δειγματοληψία των ac σημάτων τάσεων και ρευμάτων και τα μετατρέπουν σε ψηφιακές τιμές, που χρησιμοποιούνται από τον μικροεπεξεργαστή (microprocessor), που διαθέτει ο SEL-300G.

Ο SEL-300G παρακολουθεί τη συχνότητα του εισερχόμενου ac σήματος τάσης, προσαρμόζει το ρυθμό δειγματοληψίας στην παρούσα συχνότητα συστήματος (στην περιοχή 20 – 70 Hz) και λαμβάνει 16 ψηφιακά δείγματα του αναλογικού σήματος σε κάθε κύκλο. Όταν απομακρυνθεί το ac σήμα τάσης από την είσοδο του ηλεκτρονόμου, το ρολόι δειγματοληψίας (sampling clock) ρυθμίζεται αυτόματα στην ονομαστική συχνότητα του συστήματος, που έχει θέσει ο χρήστης μέσω της μεταβλητής FNOM (50 ή 60 Hz).

Ο ηλεκτρονόμος, μέσω ειδικών ψηφιακών φίλτρων, απομακρύνει ανεπιθύμητες συνιστώσες από τα δείγματα τάσεων και ρευμάτων. Επίσης, διαθέτει ψηφιακά φίλτρα που εξάγουν από τα δείγματα τάσεων και ρευμάτων που προκύπτουν, τις συνιστώσες θεμελιώδους συνιστώσας, τις αρμονικές συνιστώσες τρίτης τάξης για τις τάσεις και τις αρμονικές συνιστώσες δεύτερης τάξης για τα ρεύματα. Η πλειονότητα των συναρτήσεων προστασίας και μέτρησης του ηλεκτρονόμου χρησιμοποιούν τάσεις και ρεύματα θεμελιώδους συνιστώσας. Το στοιχείο 100% προστασίας γης στάτη του ηλεκτρονόμου χρησιμοποιεί τις αρμονικές τρίτης τάξης των σημάτων τάσης. Όταν το μοντέλο του SEL-300G περιλαμβάνει και στοιχείο διαφορικής προστασίας, χρησιμοποιούνται και οι αρμονικές συνιστώσες δεύτερης τάξης των ρευμάτων.

Στο στάδιο αυτό, ο ηλεκτρονόμος ελέγχει και προσδιορίζει αν έχει μεταβληθεί η κατάσταση των λογικών εισόδων του (optoisolated inputs).

### Επεξεργασία των στοιχείων του ηλεκτρονόμου (Relay element processing)

Έχοντας συλλέξει και τροποποιήσει καταλλήλως τα σήματα εισόδου (αναλογικά και λογικά), ο ηλεκτρονόμος υπολογίζει τις συναρτήσεις των στοιχείων του, τα οποία είναι ενεργοποιημένα. Σημειώνουμε ότι οι συναρτήσεις αυτές υπολογίζονται τέσσερις φορές ανά κύκλο του συστήματος, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία loss-of-field και out-of-step υπολογίζουν τις συναρτήσεις τους δύο φορές ανά κύκλο συστήματος, ενώ τα θερμικά στοιχεία (RTDs) μία φορά ανά δύο δευτερόλεπτα.

Τα αποτελέσματα των συναρτήσεων, που υπολογίζονται στο στάδιο αυτό, είναι δυαδικές μεταβλητές (Relay word bits) που έχουν την τιμή 1, όταν ενεργοποιούνται και την τιμή 0 όταν είναι αδρανής ή απενεργοποιούνται. Οι τιμές αυτές είναι εξαιρετικής σημασίας, αφού επηρεάζουν άμεσα το επόμενο στάδιο λειτουργίας του ηλεκτρονόμου.

### Λογικές εξισώσεις ελέγχου (SELogic control equations)

Στο στάδιο αυτό, ο ηλεκτρονόμος υπολογίζει το αποτέλεσμα των λογικών εξισώσεων ελέγχου, οι οποίες έχουν ως παραμέτρους συγκεκριμένα relay word bits, που έχει επιλέξει ο χρήστης. Στη συνέχεια, και αναλόγως τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει, ο ηλεκτρονόμος οδηγεί την κατάλληλη τιμή στις επαφές εξόδου του.

Επίσης, εμφανίζονται μηνύματα ή ανάβουν, αντίστοιχα, λυχνίες στην οθόνη που διαθέτει ο ηλεκτρονόμος, αν απαιτείται, για την ενημέρωση του χρήστη.

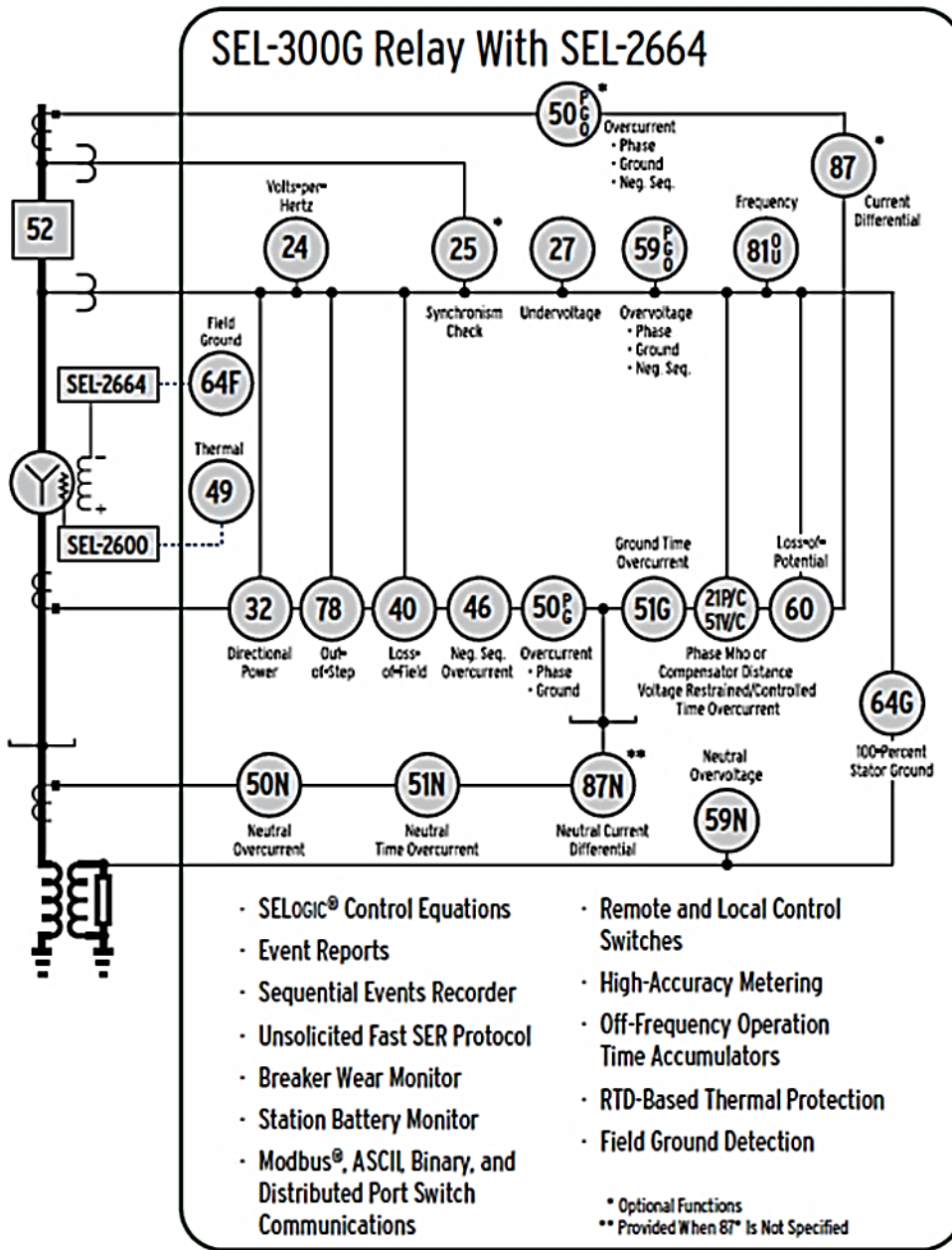
### Επιπρόσθετες διεργασίες (Background tasks)

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G έχει σχεδιαστεί να διαθέτει ένα χρονικό διάστημα, μεταξύ της επιβολής των σημάτων εξόδου στις αντίστοιχες επαφές και της δειγματοληψίας αναλογικών σημάτων που αντιστοιχεί στον επόμενο κύκλο λειτουργίας, για την εκτέλεση διάφορων σημαντικών εργασιών, όπως:

- ο αυτοέλεγχος λειτουργίας,
- η δημιουργία αναφοράς γεγονότων,
- και η απόκριση σε εντολές μέσω της σειριακής επικοινωνίας ή των κομβίων στην οθόνη του ηλεκτρονόμου.

2.3.5.4 Στοιχεία προστασίας του ηλεκτρονόμου (Protection elements)

Στην υποενότητα αυτή αναφέρουμε τα στοιχεία προστασίας που διαθέτει ο ηλεκτρονόμος SEL-300G και τις δυνατότητες τους. Ειδικότερα, θα αναλύσουμε τα στοιχεία που διαθέτει το μοντέλο του ηλεκτρονόμου του εργαστηριακού μας συστήματος (SEL-300G-0) και θα αναφέρουμε επιγραμματικά, ποιες επιπλέον δυνατότητες μπορούμε να συναντήσουμε στις άλλες εκδόσεις (SEL-300G-1,2,3). Για τα περισσότερα από αυτά έχουμε αναφερθεί και στο κεφάλαιο 1, όπου ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει για επιπλέον θεωρητικές πληροφορίες.



Σχήμα 2.15: Λειτουργικό διάγραμμα ηλεκτρονόμου SEL-300G [35]

**Κύρια προστασία (Main protection)**

• **Στοιχείο Volts/Hertz 24 (Volts/Hertz element)**

Το στοιχείο αυτό είναι υπεύθυνο για την προστασία της γεννήτριας από καταστάσεις υπερβολικής μαγνητικής ροής και κατά συνέπεια κορεσμού του σιδηρών μερών του πυρήνα της, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή της. Μπορεί να ρυθμιστεί να λειτουργεί ως στοιχείο αντιστρόφου χρόνου, ως σύνθετο στοιχείο με συνδυασμό χαρακτηριστικής αντιστρόφου χρόνου και σταθερού χρόνου ή ως στοιχείο δύο επιπέδων σταθερού χρόνου. Παραδείγματα τέτοιων χαρακτηριστικών φαίνονται στο σχήμα 1.20.

Οι απαραίτητες προδιαγραφές που πρέπει να γνωρίζουμε για να ρυθμίσουμε σωστά το συγκεκριμένο στοιχείο είναι:

- η καμπύλη της μέγιστης ανεκτής υπερδιέγερσης της γεννήτριας συναρτήσει του χρόνου, από τον κατασκευαστή (overexcitation limit curve),
- η ίδια καμπύλη για το μετασχηματιστή ανύψωσης της γεννήτριας, εφόσον επιθυμούμε το στοιχείο μας να παρέχει προστασία υπερβολικής μαγνητικής ροής και στο μετασχηματιστή.

• **Στοιχείο αντίστροφης/ορθής φοράς-χαμηλής τιμής ισχύος 32 (Reverse/Low-forward power element)**

Το στοιχείο αυτό αποτρέπει τη σύγχρονη γεννήτρια να λειτουργήσει ως σύγχρονος κινητήρας, σε περίπτωση που είναι συνδεδεμένη στο σύστημα και διακοπεί η παροχή ισχύος από την κινητήρια μονάδα, λόγω των καταστρεπτικών συνεπειών που προκαλούνται στον εκάστοτε στρόβιλο.

Οι απαιτούμενες πληροφορίες για τη σωστή ρύθμιση του στοιχείου είναι:

- η μέγιστη ισχύς και το μέγιστο χρονικό όριο που μπορεί να ανεχθεί η κινητήρια μονάδα να οδηγείται, σε περίπτωση που η σύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί ως σύγχρονος κινητήρας,
- η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας.

• **Στοιχείο απώλειας πεδίου 40 (Loss-of-field element)**

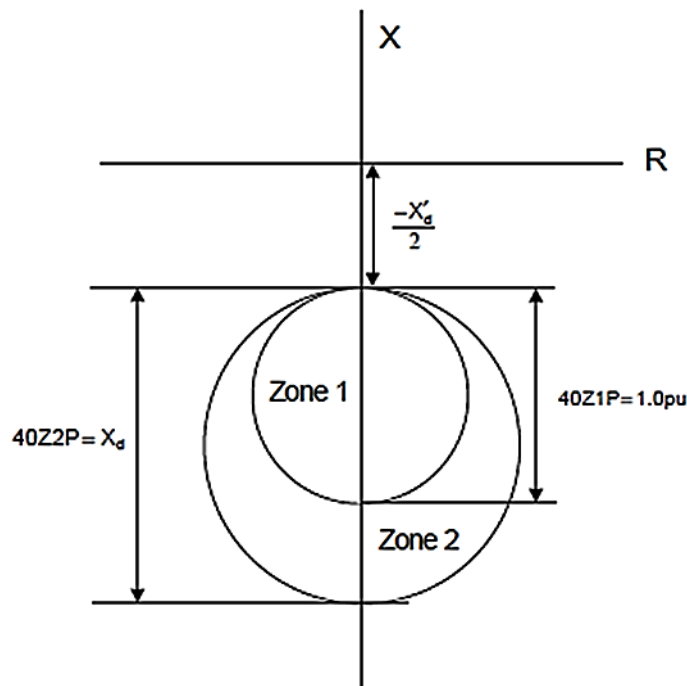
Η απώλεια του πεδίου διέγερσης σε μια σύγχρονη γεννήτρια έχει ως αποτέλεσμα να λειτουργεί ως γεννήτρια επαγωγής (ασύγχρονη). Ο δρομέας αυξάνει την ταχύτητά του, λόγω ολίσθησης, η παραγόμενη άεργος ισχύς μειώνεται, με συνέπεια η αντιστάθμιση να επιτυγχάνεται με απορρόφηση αέργου ισχύος από το δίκτυο, προκαλώντας προβλήματα ευστάθειας. Επίσης, επάγονται μεγάλα ρεύματα στο δρομέα και από το στάτη διέρχονται ρεύματα τιμής μέχρι και 2,0 p.u., με αποτέλεσμα την επικίνδυνη υπερθέρμανση του σώματος της γεννήτριας.

Για να προστατεύσουμε τη γεννήτριά μας από τέτοιου είδους ανεπιθύμητες συνθήκες λειτουργίας χρησιμοποιούμε το στοιχείο loss-of-field, το οποίο χρησιμοποιεί δύο ζώνες προστασίας μέσω ενός ζεύγους κύκλων offset mho. Η πρώτη ζώνη επενεργεί για συνθήκες απώλειας πεδίου υπό πλήρη φόρτιση της γεννήτριας, έπειτα από πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση, ενώ η δεύτερη για τις ίδιες συνθήκες, όταν η γεννήτρια είναι φορτισμένη με ένα μικρό ποσοστό της ικανότητάς της και χωρίζεται σε θετική και αρνητική. Παράδειγμα των χαρακτηριστικών αυτών απεικονίζεται στο σχήμα 2.16.

Οι πληροφορίες που απαιτούνται για την ορθή ρύθμιση του στοιχείου είναι:

- η αντίδραση ευθέως άξονα της γεννήτριας,  $X_d$ ,
- η μεταβατική αντίδραση ευθέως άξονα,  $X_d'$ ,
- η ονομαστική πολική τάση της γεννήτριας,
- το ονομαστικό φασικό ρεύμα της γεννήτριας,
- όταν χρησιμοποιείται θετική δεύτερη ζώνη, επίσης χρειάζονται:

- ✓ η αντίδραση του μετασχηματιστή ανύψωσης της γεννήτριας,  $X_T$ , καθώς και η αντίδραση του συστήματος,  $X_{sys}$ , στο οποίο συνδέεται η γεννήτρια,
- ✓ ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος της γεννήτριας.



**Σχήμα 2.16:** Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου απώλειας πεδίου, με αρνητική δεύτερη ζώνη [35]

- **Στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας 46 (Negative-sequence overcurrent element)**

Είναι γνωστό ότι υπό ασύμμετρες συνθήκες φόρτισης της γεννήτριας, προκαλείται υπερθέρμανση στο σώμα του δρομέα, που μπορεί να αποβεί καταστροφική. Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων, ο ηλεκτρονόμος SEL-300G περιέχει ένα στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας σταθερού χρόνου, για την ενεργοποίηση προειδοποιητικής σήμανσης (alarm) και ένα στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου ( $I_2^2 \cdot t$ ), για τον έλεγχο των διακοπών ισχύος της γεννήτριας (βλ. σχήμα 1.19).

Οι πληροφορίες που χρειάζεται ο χρήστης, για τη σωστή ρύθμιση του ηλεκτρονόμου, είναι:

- η ικανότητα αντοχής της γεννήτριας σε συνεχή ασύμμετρη φόρτιση, ως ποσοστό του ονομαστικού ρεύματος,
- ο χρόνος αντοχής της γεννήτριας σε ρεύματα αρνητικής ακολουθίας, σε δευτερόλεπτα.

- **Στοιχεία υπερέντασης 50, 51 (Overcurrent elements)**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G διαθέτει στοιχεία υπερέντασης, για την προστασία της γεννήτριας, από ρεύματα μεγάλης τιμής, που μπορούν να προκύψουν, λόγω κάποιου βραχυκυκλώματος γης ή μεταξύ φάσεων, ή μικρότερης τιμής με μεγάλη διάρκεια, λόγω υπερφόρτισης της γεννήτριας. Τα στοιχεία υπερέντασης που περιλαμβάνει ο ηλεκτρονόμος είναι αναλυτικά:

- ❖ δύο επίπεδα προστασίας υπερέντασης φάσης σταθερού χρόνου (phase definite-time overcurrent protection), 50P1, 50P2,

- ❖ δύο επίπεδα προστασίας υπερέντασης ουδέτερου αγωγού σταθερού χρόνου (neutral definite-time overcurrent protection), 50N1, 50N2,
- ❖ δύο επίπεδα προστασίας υπερέντασης γης σταθερού χρόνου (residual ground definite-time overcurrent protection), 50G1, 50G2,
- ❖ ένα επίπεδο προστασίας υπερέντασης ουδέτερου αγωγού αντιστρόφου χρόνου (neutral inverse-time overcurrent protection), 51N,
- ❖ ένα επίπεδο προστασίας υπερέντασης γης αντιστρόφου χρόνου (residual ground inverse-time overcurrent protection), 51G.

Τα στοιχεία υπερέντασης φάσης λειτουργούν χρησιμοποιώντας τη μέγιστη από τις μετρούμενες εντάσεις των τριών φάσεων, τα στοιχεία ουδέτερου αγωγού χρησιμοποιώντας την τιμή της έντασης που ρέει τον ουδέτερο αγωγό και τα στοιχεία γης χρησιμοποιώντας το άθροισμα των τιμών έντασης των τριών φάσεων.

Οι καμπύλες που μπορούν να επιλεγούν για τα στοιχεία υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου του SEL-300G ακολουθούν το πρότυπο IEEE C37.112-1996 και ανήκουν σε δύο οικογένειες: τις U.S. και τις I.E.C..

Οι απαιτούμενες πληροφορίες για την ορθή ρύθμιση των συγκεκριμένων στοιχείων είναι:

- το ρεύμα σφάλματος γης στους ακροδέκτες της γεννήτριας,
- ο λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή γείωσης, σε περίπτωση γείωσης της γεννήτριας μέσω σύνθετης αντίστασης υψηλής τιμής (high-impedance grounding),
- ο λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή έντασης στον ουδέτερο αγωγό.

- **Στοιχείο υπότασης 27 (Undervoltage element) / Στοιχείο υπέρτασης 59 (Overvoltage element)**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G περιέχει τα ακόλουθα στοιχεία ελέγχου της τάσης και προστασίας της γεννήτριας έναντι ανεπιθύμητων συνθηκών λειτουργίας:

- ❖ δύο επίπεδα φασικής υπότασης, 27P1, 27P2,
- ❖ δύο επίπεδα πολικής υπότασης, 27PP1, 27PP2,
- ❖ ένα επίπεδο φασικής υπότασης θετικής ακολουθίας, 27V1,
- ❖ δύο επίπεδα φασικής υπέρτασης, 59P1, 59P2,
- ❖ δύο επίπεδα πολικής υπέρτασης, 59PP1, 59PP2,
- ❖ δύο επίπεδα υπέρτασης γης, 59G1, 59G2,
- ❖ ένα επίπεδο φασικής υπέρτασης θετικής ακολουθίας, 59V1,
- ❖ ένα επίπεδο φασικής υπέρτασης αρνητικής ακολουθίας, 59Q.

- **Στοιχείο 100% προστασίας στάτη έναντι σφαλμάτων γης 64G (100% Stator ground protection element)**

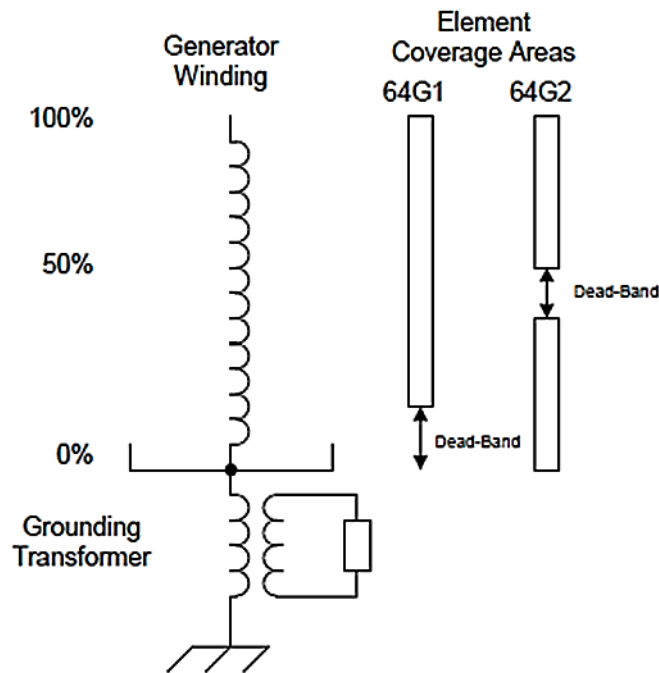
Το στοιχείο αυτό παρέχει δύο ζώνες προστασίας, για την ανίχνευση σφαλμάτων γης σε σημεία του τυλίγματος του στάτη. Στην ουσία μετράει την τάση στο γειωμένο ουδέτερο αγωγό της γεννήτριας, η οποία είναι μηδενική σε κανονικές συνθήκες, ενώ υπό συνθήκες σφάλματος γης στα τυλίγματα, είναι μη μηδενική και ανάλογη με το ποσοστό της απόστασης του σημείου σφάλματος από τον ουδέτερο κόμβο.

Η πρώτη ζώνη, 64G1, χρησιμοποιεί ένα στοιχείο υπέρτασης θεμελιώδους συχνότητας στον ουδέτερο αγωγό, το οποίο είναι ευαίσθητο για σφάλματα, σε σημεία του τυλίγματος άνω περίπου του 5 – 10 % από τον ουδέτερο κόμβο. Η δεύτερη ζώνη, 64G2, χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό στοιχείο, που ελέγχει την αρμονική συνιστώσα τρίτης τάξης, της τάσης του ουδέτερου αγωγού, το οποίο είναι ευαίσθητο για σφάλματα στο κάτω και στο άνω μέρος του τυλίγματος. Επομένως, ο συνδυασμός των δύο επιμέρους ζωνών μας προσφέρει πλήρη προστασία του τυλίγματος του στάτη, από σφάλματα γης (εξ ου και η ονομασία του στοιχείου), όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.17.



Η σωστή ρύθμιση του στοιχείου αυτού απαιτεί τη γνώση:

- της ονομαστικής τάσης της γεννήτριας,
- του λόγου μετασχηματισμού μετασχηματιστή γείωσης, εφόσον υπάρχει,
- του λόγου μετασχηματισμού μετασχηματιστή τάσης στον ουδέτερο αγωγό, αν υπάρχει,
- της τάσης στον ουδέτερο κόμβο της γεννήτριας, κατά την εκδήλωση σφάλματος γης στο σύστημα,
- του λόγου μετασχηματισμού και της συνδεσμολογίας των μετασχηματιστών τάσης, που τροφοδοτούν τον ηλεκτρονόμο.



Σχήμα 2.17: Περιοχές κάλυψης του στάτη από τα στοιχεία 64G1, 64G2 [35]

- **Στοιχείο προστασίας κυκλώματος διέγερσης έναντι σφαλμάτων γης 64F (Field ground protection element)**

Για να παρέχει ο SEL-300G αυτού του είδους προστασία, πρέπει να είναι διαθέσιμη και η μονάδα προστασίας κυκλώματος διέγερσης SEL-2664 (που περιέχει το στοιχείο 64F), η οποία συνδέεται στα δύο άκρα του τυλίγματος διέγερσης της γεννήτριας και στην ψύκτρα γείωσης του δρομέα (rotor ground brush). Η συσκευή αυτή υπολογίζει την αντίσταση μόνωσης μεταξύ του τυλίγματος διέγερσης και της γης και μέσω οπτικής ίνας τη στέλνει στην αντίστοιχη είσοδο του SEL-300G. Στη συνέχεια ο SEL-300G συγκρίνει την τιμή αυτή με το κατώφλι που έχει τεθεί στο στοιχείο 64F και αναλόγως στέλνει την κατάλληλη εντολή στη μονάδα SEL-2664, η οποία εποπτεύει το κύκλωμα διέγερσης (π.χ. alarm ή trip διακόπτη κυκλώματος διέγερσης).

- **Στοιχείο προστασίας γεννήτριας από ασυνήθιστες συνθήκες λειτουργίας 78 (Out-of-step protection element)**

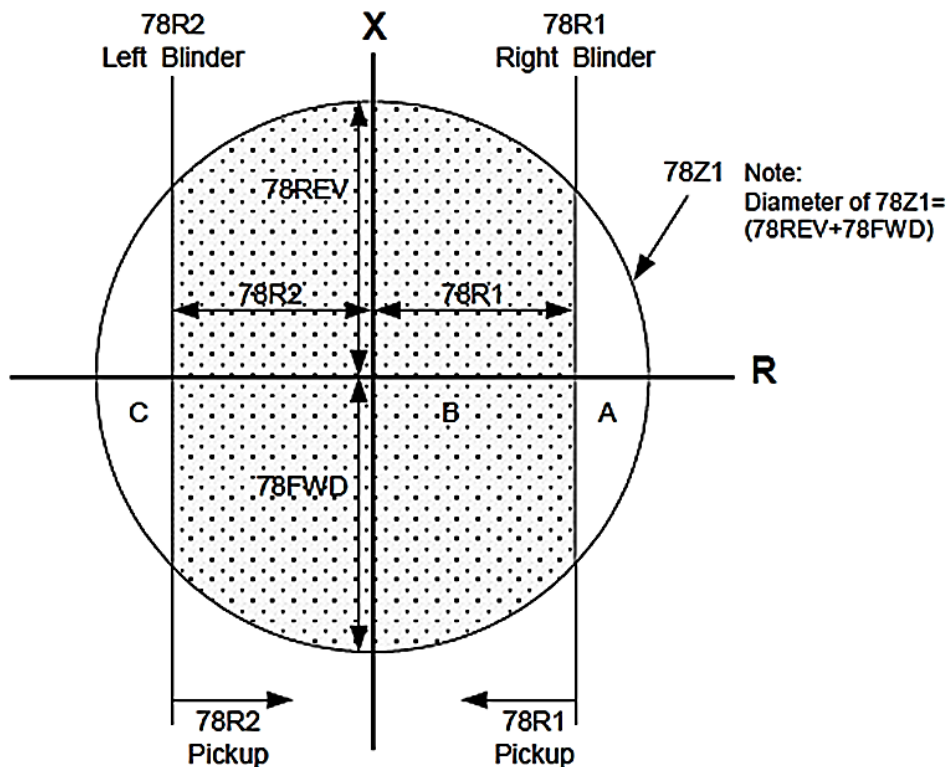
Ασυνήθιστες συνθήκες λειτουργίας μπορούν να προκύψουν, π.χ. από την έλλειψη συγχρονισμού της γεννήτριας με το σύστημα που είναι συνδεδεμένη, λόγω απώλειας της διέγερσής της και μπορούν να αποβούν καταστροφικές για τα μηχανικά και ηλεκτρικά μέρη της γεννήτριας και του μετασχηματιστή ανύψωσής της. Για την προστασία της από τέτοιου είδους επικίνδυνες περιπτώσεις, ο SEL-300G διαθέτει το συγκεκριμένο στοιχείο, το οποίο υπολογίζει το διάνυσμα της συνολικής σύνθετης αντίστασης, που μετρά ο ηλεκτρονόμος (διαιρώντας τη μετρούμενη τάση με το μετρούμενο ρεύμα, που δέχεται σαν εισόδους). Αν το πέρας του

διανύσματος είναι εκτός των ορίων, στα οποία έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί η γεννήτρια, το στοιχείο ενεργοποιείται.

Το συγκεκριμένο στοιχείο διαθέτει δύο είδη ορίων λειτουργίας, στο επίπεδο R – X: το πρώτο χρησιμοποιεί ένα ζευγάρι παρωπίδων (single blinder scheme), ενώ το δεύτερο δύο ζευγάρια (double blinder scheme). Παράδειγμα χαρακτηριστικής λειτουργίας του στοιχείου με ένα ζευγάρι παρωπίδων απεικονίζεται στο σχήμα 2.18.

Οι πληροφορίες που χρειάζεται ο χρήστης, για να ρυθμίσει σωστά το στοιχείο αυτό είναι:

- η μεταβατική αντίδραση ευθέως άξονα της γεννήτριας,  $X_d'$ ,
- η σύνθετη αντίσταση του μετασχηματιστή ανύψωσης,  $X_T$ ,
- η σύνθετη αντίσταση της γραμμής (ή των γραμμών) μεταφοράς, που αναχωρεί από το μετασχηματιστή ανύψωσης, εφόσον απαιτείται.



Σχήμα 2.18: Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου 78, με ένα ζευγάρι παρωπίδων [35]

- **Στοιχείο προστασίας συχνότητας 81 (Frequency protection element)**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G διαθέτει τέτοιου είδους στοιχεία, στα οποία ρυθμίζουμε το κατώφλι λειτουργίας τους (μικρότερο της ονομαστικής συχνότητας, αν θέλουμε να λειτουργεί ως στοιχείο υποσυχνότητας ή μεγαλύτερο, αν θέλουμε να λειτουργεί ως στοιχείο υπερσυχνότητας) και τη χρονική καθυστέρηση, με την οποία θέλουμε να ενεργοποιούνται, όταν η μετρούμενη συχνότητα από τον ηλεκτρονόμο ξεπερνά το ορισμένο κατώφλι.

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G αντιλαμβάνεται τη συχνότητα του συστήματος, μετρώντας τη συχνότητα της φάσης A. Σε ορισμένες περιπτώσεις στροβιλογεννητριών, ενισχύουμε την προστασία συχνότητας με επιπλέον στοιχείο, στο οποίο αναφερόμαστε αμέσως μετά.

Αναγκαίες πληροφορίες για τη σωστή ρύθμιση του συγκεκριμένου στοιχείου είναι:

- οι απαιτούμενες ή επιθυμητές μη κανονικές συχνότητες, στις οποίες θέλουμε να ενεργοποιείται η προστασία συχνότητας, με την αντίστοιχη χρονική καθυστέρηση,
- τα όρια αντοχής της γεννήτριας και οι αντίστοιχοι χρόνοι, για υπό/υπερσυχνότητες.

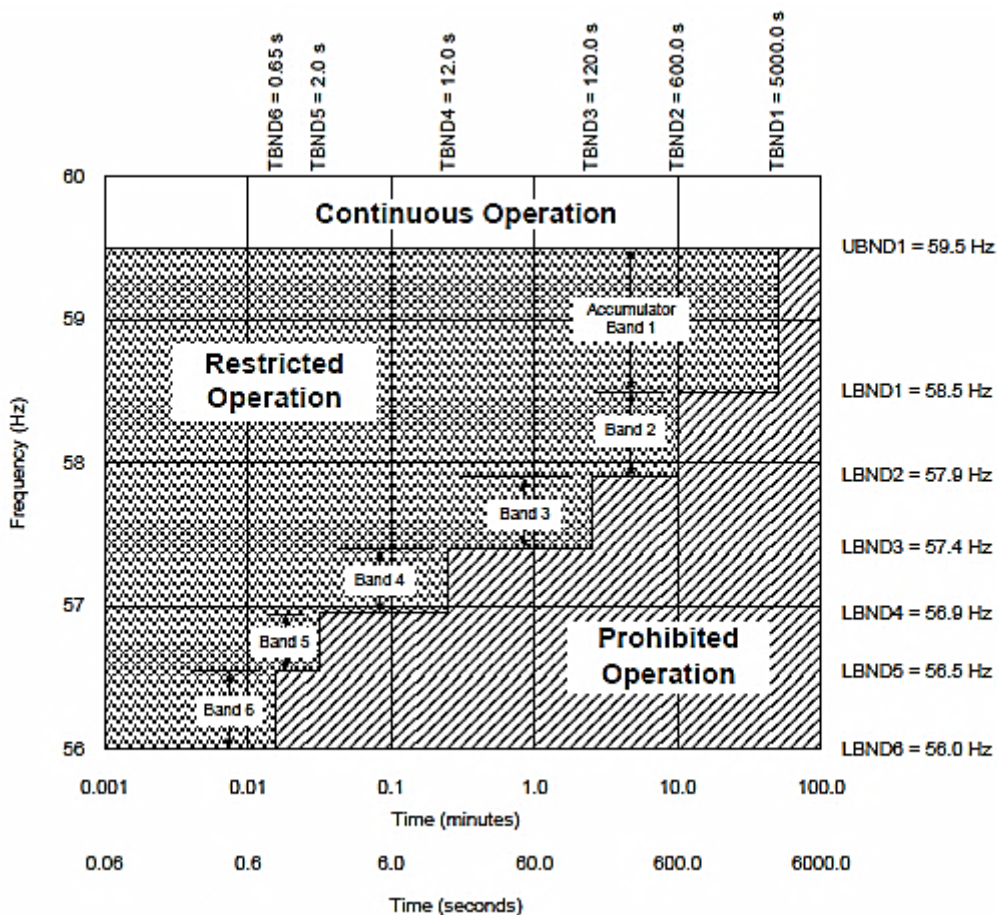
- **Στοιχείο επικουρικής προστασίας συχνότητας – χρόνου 81 (Abnormal frequency scheme)**

Σε περιπτώσεις που έχουμε ατμοστρόβιλο (steam turbine) ως κινητήρια μονάδα της γεννήτριας, χρειαζόμαστε επιπλέον προστασία έναντι συχνοτήτων λειτουργίας, μικρότερων της ονομαστικής. Αυτό συμβαίνει, διότι τα πτερύγια του στροβίλου καταπονούνται σημαντικά, όταν στρέφονται με ταχύτητα διάφορη, από αυτήν που είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν.

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G καταγράφει το συνολικό χρόνο λειτουργίας της γεννήτριας σε συχνότητες μικρότερες της ονομαστικής, το πολύ έξι επιπέδων. Πιο συγκεκριμένα, όταν η συχνότητα λειτουργίας πέσει κάτω από ένα επίπεδο συχνοτήτων, ενεργοποιείται ένα σήμα κινδύνου (alarm) και εκκινεί ένα χρονικό (62). Αν περάσει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και η συχνότητα δεν έχει διορθωθεί, τότε αρχίζει ο ηλεκτρονόμος και αθροίζει το χρόνο λειτουργίας της γεννήτριας σε αυτό το επίπεδο συχνότητας (time-accumulator). Εφόσον ξεπεραστεί και το όριο του συνολικού χρόνου λειτουργίας στο συγκεκριμένο επίπεδο, ο ηλεκτρονόμος ρυθμίζεται να δίνει εντολή για απομόνωση της κινητήριας μονάδας.

Για να ρυθμίσουμε τη συγκεκριμένη δυνατότητα του SEL-300G πρέπει να γνωρίζουμε τα όρια συχνότητας-χρόνου για την ασφαλή λειτουργία του στροβίλου, που δίνονται από τον κατασκευαστή.

Παράδειγμα χαρακτηριστικής λειτουργίας του στοιχείου προστασίας συχνότητας-χρόνου, όπως έχει ρυθμιστεί στον ηλεκτρονόμο SEL-300G, απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί (ονομαστική συχνότητα είναι τα 60 Hz).



Σχήμα 2.19: Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου προστασίας συχνότητας-χρόνου [35]

- **Στοιχείο διαφορικής προστασίας γης 87N (Ground differential element)**

Το συγκεκριμένο στοιχείο διαθέτουν τα μοντέλα SEL-300G-0 (σαν αυτό του εργαστηριακού συστήματος) και SEL-300G-2 και χρησιμοποιείται σε γεννήτριες απευθείας γειωμένες (solidly grounded) ή γειωμένες με ωμική αντίσταση (resistance grounded).

Αποτελείται από δύο επίπεδα διαφορικής προστασίας, με ρυθμιζόμενη καθυστέρηση λειτουργίας σταθερού χρόνου.

Ο ηλεκτρονόμος μετράει το ρεύμα στο γειωμένο ουδέτερο αγωγό (neutral current), μέσω ενός μετασχηματιστή έντασης, υπολογίζει το άθροισμα των ρευμάτων των φάσεων της γεννήτριας (residual current) και τέλος υπολογίζει τη διαφορά των δύο αυτών τιμών. Για εσωτερικά σφάλματα, οι δύο τιμές διαφέρουν και αν η διαφορά τους είναι πάνω από το κατώφλι που έχει ρυθμιστεί, ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται και ανοίγει τους διακόπτες ισχύος που ελέγχει. Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας ή εξωτερικού σφάλματος, οι τιμές αυτές ταυτίζονται.

Η σωστή παραμετροποίηση του διαφορικού στοιχείου γης απαιτεί τη γνώση:

- των λόγων μετασχηματισμού των μετασχηματιστών έντασης φάσεων και γης,
- του μέγιστου ρεύματος σφάλματος γης που μπορεί να εμφανιστεί στη γεννήτρια.

### **Δευτερεύουσα προστασία (Backup protection)**

Εκτός από τα στοιχεία κύριας προστασίας που αναφέραμε, ο ηλεκτρονόμος SEL-300G διαθέτει και δύο επιπλέον είδη προστασίας, που ενεργοποιούνται από το χρήστη, αν απαιτείται δευτερεύουσα (εφεδρική) προστασία από την εφαρμογή.

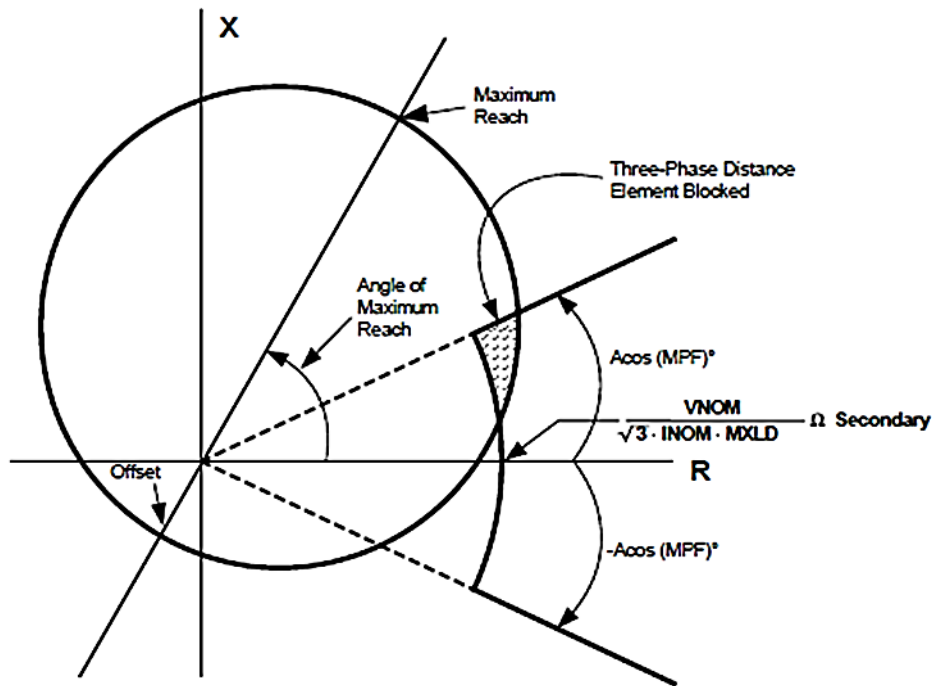
- **Στοιχείο προστασίας απόστασης 21 (Distance protection element)**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-300G παρέχει προστασία απόστασης δύο ζωνών, για διφασικά ή τριφασικά σφάλματα στο σύστημα. Η προστασία αυτού του είδους παρέχεται μέσω χαρακτηριστικών λειτουργίας τύπου mho ή offset mho. Συνήθως, η πρώτη ζώνη προστασίας του στοιχείου ρυθμίζεται να φτάνει μέχρι το μετασχηματιστή ανύψωσης, ενώ η δεύτερη πέρα από το μετασχηματιστή και ως ένα σημείο του συστήματος.

Όταν ρυθμίζεται η χαρακτηριστική λειτουργίας του στοιχείου, πρέπει να αποκλείεται η κοινή περιοχή, αν υπάρχει, της χαρακτηριστικής αυτής και του γεωμετρικού τόπου της κανονικής λειτουργίας της γεννήτριας (load encroachment). Παράδειγμα χαρακτηριστικής λειτουργίας του στοιχείου 21 φαίνεται στο σχήμα 2.20.

Απαραίτητες πληροφορίες για την ορθή ρύθμιση του στοιχείου είναι:

- τα διανύσματα σύνθετης αντίστασης των επιθυμητών ζωνών 1,2,
- η επιθυμητή χρονική συνεργασία των δύο ζωνών,
- η συνδεσμολογία του μετασχηματιστή ανύψωσης της γεννήτριας, εφόσον κάποια από τις ζώνες προστασίας τον περικλείει,
- ο ελάχιστος συντελεστής ισχύος της γεννήτριας καθώς και το μέγιστο φορτίο έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 2.20: Χαρακτηριστική λειτουργίας τύπου offset mho πρώτης ζώνης με αποκλεισμένη περιοχή κανονικής λειτουργίας [35]

- **Στοιχείο υπερέντασης ελεγχόμενο από τάση 51C (Voltage-controlled time-overcurrent element) / Στοιχείο υπερέντασης συγκρατούμενο από τάση 51V (Voltage-restrained time-overcurrent element)**

Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα από αυτά τα δύο στοιχεία για δευτερεύουσα προστασία της γεννήτριας έναντι σφαλμάτων φάσης, τα οποία συνέβησαν στο σύστημα και δεν εκκαθαρίστηκαν. Οι καμπύλες ρεύματος-χρόνου που χρησιμοποιούνται είναι όμοιες με τα στοιχεία υπερέντασης, που αναφέραμε προηγουμένως.

Το στοιχείο υπερέντασης ελεγχόμενο από τάση, επενεργεί για σφάλμα φάσης στο σύστημα, όταν παρουσιαστεί τάση στο σημείο μέτρησης του ηλεκτρονόμου, μικρότερη από ένα κατώφλι που θέτει ο χρήστης. Είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο στοιχείο, λόγω της επαρκούς προστασίας που παρέχει στις περισσότερες εφαρμογές.

Το στοιχείο υπερέντασης συγκρατούμενο από τάση, διαφέρει από το προηγούμενο στοιχείο στο εξής: το κατώφλι λειτουργίας του στοιχείου μειώνεται αυτόματα και ταυτόχρονα με τη μείωση της τάσης στους ακροδέκτες της γεννήτριας, κατά την εκδήλωση κάποιου σφάλματος φάσης. Για παράδειγμα, αν η τάση της γεννήτριας πέσει στο 70% της ονομαστικής της τιμής, τότε το κατώφλι λειτουργίας έχει τιμή ίση με το 70% της αρχικής ρύθμισης. Η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει το κατώφλι του στοιχείου είναι το 12,5% της αρχικής του τιμής. Για τάσεις γεννήτριας μικρότερες του 12,5% της ονομαστικής, το στοιχείο επενεργεί βάσει αυτής της τιμής. Χρησιμοποιείται, μόνο όταν το απαιτεί η εφαρμογή.

Για να ρυθμίσει σωστά ο χρήστης τα στοιχεία αυτά, πρέπει να έχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- ονομαστική τάση γεννήτριας,
- ρεύμα γεννήτριας για σφάλμα φάσης στο σύστημα μεγάλης διάρκειας,
- τάση γεννήτριας για σφάλμα φάσης στο σύστημα,
- λόγοι μετασχηματισμού των μετασχηματιστών έντασης και τάσης.

Στο σημείο αυτό σημειώνουμε, ότι σε περίπτωση που είναι επιθυμητή η εφαρμογή δευτερεύουσας προστασίας για τη γεννήτρια, επιλέγεται ένα από τα δύο είδη προστασιών που περιγράψαμε.

**Επιπλέον στοιχεία προστασίας**

Τα παραπάνω στοιχεία κύριας και δευτερεύουσας προστασίας περιέχονται σε όλα τα μοντέλα του ηλεκτρονόμου SEL-300G (standard firmware). Σε νεότερες εκδόσεις, όπως είναι τα SEL-300G-1, SEL-300G-2, SEL-300G-3, περιέχονται και επιπρόσθετα στοιχεία προστασίας, όπως:

- στοιχείο διαφορικής προστασίας 87 (differential protection element),
- στοιχείο ελέγχου συγχρονισμού γεννήτριας με το σύστημα 25 (synchronism checking function),
- στοιχείο θερμικής προστασίας 49 τροφοδοτούμενο από τη μονάδα RTD της σειράς SEL-2600.

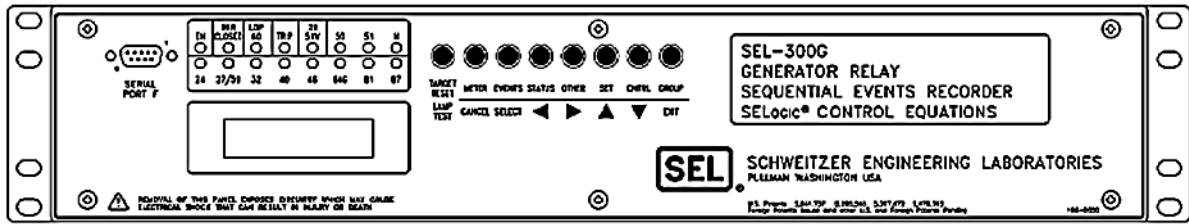
Προτού κλείσουμε την υποενότητα της περιγραφής των δυνατοτήτων του ηλεκτρονόμου SEL-300G, παρουσιάζουμε έναν οδηγό κατάλληλης επιλογής των στοιχείων προστασίας γεννήτριας, ανάλογα με το είδος γείωσής της.

Στοιχεία προστασίας	Γείωση με σύνθετη αντίσταση υψηλής τιμής	Γείωση με ωμική αντίσταση	Απευθείας γείωση
21 Στοιχείο απόστασης	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο
24 Στοιχείο Volts/Hertz	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται
27 Στοιχείο υπότασης	Προαιρετικό	Προαιρετικό	Προαιρετικό
32 Στοιχείο κατεύθυνσης ισχύος	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται
40 Στοιχείο απώλειας πεδίου	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται
46 Στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται
50N/51N Στοιχείο υπερέντασης ουδετέρου	Προτεινόμενο	Προτεινόμενο	Συνιστάται
50P Στοιχείο υπερέντασης φάσεων	Δε συνιστάται	Δε συνιστάται	Συνιστάται
51C/51V Στοιχείο υπερέντασης ελεγχόμενο/ συγκρατούμενο από τάση	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο
59 Στοιχείο υπέρτασης	Προαιρετικό	Προαιρετικό	Προαιρετικό
64G Στοιχείο 100% προστασίας γης στάτη			Δε συνιστάται
78 Στοιχείο προστασίας ασυνήθιστων συνθηκών λειτουργίας	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται
81 Στοιχείο προστασίας συχνότητας	Συνιστάται	Συνιστάται	Συνιστάται
81 Στοιχείο προστασίας συχνότητας-χρόνου	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο
87N Στοιχείο διαφορικής προστασίας γης	Δε συνιστάται	Προτεινόμενο	Προτεινόμενο

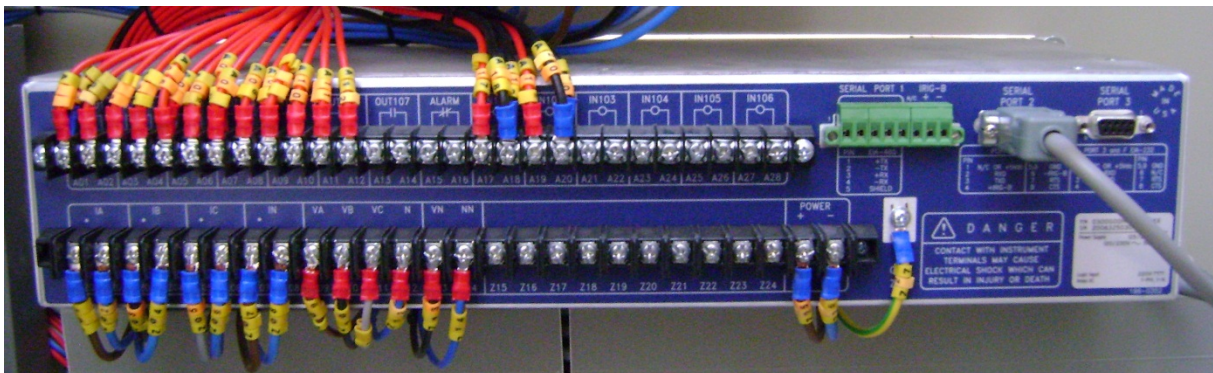
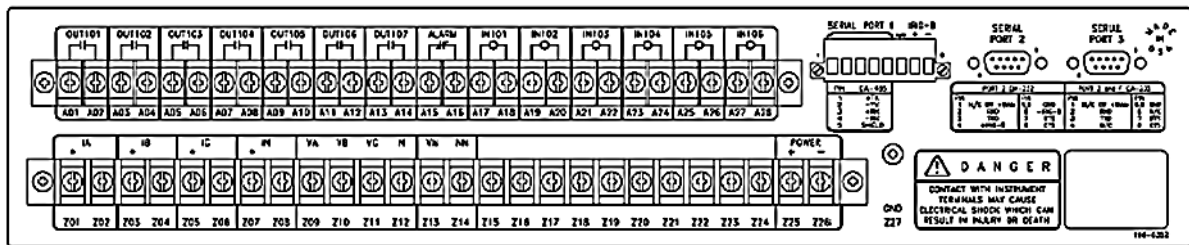
*Πίνακας 2.4: Προτεινόμενα για χρήση στοιχεία του ηλεκτρονόμου SEL-300G, ανάλογα το είδος γείωσης του ουδετέρου αγωγού της γεννήτριας*

2.3.5.5 Σχέδια όψεων ηλεκτρονόμου

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι δύο όψεις του ηλεκτρονόμου SEL-300G (πρόσθια και οπίσθια όψη). Στο παράρτημα Β βρίσκεται και το σχέδιο των καλωδιώσεων του ηλεκτρονόμου στην οπίσθια όψη του, για λόγους πληρότητας.



Εικόνα 2.56: Πρόσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-300G



Εικόνα 2.57: Οπίσθια όψη ηλεκτρονόμου SEL-300G

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ SEL-587

---

Στο τρίτο κεφάλαιο κάνουμε αναλυτική αναφορά στις δυνατότητες του ηλεκτρονόμου SEL-587, δίνοντας έμφαση στον τρόπο λειτουργίας και ρύθμισης των διάφορων στοιχείων του. Στην εισαγωγή του κεφαλαίου υπενθυμίζουμε τις βασικές πληροφορίες που αφορούν τα είδη προστασίας του ηλεκτρονόμου SEL-587, οι οποίες έχουν περιγραφεί και στην ενότητα 2.3.4, παραθέτοντας και επιπρόσθετες πληροφορίες, με στόχο την ομαλή μετάβαση στην αναλυτική περιγραφή των ρυθμίσεων και των γενικότερων δυνατοτήτων του ηλεκτρονόμου. Σημειώνουμε, ότι οι πληροφορίες και τα σχήματα που παραθέτουμε στο εν λόγω κεφάλαιο, έχουν αντληθεί από το εγχειρίδιο του ηλεκτρονόμου [34].

#### 3.1 Εισαγωγή

##### 3.1.1 Διαφορική προστασία

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 περιέχει τρία στοιχεία διαφορικής προστασίας, ένα για κάθε φάση (τριφασική διαφορική προστασία 87), που το καθένα διαθέτει δύο επιμέρους στοιχεία, ένα με λειτουργία αναστολής (restrained element 87R) κι ένα χωρίς λειτουργία αναστολής (unrestrained element 87U). Το στοιχείο διαφορικής προστασίας με λειτουργία αναστολής έχει χαρακτηριστική διπλής κλίσης. Σε εφαρμογές που το απαιτούν, μπορούμε να ορίσουμε συναρτήσεις παρεμπόδισης λειτουργίας (blocking functions), με σκοπό την αποφυγή ενεργοποίησης του διαφορικού στοιχείου υπό μεταβατικές συνθήκες λειτουργίας με έντονο περιεχόμενο σε αρμονικές ή dc συνιστώσες, όπως για παράδειγμα η ηλεκτρίση ενός μετασχηματιστή. Το στοιχείο διαφορικής λειτουργίας χωρίς λειτουργία αναστολής χρησιμοποιείται, διότι παρέχει ταχύτατη εκκαθάριση εσωτερικών σφαλμάτων, μεγάλης τιμής.

##### 3.1.2 Προστασία υπερέντασης

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 παρέχει δύο ομάδες στοιχείων υπερέντασης (μία για το κάθε άκρο του εξοπλισμού ή του μέρους του δικτύου που προστατεύουμε), χωρίς να εμπεριέχουν στοιχείο κατεύθυνσης. Η κάθε ομάδα στοιχείων περιλαμβάνει:

- στιγμιαία στοιχεία υπερέντασης φάσης και ουδετέρου,
- σταθερού χρόνου στοιχεία υπερέντασης φάσης, ουδετέρου και αρνητικής ακολουθίας,
- αντιστρόφου χρόνου στοιχεία υπερέντασης φάσης, ουδετέρου και αρνητικής ακολουθίας.

Οι ρυθμίσεις και οι χαρακτηριστικές λειτουργίας των στοιχείων υπερέντασης είναι ανεξάρτητες των στοιχείων διαφορικής προστασίας και θα τις περιγράψουμε εκτενώς σε επόμενη ενότητα.

##### 3.1.3 Προγραμματιζόμενες επαφές λογικών εξόδων

Ο SEL-587 είναι εφοδιασμένος με τις SELOGIC εξισώσεις ελέγχου, που επιτρέπουν στο μελετητή να σχηματίσει το δικό του σενάριο, όσον αφορά τις εντολές που θα δίνονται στους διακόπτες ισχύος και τον εξοπλισμό, μέσω των τεσσάρων εξόδων που διαθέτει ο ηλεκτρονόμος. Παράδειγμα της ευελιξίας αυτής φαίνεται στο σχήμα 2.7, όπου έχει υποθεθεί ότι οι επαφές OUT1, OUT2 δίνουν εντολή για άνοιγμα των δύο διακοπών ισχύος 52 (tripping), ανεξάρτητα η μία από την άλλη, η επαφή OUT3 θέτει το lockout relay 86 και η επαφή OUT4 ενεργοποιεί μία προειδοποίηση για άνοιγμα διακόπτη (tripping alarm).



### 3.1.4 Προστασία από τον κορεσμό των μετασχηματιστών έντασης

Υπό κανονικές συνθήκες το στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης φάσης δέχεται σαν είσοδο ρεύμα, το οποίο έχει υποστεί επεξεργασία από φίλτρο συνημιτόνου (cosine filter). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απαλοιφή dc συνιστωσών και αρμονικών. Σε περίπτωση, όμως, που έχουμε μεγάλο σφάλμα (ρεύμα μεγαλύτερο από το οχταπλάσιο του ρεύματος κανονικής λειτουργίας, 1Amp για το δικό μας μοντέλο) ή το εισερχόμενο ρεύμα έχει πολύ μεγάλη αρμονική παραμόρφωση, έχουμε πιθανότητα μεγάλο κορεσμό στους μετασχηματιστές έντασης, με αποτέλεσμα το φίλτρο συνημιτόνου να κρίνεται ανίκανο για την επεξεργασία του ρεύματος εισόδου. Στην περίπτωση αυτή, το ρεύμα επεξεργάζεται από ένα κύκλωμα που καλείται bipolar peak detector (διπολικός ανιχνευτής κορυφής), το οποίο έχει τέλεια επίδοση ακόμη και σε συνθήκες δριμύτατου κορεσμού των μετασχηματιστών έντασης. Επομένως, συνδυάζοντας τα δύο παραπάνω κυκλώματα (cosine filter και bipolar peak detector) έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα για την ομαλή λειτουργία του στιγμιαίου στοιχείου υπερέντασης φάσης

### 3.2 Περιγραφή και ρυθμίσεις στοιχείων ηλεκτρονόμου (Περιοχή SET Command στο setting sheet)

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε τις παραμέτρους του ηλεκτρονόμου SEL-587 και τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται και ρυθμίζονται. Η σειρά περιγραφής των παραμέτρων αυτών θα είναι ίδια με τη σειρά παρουσίασής τους στο setting sheet που παρέχει ο κατασκευαστής του, το οποίο έχουμε επισυνάψει στο Παράρτημα Γ.

Οι τιμές των παραμέτρων που αφορούν τάση, ρεύμα και κύκλους ρολογιού πρέπει να ρυθμίζονται με τα εξής επιτρεπτά βήματα:

Amps	βήμα: 0,1
Cycles	βήμα: 0,25
kV	βήμα: 0,01

#### 3.2.1 Πεδίο General Data

- **Relay Identifier (RID) και Terminal Identifier (TID)**

Ο SEL-587-1 έχει δύο αναγνωριστικές ετικέτες: το αναγνωριστικό ηλεκτρονόμου (RID) και το αναγνωριστικό τερματικού (TID). Η ετικέτα RID χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ηλεκτρονόμου ή του τύπου προστασίας στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Η ετικέτα TID συνήθως περιέχει μια συντομογραφία του ονόματος του υποσταθμού και του εξοπλισμού που προστατεύει. Σε κάθε αναφορά γεγονόςτος (event report), ο ηλεκτρονόμος σημειώνει στην αρχή τα δύο αυτά αναγνωριστικά. Οι χαρακτήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ονοματολογία των δύο αυτών ετικετών είναι οι εξής: **0 - 9, A - Z, -, /, ,, space.**

- **Maximum Power Transformer Capacity (MVA)**

Στην παράμετρο αυτή χρησιμοποιούμε τη μέγιστη αναμενόμενη ικανότητα ή το άνω όριο ισχύος ασφαλούς λειτουργίας του μετασχηματιστή. Για παράδειγμα, αν έχουμε ένα μετασχηματιστή ισχύος 40/50 MVA (ONAN/ONAF, oil natural air natural/oil natural air force κατά IEC ή OA/FA, oil-air/forced air, κατά ANSI/IEEE), χρησιμοποιούμε την τιμή 50 MVA, που υποδηλώνει την ικανότητα του μετασχηματιστή αν τεθούν σε λειτουργία επιπλέον ανεμιστήρες ψύξης που διαθέτει.

- **Winding 1,2 Line - Line Voltages (VWDG1, VWDG2)**

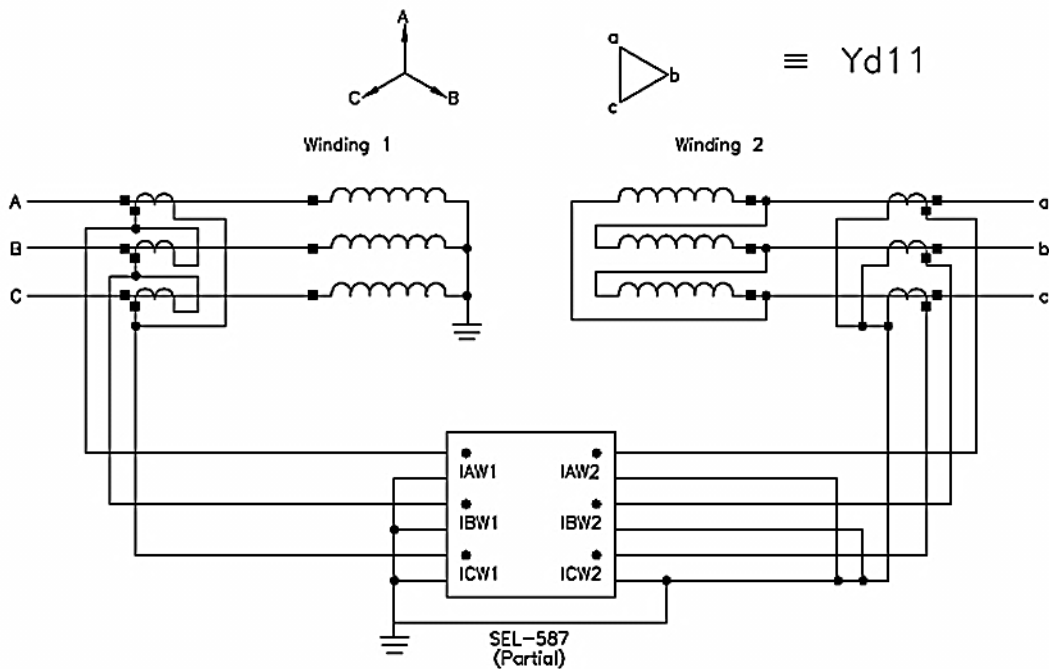
Στην παράμετρο αυτή εισάγουμε την ονομαστική πολική τάση των δύο πλευρών του μετασχηματιστή σε kV. Αν ο μετασχηματιστής διαθέτει tap changer, ο οποίος βρίσκεται εντός της διαφορικής ζώνης προστασίας, υποθέτουμε ότι είναι στη θέση 0%.

• **Transformer Connection (TRCON) και CT Connection (CTCON)**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 αντισταθμίζει αυτόματα, τυχούσες μετατοπίσεις φάσεων, ανάλογα τη συνδεσμολογία του μετασχηματιστή ισχύος και των μετασχηματιστών έντασης και εξαλείφει τα ρεύματα μηδενικής ακολουθίας, όπου χρειάζεται. Η αντισταθμηση αυτή επιτυγχάνεται μέσω των παραμέτρων CON1, CON2, που εξαρτώνται από τη συνδεσμολογία του μετασχηματιστή ισχύος και των μετασχηματιστών έντασης. Συνεπώς, επιλέγοντας το σχήμα που ταυτίζεται με την εφαρμογή μας, εισάγουμε τις αντίστοιχες παραμέτρους που προκύπτουν.

Για παράδειγμα, στο σχήμα που ακολουθεί, οι τιμές των παραμέτρων μας θα είναι:

$$\begin{aligned} \text{TRCON} &= \text{YDAB} \\ \text{CTCON} &= \text{DABY} \\ [\text{CON1} &= \text{Y}, \text{CON2} = \text{Y}] \end{aligned}$$



**Σχήμα 3.1:** Παράδειγμα συνδεσμολογίας μετασχηματιστή ισχύος και μετασχηματιστών έντασης

Στο σχήμα 2.9 απεικονίζεται η διαδικασία αντισταθμησης των ρευμάτων εσωτερικά του ηλεκτρονόμου, η οποία είναι απαραίτητη για τους υπολογισμούς του ηλεκτρονόμου, όσον αφορά τη διαφορική προστασία.

Στον πίνακα 3.1 έχουμε συγκεντρώσει όλους τους συντελεστές αντισταθμησης, που προκύπτουν, ανάλογα τις παραμέτρους TRCON, CTCON που έχουμε επιλέξει.

TRCON	CTCON	CON1	CON2	C1	C2
YY	DACDAC	Y	Y	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
YY	DABDAB	Y	Y	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
YY	YY	DAB	DAB	1	1
YDAB	DABY	Y	Y	$\sqrt{3}$	1
YDAB	YY	DAB	Y	1	1
YDAC	DACY	Y	Y	$\sqrt{3}$	1
YDAC	YY	DAC	Y	1	1
DABY	YDAB	Y	Y	1	$\sqrt{3}$
DABY	YY	Y	DAB	1	1
DACY	YDAC	Y	Y	1	$\sqrt{3}$
DACY	YY	Y	DAC	1	1
DABDAB	YY	Y	Y	1	1
DACDAC	YY	Y	Y	1	1
OTHER	YY	Y	Y	1	1

*Πίνακας 3.1: Προσδιορισμός παραμέτρων CON1, CON2, C1, C2, ανάλογα τη συνδεσμολογία του μετασχηματιστή ισχύος και των μετασχηματιστών έντασης*

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι για όλες τις περιπτώσεις συνδεσμολογιών των μετασχηματιστών ισχύος, ο ηλεκτρονόμος SEL-587 μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε συνδεσμολογία YY-γειωμένη για τους μετασχηματιστές έντασης και στις δύο πλευρές, καθιστώντας έτσι την εφαρμογή τους απλούστερη, αλλά και την εφαρμογή των στοιχείων υπερέντασης ευκολότερη. Επίσης, οι δύο τελευταίες στήλες (συντελεστές C1, C2) είναι χρήσιμες για τη ρύθμιση επόμενης παραμέτρου (βλ. Current TAPs).

Πριν κλείσουμε την ανάλυση των παραμέτρων TRCON, CTCON, θα καταγράψουμε τις εξισώσεις που δίνουν τα αντισταθμισμένα ρεύματα, θεμελιώδους αρμονικής και για τα δύο τύλιγματα ( $n = 1$ , για το τύλιγμα 1 και  $n = 2$  για το τύλιγμα 2).

**Για CON $n$  = Y και RZS = N** (είναι η επόμενη παράμετρος που θα αναλύσουμε)

$$I1WnF1C = IAWnF1$$

$$I2WnF1C = IBWnF1$$

$$I3WnF1C = ICWnF1$$

**Για CON $n$  = Y και RZS = Y**

$$I1WnF1C = IAWnF1 - I0WnF1$$

$$I2WnF1C = IBWnF1 - I0WnF1$$

$$I3WnF1C = ICWnF1 - I0WnF1$$

$$\text{,όπου } 3I0WnF1 = IAWnF1 + IBWnF1 + ICWnF1$$

**Για CON $n$  = DAB**

$$I1WnF1C = \frac{IAWnF1 - IBWnF1}{\sqrt{3}}$$

$$I2WnF1C = \frac{IBWnF1 - ICWnF1}{\sqrt{3}}$$

$$I3WnF1C = \frac{ICWnF1 - IAWnF1}{\sqrt{3}}$$

**Για CON $n$  = DAC**

$$I1WnF1C = \frac{IAWnF1 - ICWnF1}{\sqrt{3}}$$

$$I2WnF1C = \frac{IBWnF1 - IAWnF1}{\sqrt{3}}$$

$$I3WnF1C = \frac{ICWnF1 - IBWnF1}{\sqrt{3}}$$

- **Remove Zero Sequence (RZS)**

Αποτελεί μια επιπλέον δυνατότητα που προσφέρει ο SEL-587-1 σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο (SEL-587-0). Ρυθμίζουμε την παράμετρο αυτή στην επιλογή Y(Yes) για να απαλείψουμε το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας στους υπολογισμούς της διαφορικής προστασίας, στην περίπτωση που έχουμε μετασχηματιστή ισχύος με τουλάχιστον ένα τύλιγμα σε συνδεσμολογία δέλτα (Delta connection) και γειωμένο κέλυφος. Για τις άλλες περιπτώσεις, οι παράμετροι TRCON, CTCON, που αναλύσαμε προηγουμένως, απαλείφουν το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας αυτόματα.

- **Winding 1,2 CT Ratio (CTR1, CTR2)**

Η παράμετρος αυτή αφορά το λόγο μετασχηματισμού των μετασχηματιστών έντασης στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή ισχύος, που ορίζεται ως το πηλίκο της διαίρεσης του ρεύματος πρωτεύοντος με το ρεύμα δευτερεύοντος. Για παράδειγμα, ένας μετασχηματιστής έντασης 2000/5, έχει ονομαστική τιμή ρεύματος πρωτεύοντος 2000 A, ονομαστική τιμή ρεύματος δευτερεύοντος 5 A και λόγο μετασχηματισμού:  $CTR = 2000/5 = 400$ .

- **Demand Ammeter (DATC, PDEM, QDEM, NDEM)**

Ο SEL-587 παρέχει αμπερόμετρα ζήτησης για τα ρεύματα φάσης, αρνητικής ακολουθίας και ουδετέρου του τυλίγματος 1 (Winding 1). Ο ηλεκτρονόμος χρησιμοποιεί τη ρύθμιση demand ammeter time constant ή DATC (σε λεπτά) για τους υπολογισμούς και των τριών αμπερομέτρων που αναφέραμε. Τα αμπερόμετρα αυτά λειτουργούν ως εξής: όταν μηδενιστεί η μέτρηση σε κάποιο από αυτά και ταυτόχρονα εφαρμοστεί στις εισόδους του ηλεκτρονόμου ρεύμα σταθερής τιμής, το αμπερόμετρο θα αυξάνει σταδιακά την τιμή ρεύματος που μετράει και θα φτάσει το 90% της τιμής του εφαρμοζόμενου ρεύματος έπειτα από DATC λεπτά.

Για τα αμπερόμετρα φάσης (PDEM), αρνητικής ακολουθίας (QDEM) και ουδετέρου (NDEM) ρυθμίζουμε ένα άνω κατώφλι, το οποίο ορίζει τη μέγιστη τιμή ρεύματος που μπορούν να μετρήσουν. Αν το εφαρμοζόμενο ρεύμα ξεπεράσει κάποιο από τα κατώφλια αυτά, το αντίστοιχο Relay Word Bit (PDEM, QDEM ή NDEM) θέτεται (από 0 γίνεται 1). Συνεπώς, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα Relay Word Bits για να δίνουν σήμα ανεπιθύμητης κατάστασης (alarm), όπως για παράδειγμα υπερφόρτιση φάσης ή ασυμμετρία στα ρεύματα ουδετέρου και αρνητικής ακολουθίας.

### 3.2.2 Πεδίο Current TAPs

- **Winding 1,2 Current TAP (TAP1, TAP2)**

Οι συγκεκριμένες παράμετροι αφορούν την αντιστάθμιση που κάνει ο ηλεκτρονόμος (TAP Scaling), ώστε να είναι ίδια τα εισερχόμενα σε αυτόν ρεύματα, υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίες (βλ. σχήμα 2.9). Μπορεί να προκύψουν διαφορετικά εισερχόμενα ρεύματα, για παράδειγμα λόγω ανομοιομορφίας των λόγων μετασχηματισμού των μετασχηματιστών έντασης, λόγω ύπαρξης On Load Tap Changer (OLTC) σε κάποιο από τα τυλίγματα του μετασχηματιστή ισχύος που προστατεύει ο ηλεκτρονόμος κτλ. Αν δε γίνει η εν λόγω αντιστάθμιση, τα διαφορικά στοιχεία του ηλεκτρονόμου θα ενεργοποιούνται και σε περιπτώσεις που δεν είναι επιθυμητή η λειτουργία τους.

Θέτοντας την παράμετρο MVA = OFF, μπορούμε να δώσουμε απευθείας τιμές στις παραμέτρους TAP1, TAP2. Στις περισσότερες εφαρμογές, όμως, είναι επιθυμητό να υπολογίζει ο ηλεκτρονόμος αυτόματα τις τιμές αυτές. Οι τύποι που χρησιμοποιεί για να τις υπολογίσει είναι οι ακόλουθοι:

$$TAP1 = \frac{MVA \cdot 1000 \cdot C1}{\sqrt{3} \cdot VWDG1 \cdot CTR1}$$

$$TAP2 = \frac{MVA \cdot 1000 \cdot C2}{\sqrt{3} \cdot VWDG2 \cdot CTR2}$$

όπου, MVA, VWDGn, CTRn, είναι οι παράμετροι που αναλύσαμε προηγουμένως και C1, C2 είναι οι τιμές από τον πίνακα 3.1.

Ο ηλεκτρονόμος υπολογίζει τις ποσότητες TAP1, TAP2 με τους εξής ακόλουθους περιορισμούς:

1)  $0,1 \cdot I_N \leq TAP1, TAP2 \leq 32 \cdot I_N$

2)  $\frac{TAP_{MAX}}{TAP_{MIN}} \leq 4,5$

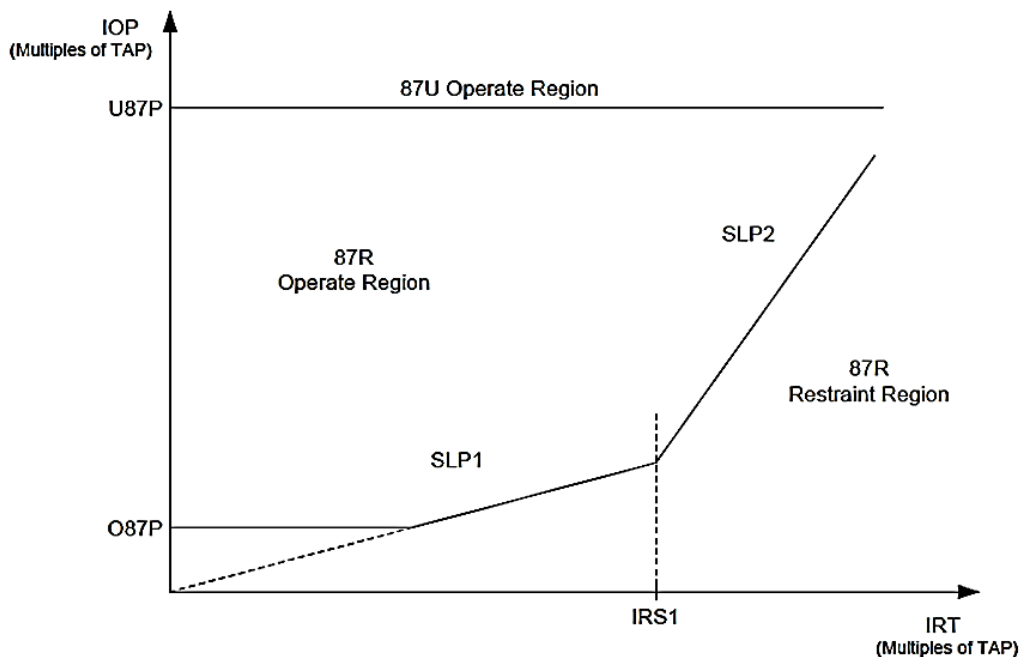
, όπου  $TAP_{MAX} = \max\{TAP1, TAP2\}$ ,  $TAP_{MIN} = \min\{TAP1, TAP2\}$  και  $I_N(A)$ , σε τιμές δευτερεύοντος.

### 3.2.3 Πεδίο Input Assignment

Οι παράμετροι IN1, IN2 που αποτελούν το πεδίο input assignment έχουν άμεση σχέση με τις παραμέτρους torque – control (βλ. 3.2.5.4) και χρησιμοποιούνται όταν επιθυμούμε να επιτηρείται η λειτουργία των στοιχείων του ηλεκτρονόμου από άλλες μονάδες ελέγχου, ηλεκτρονόμους ή από την κατάσταση διακοπών ισχύος, που σχετίζονται με τον προστατευόμενο εξοπλισμό.

### 3.2.4 Πεδίο Differential Elements

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 διαθέτει τρία στοιχεία διαφορικής προστασίας (ένα για κάθε φάση). Οι παράμετροι των στοιχείων αυτών (όλες σε ποσοστιαία μορφή) φαίνονται συγκεντρωμένες στο ακόλουθο σχήμα και έπεται εκτενής αναφορά στον τρόπο υπολογισμού τους.



Σχήμα 3.2: Χαρακτηριστική λειτουργίας τριφασικού στοιχείου 87 διαφορικής προστασίας

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται σαφές ότι 4 παράμετροι καθορίζουν πλήρως τη χαρακτηριστική του στοιχείου διαφορικής προστασίας με λειτουργία αναστολής (O87P, SLP1, SLP2, IRS1) και μία τη χαρακτηριστική του στοιχείου διαφορικής προστασίας χωρίς λειτουργία αναστολής (U87P).

- **Restrained Element Operating Current Pickup (O87P)**

Ρυθμίζουμε το κατώφλι ρεύματος λειτουργίας (operating pickup current) σε μία ελάχιστη τιμή για αυξημένη ευαισθησία, αλλά ταυτόχρονα αρκετά υψηλή, ώστε να αποφύγουμε πιθανή λειτουργία λόγω σφάλματος κανονικής λειτουργίας των μετασχηματιστών έντασης. Η τιμή 0,3 είναι μια προτεινόμενη ρύθμιση, που καλύπτει μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Το εύρος στο οποίο μπορεί να πάρει τιμές η παράμετρος O87P είναι 0,1÷1,0. Για την τιμή που επιλέγουμε πρέπει να ισχύει ο ακόλουθος περιορισμός:

$$O87P \geq 0,1 \cdot \frac{I_N}{TAP_{MIN}}$$

Για παράδειγμα, αν έχουμε  $TAP_{MIN} = 1,0$  και  $I_N = 5A$ , η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει η παράμετρος O87P είναι 0,5.

- **Restraint Slope Percentages (SLP1, SLP2, IRS1)**

Ρυθμίζουμε τις παραμέτρους αυτές έτσι ώστε να μη επενεργεί η διαφορική προστασία για διαφορές ρευμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, λόγω του on load tap changer (OLTC) του μετασχηματιστή ισχύος, του ρεύματος διέγερσής του, των σφαλμάτων μετασχηματιστών έντασης και των σφαλμάτων μέτρησης του ηλεκτρονόμου. Για να προσεγγίσουμε το συνολικό ποσοστό σφάλματος και κατά συνέπεια να ρυθμίσουμε κατάλληλα τις παραμέτρους αυτές, θα συμβουλευτούμε το ακόλουθο παράδειγμα:

→ Το σφάλμα του μετασχηματιστή έντασης είναι  $\pm 10\%$ . Σε ανά μονάδα (α.μ.) τιμές:

$$e = 0,1$$

→ Το εύρος του λόγου μετασχηματισμού της τάσης είναι, λόγω του OLTC, 90% ως 110%. Συνεπώς, η μέγιστη απόκλιση που υπεισέρχεται είναι:

$$a = 0,1$$

→ Η μεγαλύτερη διαφορά ρευμάτων συναντάται, όταν τα ρεύματα εισόδου στο μετασχηματιστή ισχύος μετρούνται με το μέγιστο θετικό σφάλμα του μετασχηματιστή έντασης και τα ρεύματα εξόδου μετρούνται με το μέγιστο αρνητικό σφάλμα του αντίστοιχου μετασχηματιστή έντασης προσαυξημένα με τη μέγιστη απόκλιση, λόγω OLTC. Σε συνθήκες εξωτερικού σφάλματος (εκτός της περιοχής επιτήρησης της διαφορικής προστασίας) ή κανονικής λειτουργίας, το συνολικό ρεύμα εισόδου πρέπει να ισούται με το συνολικό ρεύμα εξόδου. Συνεπώς, το μέγιστο δυνατό σφάλμα θα ισούται με:

$$(1 + e) - \frac{1 - e}{1 + a} = 1,1 - \frac{0,9}{1,1} = 0,2818 = 28,18\%$$

→ Στο παραπάνω σφάλμα αν προσθέσουμε το σφάλμα λόγω του ρεύματος διέγερσης, το οποίο είναι περίπου 3% και το σφάλμα μέτρησης του ηλεκτρονόμου, που είναι μικρότερο από 5%, **προκύπτει το συνολικό μέγιστο σφάλμα στη διαφορά των μετρούμενων ρευμάτων, το οποίο ανέρχεται στο 36%.**

Σε περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε μόνο μία κλίση (σταθερή διαφορική προστασία), για το σχηματισμό της χαρακτηριστικής του στοιχείου με πηνίο αναστολής, μια συντηρητική τιμή για την παράμετρο SLP1 είναι το 40%, η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο φάσμα των εφαρμογών.

Κάνοντας χρήση και των δύο κλίσεων, βελτιώνεται η ευαισθησία του στοιχείου διαφορικής προστασίας στην περιοχή που το σφάλμα των μετασχηματιστών έντασης είναι αρκετά μικρό (περιοχή πρώτης κλίσης) και αυξάνεται η ασφάλεια στην περιοχή υψηλών διαφορικών ρευμάτων σφάλματος, όπου το σφάλμα των μετασχηματιστών έντασης είναι πολύ υψηλό (περιοχή δεύτερης κλίσης). Οι δύο περιοχές διαχωρίζονται μεταξύ τους, μέσω της παραμέτρου IRS1. Προτεινόμενες ρυθμίσεις είναι οι εξής:

- SLP1 = 25% (στην περιοχή αυτή μπορούμε να υποθέσουμε ότι το σφάλμα των μετασχηματιστών έντασης είναι μόνο 1%)
- SLP2 = 50% ως 60% (η τιμή 60% καλύπτει σφάλματα μετασχηματιστών έντασης μέχρι και 20%)
- IRS1 = 3,0 (per unit of TAP)

- **Instantaneous Unrestrained Pickup Current (U87P)**

Συνήθως, επιλέγεται τιμή γύρω από το 8% για τη ρύθμιση αυτής της παραμέτρου, χωρίς αυτό να είναι απόλυτο, μιας και αρκετές εφαρμογές μπορεί να επιβάλουν διαφορετικά όρια. Μια σημαντική παρατήρηση για το στοιχείο διαφορικής προστασίας χωρίς λειτουργία αναστολής είναι ότι ανταποκρίνεται μόνο σε ρεύματα θεμελιώδους αρμονικής. Είναι ένα ανεξάρτητο στοιχείο, χωρίς να επηρεάζεται από τις ρυθμίσεις SLP1, SLP2, IRS1, αλλά και τις PCT2, PCT4, PCT5, IHBL, τις οποίες θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει η παράμετρος U87P είναι 1,0 ως 16 φορές το TAP (per unit of TAP). Επίσης, πρέπει να ισχύει και ο ακόλουθος περιορισμός:

$$U87P \leq 32 \cdot \frac{I_N}{TAP_{MAX}}$$

Για παράδειγμα, αν  $TAP_{MAX} = 12,0$  A και  $I_N = 5$  A, η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η παράμετρος U87P είναι 13,3 (per unit of TAP).

- **Second-Harmonic Block Setting (PCT2)**

Όταν τίθεται σε λειτουργία ένας μετασχηματιστής ισχύος, παρατηρείται ένα αρκετά μεγάλο μεταβατικό ρεύμα μαγνήτισης, το οποίο γίνεται αντιληπτό μόνο από τη μία πλευρά του μετασχηματιστή, με αποτέλεσμα την πρόκληση μεγάλου διαφορικού ρεύματος στην είσοδο του ηλεκτρονόμου. Το μεταβατικό ρεύμα αυτό περιέχει αρμονικές συνιστώσες άρτιας τάξης, με μεγάλη απόλυτη τιμή. Συνεπώς, η παράμετρος αυτή χρησιμεύει στο να διακρίνει το μεταβατικό φαινόμενο από τις ανεπιθύμητες καταστάσεις και να αποτρέπει τον ηλεκτρονόμο να λειτουργεί, όταν το μέτρο της 2<sup>ης</sup> αρμονικής συνιστώσας, στο εισερχόμενο ρεύμα, ξεπερνά τη ρύθμιση PCT2 (ως ποσοστό της θεμελιώδους συνιστώσας).

Από προσομοιώσεις ενεργοποίησης μετασχηματιστών έχει παρατηρηθεί ότι το περιεχόμενο του μεταβατικού ρεύματος μαγνήτισης σε συνιστώσα 2<sup>ης</sup> αρμονικής είναι πάνω από 30%, στον πρώτο κύκλο. Μία προτεινόμενη τιμή ρύθμισης για την παράμετρο PCT2, που καλύπτει μεγάλο εύρος εφαρμογών, είναι το 15%. Υπάρχουν, όμως, και περιπτώσεις, που το κατάφλι αυτό πρέπει να οριστεί πολύ πιο χαμηλά (π.χ. 7%).

Όταν έχουμε ενεργοποιημένη την παράμετρο HRSTR (harmonic restraint, την οποία αναλύουμε στη συνέχεια της ενότητας), η τιμή που έχουμε ορίσει για τη μεταβλητή PCT2 αντισταθμίζει την κλίση της τροποποιημένης χαρακτηριστικής του διαφορικού στοιχείου προστασίας. Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της PCT2 τόσο μικρότερη είναι η αύξηση στην κλίση της χαρακτηριστικής.

Υπάρχει η δυνατότητα να απενεργοποιήσουμε αυτήν την παράμετρο, ρυθμίζοντας τη στο OFF. Η επιλογή αυτή, όμως, δεν ενδείκνυται, όταν είναι ενεργοποιημένη η παράμετρος HRSTR.

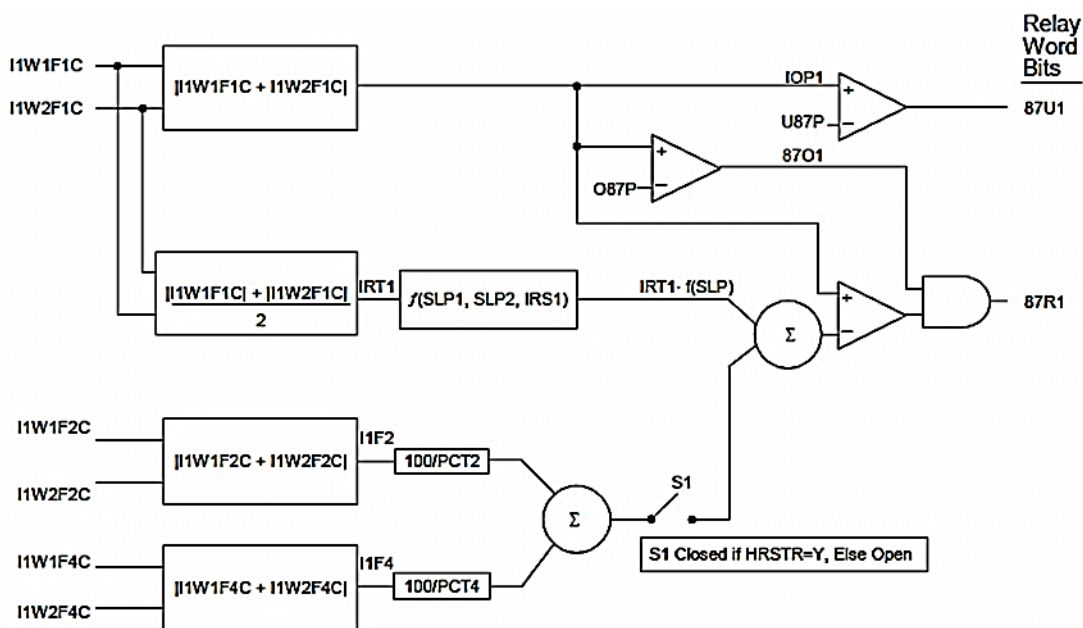
• **Fourth-Harmonic Block Setting (PCT4)**

Πρόκειται για μία επιπρόσθετη δυνατότητα του SEL-587-1, σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο. Όμοια με την προηγούμενη παράμετρο, τα μεταβατικά ρεύματα μαγνήτισης κατά την ενεργοποίηση του μετασχηματιστή είναι πλούσια σε περιεχόμενο συνιστώσας 4<sup>ης</sup> αρμονικής τάξης. Ορίζουμε ένα κατώφλι για το διαφορικό στοιχείο προστασίας, πάνω από το οποίο δε θα επιτρέπεται η λειτουργία του. Προτεινόμενη ρύθμιση είναι το 15%.

Επιπλέον, η τιμή αυτή χρησιμοποιείται για αντιστάθμιση της κλίσης της χαρακτηριστικής του διαφορικού στοιχείου, όπως και στην προηγούμενη παράμετρο, όταν είναι ενεργοποιημένη η παράμετρος HRSTR. Ομοίως, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της μεταβλητής PCT4, τόσο μικρότερη είναι η αύξηση στην κλίση της χαρακτηριστικής.

Και σε αυτήν την παράμετρο μας δίνεται η δυνατότητα να την απενεργοποιήσουμε με τη ρύθμιση OFF.

Ακολουθεί σχήμα όπου φαίνεται το κύκλωμα σε επίπεδο πυλών, που είναι υπεύθυνο για τις αποφάσεις που λαμβάνει το στοιχείο διαφορικής προστασίας 87.



Σχήμα 3.3: Κύκλωμα λογικής αποφάσεων του διαφορικού στοιχείου 87

• **Fifth-Harmonic Blocking (PCT5, TH5, TH5D)**

Η παράμετρος αυτή είναι άμεσα συσχετισμένη με το φαινόμενο της υπερδιέγερσης στους μετασχηματιστές. Η υπερδιέγερση έχει οριστεί (ANSI/IEEE C37.91, C37.102) ως η κατάσταση κατά την οποία ο λόγος τάσης-συχνότητας (V/Hz) υπερβαίνει το 1,05 α.μ. στο πλήρες φορτίο ή το 1,1 α.μ. στο κενό φορτίο. Το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για την παραγωγή αρμονικών περιττής τάξης, οι οποίες μπορούν να προξενήσουν τη δημιουργία διαφορικού ρεύματος και κατά συνέπεια τη λειτουργία του διαφορικού στοιχείου 87. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται πρωτίστως σε μετασχηματιστές ανύψωσης σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η συχνότητα της γεννήτριας αλλά και η τάση στο μετασχηματιστή μπορεί να μεταβάλλονται αισθητά κατά τη διαδικασία της εκκίνησης.

Αναλύσεις Fourier των ρευμάτων σε συνθήκες υπερδιέγερσης υποδεικνύουν ότι ρύθμιση της τάξης του 35% για την παράμετρο PCT5 είναι επαρκής για την αποφυγή ανεπιθύμητης λειτουργίας του διαφορικού στοιχείου.

Η μεταβλητή αυτή είναι ανεξάρτητη από τη ρύθμιση HRSTR και δεν έχει καμία επίδραση στο σχηματισμό της χαρακτηριστικής του διαφορικού στοιχείου.

Επίσης, δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε την παρουσία 5<sup>ης</sup> τάξης αρμονικών συνιστωσών στο ρεύμα, μέσω της παραμέτρου TH5, για να σημάνει ένας συναγερμός (alarm), ή



να τυπωθεί μια αναφορά γεγονότος (event report), μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, που ρυθμίζεται μέσω της παραμέτρου TH5D.

Για τη μεταβλητή TH5 (p.u. of TAP) πρέπει να ισχύει ο εξής περιορισμός:

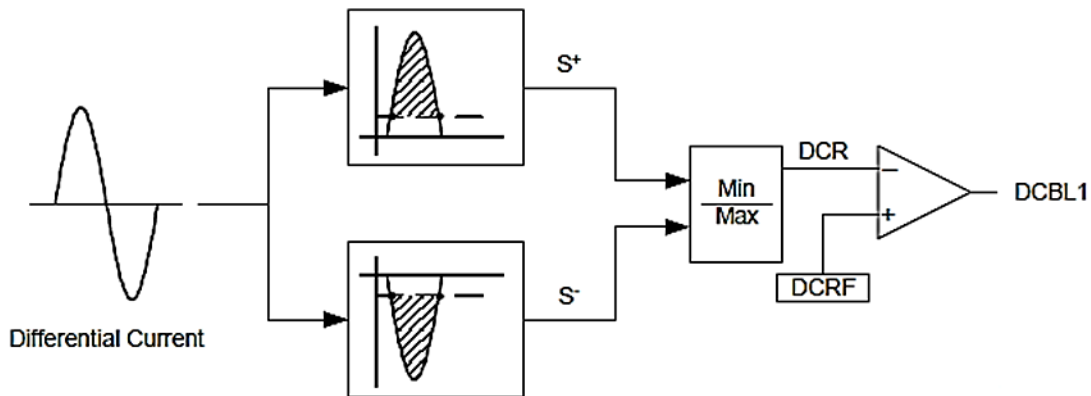
$$TAP_{MIN} \cdot TH5 \geq 0,1 \cdot I_N$$

Για παράδειγμα, αν  $TAP_{MIN} = 1,0$  A και  $I_N = 5$  A, η ελάχιστη τιμή για την παράμετρο TH5 είναι το 0,5.

- **DC Ratio Blocking (DCRB)**

Η παράμετρος αυτή είναι μία από τις καινοτομίες του SEL-587-1 σε σχέση με το SEL-587-0. Αφορά την dc συνιστώσα που μπορεί να παρατηρηθεί στα μεταβατικά ρεύματα και με την ενεργοποίησή του αποφεύγεται η ανεπιθύμητη λειτουργία του ηλεκτρονόμου, όταν ανιχνεύει την ύπαρξή της. Σε εφαρμογές του SEL-587-1 για προστασία γεννητριών ή προστασία ομάδας μετασηματιστών σε σταθμούς παραγωγής, ρυθμίζουμε την παράμετρο στην επιλογή OFF, γιατί η παρουσία dc συνιστώσας στο ρεύμα μπορεί να προκαλέσει σοβαρές φθορές στον εξοπλισμό.

Ακολουθεί σχήμα, όπου απεικονίζεται το κύκλωμα λογικής της εν λόγω παραμέτρου.



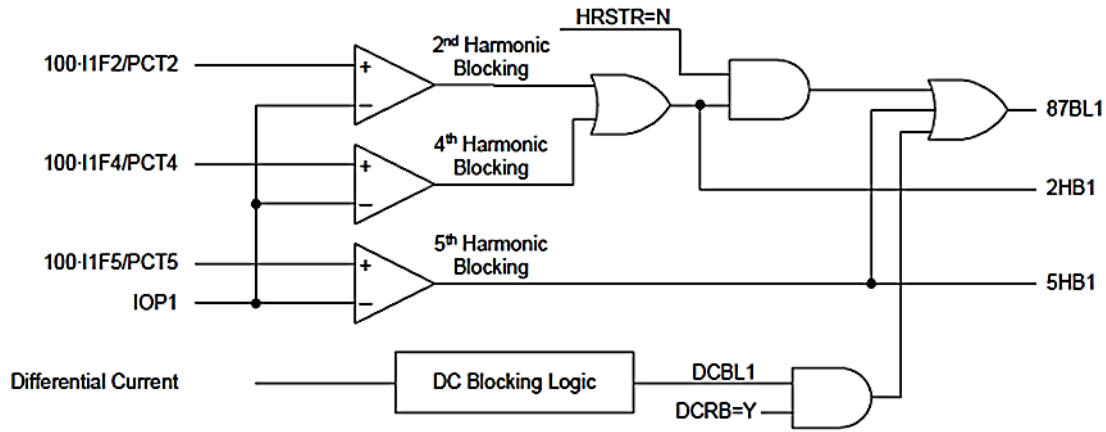
Σχήμα 3.4: Κύκλωμα λογικής DC Blocking

- **Harmonic Restraint (HRSTR)**

Αποτελεί, επίσης, μία νέα δυνατότητα του SEL-587-1 και αφορά την προστασία του εξοπλισμού από τις αρμονικές συνιστώσες ρεύματος άρτιας τάξης. Έχει αντίθετη λογική από τις προηγούμενες παραμέτρους, αφού συντελεί στη λειτουργία του διαφορικού στοιχείου 87 και όχι στην παρεμπόδιση (όπως οι blocking παράμετροι). Η ενεργοποίηση της μεταβλητής αυτής συνεπάγεται αυτόματη ενεργοποίηση της παραμέτρου IHBL (Independent harmonic blocking, είναι η επόμενη παράμετρος που αναλύουμε). Τα αντισταθμισμένα από τις παραμέτρους PCT2, PCT4 αρμονικά ρεύματα 2<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> τάξης προστίθενται στο σχηματισμό της χαρακτηριστικής του διαφορικού στοιχείου.

Η παράμετρος HRSTR σε συνδυασμό με τα στοιχεία fifth-harmonic και dc blocking προσφέρουν τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια που μπορεί να παρέχει ο ηλεκτρονόμος SEL-587-1.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το κύκλωμα, σε επίπεδο λογικών πυλών, που αποφασίζει για το αν πρέπει να δοθεί εντολή παρεμπόδισης (blocking logic), λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους που αναλύσαμε.



Σχήμα 3.5: Κύκλωμα λογικής blocking του διαφορικού στοιχείου 87

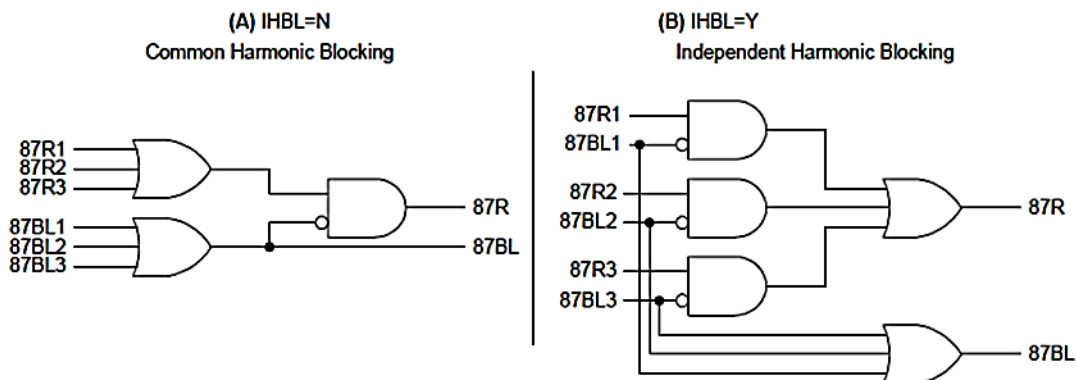
• **Independent Harmonic Blocking Element (IHBL)**

Οι κλασικοί μονοφασικοί ηλεκτρονόμοι εκτελούν συγκρίσεις του αρμονικού περιεχομένου των ρευμάτων της φάσης που επιτηρεί ο καθένας. Ο SEL-587 μπορεί να υπολογίζει, να συγκρίνει και να δίνει εντολές παρεμπόδισης λειτουργίας του διαφορικού στοιχείου με δύο τρόπους:

1. Independent Harmonic Blocking (IHBL = Y): παρεμποδίζει τη λειτουργία του διαφορικού στοιχείου της φάσης, στην οποία το αρμονικό περιεχόμενο του ρεύματος είναι πάνω από το ορισμένο κατώφλι. Τα διαφορικά στοιχεία των άλλων φάσεων δεν επηρεάζονται από αυτήν τη διαδικασία.
2. Common Harmonic Blocking (IHBL = N): παρεμποδίζει τη λειτουργία όλων των φασικών διαφορικών στοιχείων, αν παρατηρηθεί έστω και σε μία φάση τιμή αρμονικού περιεχομένου πάνω από το αντίστοιχο κατώφλι.

Η διαδικασία του Common Harmonic Blocking είναι πιο ασφαλής, αλλά ταυτόχρονα ελαφρώς πιο αργή από αυτή του Independent Harmonic Blocking, επειδή δεν επιτρέπει σε κανένα φασικό διαφορικό στοιχείο να λειτουργήσει σε περίπτωση ανεπιθύμητης κατάστασης, αν το αρμονικό περιεχόμενο του ρεύματος και στις τρεις φάσεις δεν είναι κάτω από το κατώφλι που έχουμε ορίσει.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα κυκλώματα αποφάσεων των δύο παραπάνω διαδικασιών.



Σχήμα 3.6: Κυκλώματα αποφάσεων των διαδικασιών Common και Independent Harmonic Blocking

**3.2.5 Πεδία Winding 1, 2 Phase, Negative-Sequence, Residual Overcurrent Elements**

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 περιέχει δύο ομάδες στοιχείων υπερέντασης (μη εφοδιασμένα με στοιχεία κατεύθυνσης), μία για κάθε τύλιγμα του μετασχηματιστή ισχύος, όπως έχουμε αναφέρει και στην εισαγωγή. Όλα τα στοιχεία υπερέντασης που διαθέτει ο SEL-587 (στιγμιαίο, σταθερού χρόνου, αντίστροφου χρόνου) έχουν ανεξάρτητα ρεύματα κατωφλίου (pickup currents) και χρονικές παραμέτρους.

Τα στοιχεία υπερέντασης μετρούν τη θεμελιώδη (50 ή 60 Hz) συνιστώσα των ρευμάτων που εισέρχονται στα τυλίγματα κάνουν τους απαραίτητους υπολογισμούς και αναλόγως δίνουν την κατάλληλη εντολή μέσω των εξόδων τους.

Αν οι μετασχηματιστές έντασης σε ένα τύλιγμα είναι συνδεδεμένοι σε αστέρα, ο ηλεκτρονόμος μπορεί να παρέχει στοιχεία υπερέντασης φάσης, αρνητικής ακολουθίας και ουδετέρου. Σε περίπτωση που ο μετασχηματιστές έντασης είναι συνδεδεμένοι σε τρίγωνο, τότε ο ηλεκτρονόμος μπορεί να παρέχει στοιχεία υπερέντασης φάσης και αρνητικής ακολουθίας μόνο, αφού η συγκεκριμένη συνδεσμολογία δεν επιτρέπει τη διέλευση ρευμάτων μηδενικής ακολουθίας. Σε καινούριες εφαρμογές συνηθίζεται η χρήση μετασχηματιστών έντασης σε συνδεσμολογία αστέρα, όπου είναι αυτό δυνατό, για να μεγιστοποιήσουμε τις δυνατότητες προστασίας του ηλεκτρονόμου και για να απλοποιήσουμε τη ρύθμισή του.

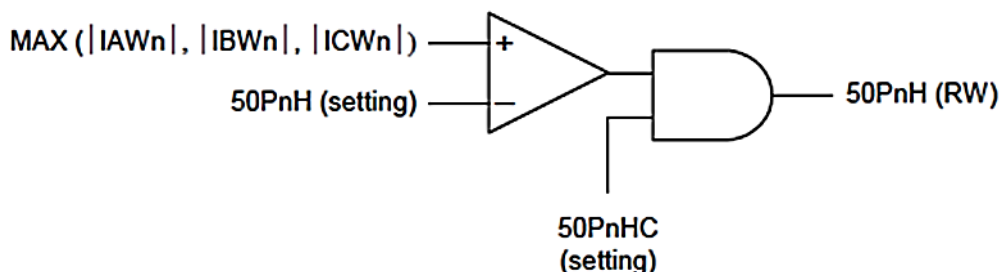
Τα στοιχεία υπερέντασης του SEL-587 φαίνονται συγκεντρωμένα στον παρακάτω πίνακα.

	Στιγμιαία στοιχεία	Στοιχεία σταθερού χρόνου	Στοιχεία αντίστροφου χρόνου
<u>Φάσης (Ia, Ib, Ic)</u>			
Τύλιγμα 1	50P1H	50P1	51P1
Τύλιγμα 2	50P2H	50P2	51P2
<u>Αρνητικής ακολουθίας (IQ=3I<sub>2</sub>)</u>			
Τύλιγμα 1		50Q1	51Q1
Τύλιγμα 2		50Q2	51Q2
<u>Ουδετέρου (IR=Ia+Ib+Ic)</u>			
Τύλιγμα 1	50N1H	50N1	51N1
Τύλιγμα 2	50N2H	50N2	51N2

**Πίνακας 3.2:** Στοιχεία υπερέντασης και συμβολισμοί για τον SEL-587

**3.2.5.1 Στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης (Instantaneous overcurrent element)**

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το λογικό κύκλωμα του στιγμιαίου στοιχείου υπερέντασης φάσης. Όμοια λογική ακολουθεί και το στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης ουδετέρου.

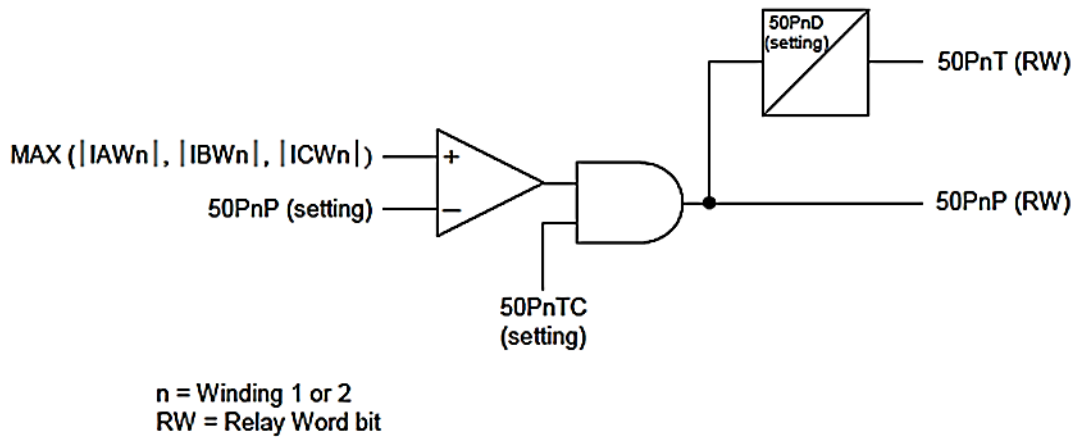


n = Winding 1 or 2  
RW = Relay Word bit

**Σχήμα 3.7:** Στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης φάσης

3.2.5.2 Στοιχείο υπερέντασης σταθερού χρόνου (Definite-time overcurrent element)

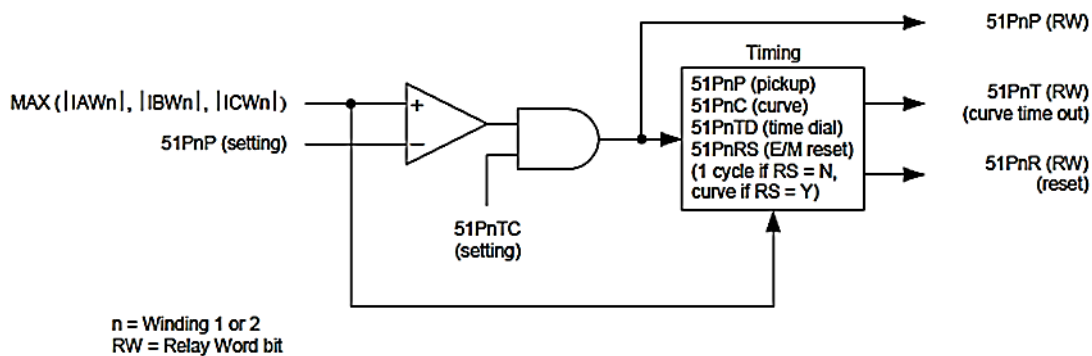
Το κύκλωμα λογικής του στοιχείου σταθερού χρόνου φαίνεται στο σχήμα 3.8. Εκτός από την έξοδο που παρέχει το στοιχείο μέσω του χρονικού 50PnD (μετράει το χρόνο που έχουμε ορίσει για το στοιχείο σταθερού χρόνου), έχει και μία στιγμιαία έξοδο, για διαγνωστικό έλεγχο του στοιχείου. Τα στοιχεία αρνητικής ακολουθίας και ουδετέρου έχουν όμοια λογική.



Σχήμα 3.8: Κύκλωμα λογικής στοιχείου υπερέντασης σταθερού χρόνου φάσης

3.2.5.3 Στοιχείο υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου (Inverse-time overcurrent element)

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται το κύκλωμα λογικής του στοιχείου αντιστρόφου χρόνου φάσης. Το στοιχείο αυτό παρέχει έξοδο αντιστρόφου χρόνου, στιγμιαία έξοδο και έξοδο επαναφοράς (reset). Οι δύο τελευταίες χρησιμοποιούνται για διαγνωστικούς ελέγχους στο στοιχείο. Τα στοιχεία αντιστρόφου χρόνου αρνητικής ακολουθίας και ουδετέρου, έχουν όμοια λογική.



Σχήμα 3.9: Στοιχείο υπερέντασης φάσης αντιστρόφου χρόνου

3.2.5.4 Ρυθμίσεις παραμέτρων

- **Pickup Settings (50PnP, 50PnH, 51PnP, 50QnP, 51QnP, 50NnP, 50NnH, 51NnP)**

Χρησιμοποιούμε αυτές τις παραμέτρους για να ρυθμίσουμε σε ποιο επίπεδο ρεύματος θα ενεργεί το στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης και θα ξεκινούν να μετρούν τα χρονικά για τα στοιχεία σταθερού και αντιστρόφου χρόνου. Υπάρχει και η δυνατότητα απενεργοποίησης ενός ή περισσότερων στοιχείων υπερέντασης, αν θέσουμε την αντίστοιχη παράμετρο στην τιμή OFF.

Μία γενική μεθοδολογία (την οποία θα ακολουθήσουμε κι εμείς στο επόμενο κεφάλαιο) ρύθμισης των στοιχείων υπερέντασης φάσης, αρνητικής ακολουθίας και ουδετέρου είναι η εξής: **ρυθμίζουμε το στοιχείο φάσης να προσφέρει προστασία υπερέντασης για τριφασικά σφάλματα, το αρνητικής ακολουθίας για διφασικά σφάλματα χωρίς γη και το στοιχείο ουδετέρου για σφάλματα γης (μονοφασικό και διφασικό).** Έτσι, έχουμε μοιράσει

συγκεκριμένους ρόλους στα στοιχεία του ηλεκτρονόμου μας, κάνοντας πιο εύκολη την επιτήρηση των αναφορών γεγονότων καθώς και τη μελέτη επιλογικής συνεργασίας (coordination) με τα υπόλοιπα στοιχεία υπερέντασης του συστήματος.

- **Torque-Control Settings (50PnTC, 50PnHC, 51PnTC, 50QnTC, 51QnTC, 50NnTC, 50NnHC, 51NnTC)**

Όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 3.2.3 οι παράμετροι αυτοί εξαρτώνται από την τιμή των παραμέτρων IN1, IN2 και χρησιμοποιούνται όταν είναι επιθυμητή η επιτήρηση και η δυνατότητα επέμβασης στη λειτουργία των στοιχείων υπερέντασης από μονάδες ελέγχου ή ηλεκτρονόμους που σχετίζονται με τον SEL-587, σε δεδομένη εφαρμογή.

- **Time-Delay Settings (50PnD, 50QnD, 50NnD)**

Ρυθμίζουμε τη χρονική καθυστέρηση των στοιχείων σταθερού χρόνου, ανάλογα τη συνεργασία που θέλουμε να πετύχουμε με τις προστασίες υπερέντασης του εξοπλισμού του κατάντους δικτύου.

- **Curve Shape (51PnC, 51QnC, 51NnC) and Time-Dial (51PnTD, 51QnTD, 51NnTD) Settings**

Επιλέγουμε τη μορφή καμπυλών και τη χρονική παράμετρο TDS που είναι επιθυμητή για τη συνεργασία των στοιχείων υπερέντασης φάσης, αρνητικής ακολουθίας και ουδέτερου με τα αντίστοιχα στοιχεία του εξοπλισμού του κατάντους δικτύου. Υπάρχουν δύο οικογένειες καμπυλών: οι US Curves και οι IEC Curves, των οποίων οι εξισώσεις και οι γραφικές παραστάσεις υπάρχουν στον οδηγό χρήσης του ηλεκτρονόμου [34].

- **Reset Characteristic Settings (51PnRS, 51QnRS, 51NnRS)**

Η παράμετρος αυτή προσφέρει τη δυνατότητα στα στοιχεία υπερέντασης να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση (reset), όπως οι κλασικοί ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι, όταν η τιμή του ρεύματος πέσει κάτω από το αντίστοιχο κατώφλι ρύθμισης (pickup setting).

Θέτουμε την παράμετρο 51xxRS στην επιλογή Y(Yes), όταν ο SEL-587 πρέπει να συνεργαστεί με ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους του ανάντους δικτύου.

Ρυθμίζουμε την παράμετρο 51xxRS στην επιλογή N(No), όταν ο SEL-587 πρέπει να συνεργαστεί με ψηφιακούς ηλεκτρονόμους του ανάντους δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται πλήρης επαναφορά, με γραμμικό τρόπο, στα αρχικά χαρακτηριστικά, σε χρονικό διάστημα ενός κύκλου ρολογιού.

### 3.2.6 Πεδίο Power System Data

- **Nominal Frequency (NFREQ)**

Ρυθμίζουμε την παράμετρο NFREQ ίση με την ονομαστική συχνότητα του δικτύου μας, δηλαδή 50 Hz ή 60 Hz.

- **Phase Rotation (PHROT)**

Ρυθμίζουμε την παράμετρο PHROT ίση με την ακολουθία φάσεων του συστήματός μας, δηλαδή ABC (θετική ακολουθία) ή ACB (αρνητική ακολουθία).

### 3.3 Λογικές ενεργοποίησης (tripping), κλεισίματος (closing) και στόχευσης (targeting) – Περιγραφή των αντίστοιχων ρυθμίσεων (Περιοχή SET L Command (Logic) στο setting sheet)

#### 3.3.1 Relay Word Bits

Ο SEL-587-1 εκτελεί ψηφιακό φιλτράρισμα 8 φορές σε κάθε κύκλο, χρησιμοποιώντας τα δείγματα δεδομένων από τις 6 αναλογικές εισόδους ρευμάτων του. Περιέχει 3 διαφορετικά ψηφιακά φίλτρα ώστε να μπορεί να αποσπά από τα σήματα την θεμελιώδη, την 2<sup>η</sup> και την 5<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα. Με αυτές τις πληροφορίες διαθέσιμες, ο ηλεκτρονόμος υπολογίζει τα μέτρα των ηλεκτρικών μεγεθών που το αφορούν, τους αλγορίθμους διαφορικής προστασίας καθώς και τις λογικές λειτουργίες.

Για να είναι όλες αυτές οι πληροφορίες διαθέσιμες σε όλα τα λογικά κυκλώματα του ηλεκτρονόμου, αποθηκεύονται σε μία κοινή περιοχή που λέγεται Relay Word. Η Relay Word απαρτίζεται από θέσεις που ονομάζονται Relay Word Bits και αναπαριστούν με ένα απλό λογικό 0 ή 1 τις καταστάσεις των διαφόρων στοιχείων προστασίας του ηλεκτρονόμου και των λογικών του λειτουργιών. Όλα τα Relay Word Bits ανανεώνονται κάθε 8<sup>ο</sup> του κύκλου.

Ακολουθεί μία λίστα με όλα τα διαθέσιμα Relay Word Bits, την περιγραφή τους και τις εφαρμογές, στις οποίες προτείνεται η χρήση τους.

Row	Bit	Περιγραφή	Εφαρμογές
1	51P1P	Winding 1 Phase Time-Overcurrent Pickup	Event Triggering, Testing
	51Q1P	Winding 1 Negative-Sequence Time-Overcurrent Pickup	
	51N1P	Winding 1 Residual Time-Overcurrent Pickup	
	51P1T	Winding 1 Phase Time-Overcurrent Trip	Tripping
	51Q1T	Winding 1 Negative-Sequence Time-Overcurrent Trip	
	51N1T	Winding 1 Residual Time-Overcurrent Trip	
	RB1	Remote Bit 1	User Definable
2	50P1P	Winding 1 Phase Definite-Time Pickup	Event Triggering, Testing
	50Q1P	Winding 1 Negative-Sequence Definite-Time Pickup	
	50N1P	Winding 1 Residual Definite-Time Pickup	
	50P1T	Winding 1 Phase Definite-Time Trip	Tripping
	50Q1T	Winding 1 Negative-Sequence Definite-Time Trip	
	50N1T	Winding 1 Residual Definite-Time Trip	
	50P1H	Winding 1 Phase Instantaneous Trip	
	50N1H	Winding 1 Residual Instantaneous Trip	
3	51P2P	Winding 2 Phase Time-Overcurrent Pickup	Event Triggering, Testing
	51Q2P	Winding 2 Negative-Sequence Time-Overcurrent Pickup	
	51N2P	Winding 2 Residual Time-Overcurrent Pickup	
	51P2T	Winding 2 Phase Time-Overcurrent Trip	Tripping
	51Q2T	Winding 2 Negative-Sequence Time-Overcurrent Trip	
	51N2T	Winding 2 Residual Time-Overcurrent Trip	
	RB2	Remote Bit 2	User Definable
4	50P2P	Winding 2 Phase Definite-Time Pickup	Event Triggering, Testing
	50Q2P	Winding 2 Negative-Sequence Definite-Time Pickup	
	50N2P	Winding 2 Residual Definite-Time Pickup	
	50P2T	Winding 2 Phase Definite-Time Trip	Tripping
	50Q2T	Winding 2 Negative-Sequence Definite-Time Trip	

	50N2T	Winding 2 Residual Definite-Time Trip	
	50P2H	Winding 2 Phase Instantaneous Trip	
	50N2H	Winding 2 Residual Instantaneous Trip	
5	87U1	Phase 1 Unrestrained Differential Element	Testing, Indication
	87U2	Phase 2 Unrestrained Differential Element	
	87U3	Phase 3 Unrestrained Differential Element	
	87U	$87U=87U1+87U2+87U3$	Tripping
	87R1	Phase 1 Restrained Differential Element	Testing, Indication
	87R2	Phase 2 Restrained Differential Element	
	87R3	Phase 3 Restrained Differential Element	
	87R	Percentage Restrained Differential Element, Including Harmonic Blocking	Tripping
6	2HB1	Phase 1 Second- or Fourth-Harmonic Block	Testing, Indication
	2HB2	Phase 2 Second- or Fourth-Harmonic Block	
	2HB3	Phase 3 Second- or Fourth-Harmonic Block	
	5HB1	Phase 1 Fifth-Harmonic Block	
	5HB2	Phase 2 Fifth-Harmonic Block	
	5HB3	Phase 3 Fifth-Harmonic Block	
	87BL	$87BL=2HB1+5HB1+2HB2+5HB2+2HB3+5HB3$	
	RB3	Remote Bit 3	User definable
7	TH5P	Fifth-Harmonic Alarm Pickup	Event Triggering, Testing
	TH5T	Fifth-Harmonic Alarm	Tripping, Indication
	PDEM	Phase Demand Threshold Exceeded	Indication
	NDEM	Residual Demand Threshold Exceeded	
	QDEM	Negative-Sequence Demand Threshold Exceeded	
	TRP1	Trip 1, initiated by MTU1	Trip Output
	TRP2	Trip 2, initiated by MTU2	
	TRP3	Trip 3, initiated by MTU3	
8	OC1	OPEN command, Breaker 1 (χρήση μόνο μέσα σε εξίσωση κάποιου MTU)	Tripping
	OC2	OPEN command, Breaker 2 (χρήση μόνο μέσα σε εξίσωση κάποιου MTU)	
	CC1	CLOSE command, Breaker 1	Closing
	CC2	CLOSE command, Breaker 2	
	IN1	Logic Input 1	Testing, Indication
	IN2	Logic Input 2	
	52A1	Breaker 1 Auxiliary Contact Status	
	52A2	Breaker 2 Auxiliary Contact Status	
9	MTU3	SELogic Control Equation Variable	TRP3 Trip Initiation
	MTU2	SELogic Control Equation Variable	TRP2 Trip Initiation
	MTU1	SELogic Control Equation Variable	TRP1 Trip Initiation
	MER	SELogic Control Equation Variable	Event Triggering

	YT	Time-Delayed Pickup/Dropout Y Variable	User Definable
	Y	SELogic Control Equation Variable	
	XT	Time-Delayed Pickup/Dropout Y Variable	
	X	SELogic Control Equation Variable	
10	51P1R		Testing, Indication
	51Q1R		
	51N1R		
	51P2R		
	51Q2R		
	51N2R		
	RB4	Remote Bit 4	User Definable
11	ALARM	Relay ALARM Output	Testing, Indication
	OUT1	Relay OUT1 Output	
	OUT2	Relay OUT2 Output	
	OUT3	Relay OUT3 Output	
	OUT4	Relay OUT4 Output	

*Πίνακας 3.3: Περιγραφή των Relay Word Bits*

### 3.3.2 Εξισώσεις ελέγχου SELogic

Οι εξισώσεις ελέγχου SELogic επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει το σενάριο κατά το οποίο θα ενεργοποιείται κάποιο Relay Word Bit π.χ. για να δώσει εντολή να δημιουργηθεί κάποια αναφορά γεγονόςτος ή να κλείσει μια επαφή εξόδου κλπ. Οι λογικοί τελεστές που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις εξισώσεις είναι οι εξής:

Σύμβολο	Λογικός τελεστής (Boolean)
*	AND
+	OR
!	INVERT

Εάν είναι επιθυμητή η απενεργοποίηση κάποιας από τις εξισώσεις ελέγχου SELogic, αρκεί η πληκτρολόγηση της φράσης NA, στο πεδίο της. Ακόμη, υπάρχουν περιορισμοί κατά το σχηματισμό των εν λόγω εξισώσεων, οι οποίοι είναι:

- Ο συνολικός αριθμός των Relay Word Bits που χρησιμοποιούνται στις 10 διαθέσιμες SELogic εξισώσεις ελέγχου του relay, δεν πρέπει να ξεπερνά το 124.
- Δεν χρειάζεται η πληκτρολόγηση κενών ανάμεσα στα Relay Word Bits και τους λογικούς τελεστές.
- Δεν είναι δυνατή η χρήση πάνω από 80 χαρακτήρες σε κάθε γραμμή μια εξίσωσης. Αν η επιθυμητή εξίσωση αποτελείται από περισσότερους από 80 χαρακτήρες, ο χρήστης πληκτρολογεί «\» ως 80<sup>ο</sup> χαρακτήρα, και πατώντας ENTER συνεχίζει στην επόμενη γραμμή.
- Καμία εξίσωση ελέγχου δεν μπορεί να έχει περισσότερους από 180 χαρακτήρες συνολικά.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι διαθέσιμες SELogic εξισώσεις ελέγχου του SEL-587 και τα συμβατά Relay Word Bits που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε μία.



SELogic εξίσωση ελέγχου	Συμβατά Relay Word Bits
<b>X</b>	Relay Word 1-8. Do not use TRP1-3.
<b>Y</b>	Relay Word 1-8, plus X & XT. Do not use TRP1-3.
<b>MTU1</b>	Relay Word 1-8, plus X, XT, Y & YT. Do not use TRP1-3.
<b>MTU2</b>	Relay Word 1-8, plus X, XT, Y & YT. Do not use TRP1-3.
<b>MTU3</b>	Relay Word 1-8, plus X, XT, Y & YT. Do not use TRP1-3.
<b>MER</b>	Relay Word 1-8, plus X, XT, Y & YT.
<b>OUT1</b>	Relay Word 1-10
<b>OUT2</b>	Relay Word 1-10
<b>OUT3</b>	Relay Word 1-10
<b>OUT4</b>	Relay Word 1-10

Πίνακας 3.4: Relay Word Bits και SELogic εξισώσεις ελέγχου

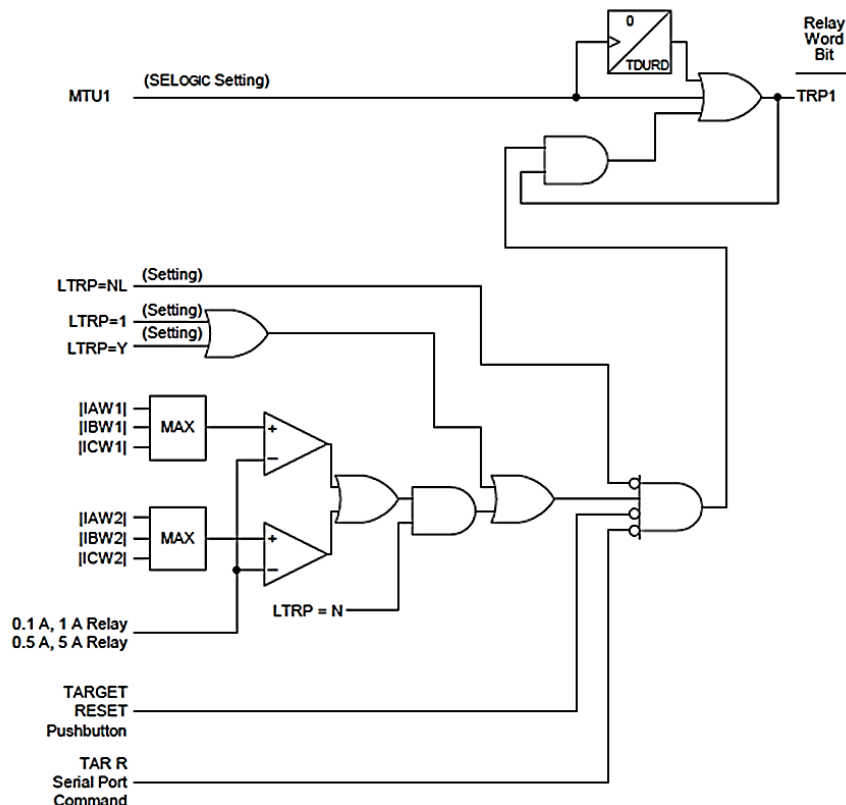
### 3.3.3 Λογικές λειτουργίες ηλεκτρονόμου

#### 3.3.3.1 Λειτουργίες ενεργοποίησης (tripping functions) – Πεδίο Tripping logic

Οι SELogic εξισώσεις ελέγχου MTU1-3 χρησιμοποιούνται για να οριστούν οι συνθήκες κατά τις οποίες θα τίθενται σε λογικό «1» τα Relay Word Bits TRP1-3 αντίστοιχα. Τα TRP1-3 Relay Word Bits θέτονται να ελέγχουν κάποια από τις επαφές εξόδου του ηλεκτρονόμου για να είναι δυνατή η αποστολή σήματος ενεργοποίησης προς τους διακόπτες ισχύος. Αν είναι επιθυμητή η ενεργοποίηση της εντολής OPEN, ο χρήστης πρέπει να εισάγει στις εξισώσεις των MTU1-2 τα Relay Word Bits OC1-2.

#### Πεδίο Miscellaneous Timers (Περιοχή SET Command στο setting sheet)

Η ρύθμιση LPTR καθορίζει αν τα bits TRP1-3 θα μανδαλώνουν στο λογικό «1» ή θα επιστρέφουν στο λογικό «0» μετά την πάροδο των συνθηκών ενεργοποίησης. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το λογικό διάγραμμα που δείχνει την επίδραση του LPTR με το bit TRP1 και γενικά την λογική ενεργοποίησης (trip).



Σχήμα 3.10 : Λογική ενεργοποίησης (trip logic diagram – TRP1)

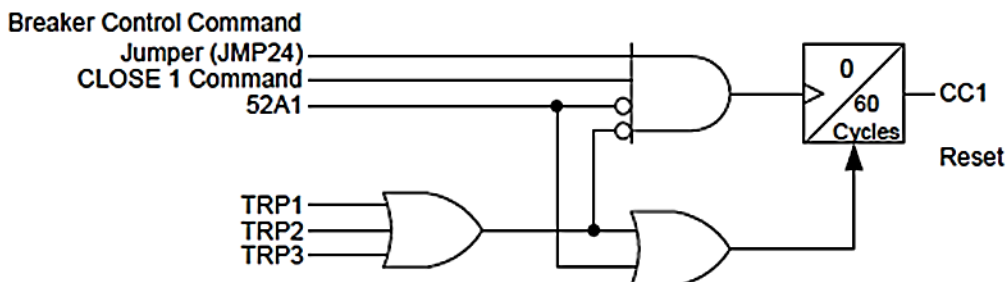
Για αποφυγή της μανδάλωσης που περιγράφηκε, αρκεί να τεθεί LPTR=NL και τα TRP1-3 θα επιστρέφουν στο λογικό «0» μόλις η συνθήκη ενεργοποίησης πάψει να ισχύει ή αφού παρέλθουν TDURD κύκλοι.

Για τη μανδάλωση του TRP1, ώστε να διατηρηθεί στη λογική τιμή 1, μετά από την εξάλειψη της συνθήκης ενεργοποίησης και το πέρας του χρονικού, ο χρήστης καλείται να ρυθμίσει τη μεταβλητή LTRP σύμφωνα με μία από τις δύο ακόλουθες εκδοχές:

- Θέτουμε το LTRP = Y, 1, 2, ή 3 για να ενεργοποιήσουμε τη λειτουργία μανδάλωσης ανεξαρτήτως της τιμής του ρεύματος. Με την επιλογή Y θα μανδαλώνουν όλες οι επαφές ενεργοποίησης, ενώ με τις υπόλοιπες μόνο αυτές τις οποίες καθορίζει ο αριθμός. Για επαναφορά των bits στο λογικό «0», πατάμε το κουμπί TARGET RESET στην μπροστινή όψη του ηλεκτρονόμου ή δίνουμε την εντολή TARGET R μέσω τερματικού.
- Θέτουμε το LTRP=N για να ενεργοποιήσουμε τη μανδάλωση όταν η τιμή του ρεύματος ξεπερνά ένα όριο ( $0.1 \cdot I_{nom}$ ). Ο ηλεκτρονόμος επαναφέρεται όταν το ρεύμα πέσει κάτω από το όριο αυτό. Για επαναφορά των bits στο λογικό «0», όταν η τιμή του ρεύματος εξακολουθεί να ξεπερνά αυτό το όριο, πατάμε το κουμπί TARGET RESET στην μπροστινή όψη του ηλεκτρονόμου ή δίνουμε την εντολή TARGET R μέσω τερματικού.

### 3.3.3.2 Λειτουργίες κλεισίματος (closing functions) – Πεδίο Input assignment

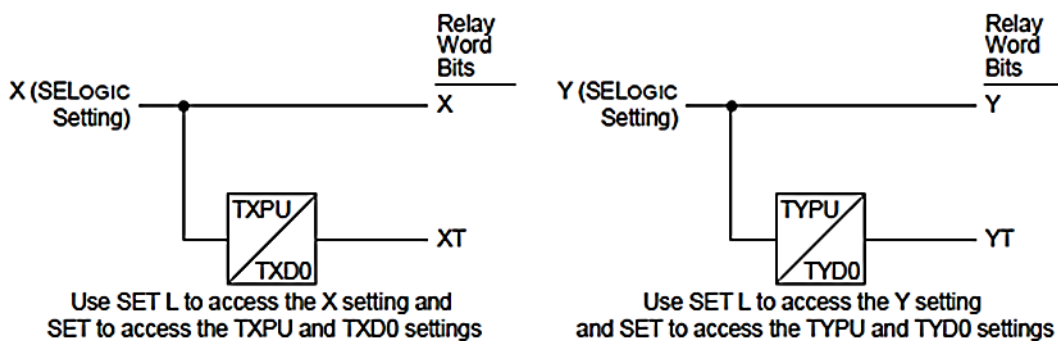
Ο SEL-587 δίνει τη δυνατότητα χρήσης κάποιας επαφής εξόδου του για το κλείσιμο ενός διακόπτη ισχύος μέσω της εντολής CLOSE, συμπεριλαμβάνοντας σε SELogic εξίσωση ελέγχου τα Relay Word Bits CC1 ή CC2. Επίσης, για την ενεργοποίηση της εντολών CLOSE 1, 2, ο χρήστης μπορεί να θέσει IN1=52A1 ή !52A1, IN2=52A2 ή !52A2 (βλ. και υποενότητα 3.2.3). Το παρακάτω λογικό διάγραμμα δείχνει την λογική λειτουργίας κλεισίματος (close).



Σχήμα 3.11: Λογική λειτουργίας κλεισίματος (close logic diagram)

### 3.3.3.3 Λειτουργίες χρονικών (timers functions) – Πεδίο Logic variables

Οι μεταβλητές X και Y των SELogic εξισώσεων ελέγχου είναι διαθέσιμες για τέτοιου είδους λειτουργίες. Κάθε μία από αυτές έχει τις αντίστοιχες εξόδους χρονικών XT και YT. Δίνεται το λογικό διάγραμμα λειτουργίας τους.



Σχήμα 3.12: Λειτουργία X & Y μεταβλητών

3.3.3.4 *Λειτουργίες επαφών εξόδου (output contact functions) – Πεδίο Output contact logic*  
Τα Relay Word Bits OUT1-4 ελέγχουν τις επαφές εξόδου του ηλεκτρονόμου.

#### 3.3.4 *Γενικές οδηγίες για την ρύθμιση των πεδίων της περιοχής SET L Command (Logic)*

1. Επιλέγουμε τις επαφές εξόδου που θα χρειαστούν για κάθε μία από τις λειτουργίες tripping, closing και indication, αναλόγως την εφαρμογής μας.
2. Εάν απαιτείται κάποια από τις μεταβλητές των SELlogic εξισώσεων ελέγχου X ή Y για χρήση των χρονικών, γράφουμε την αντίστοιχη εξίσωση ελέγχου, διαφορετικά πληκτρολογούμε στα πεδία τους «NA».
3. Για κάθε επιθυμητή λειτουργία tripping, γράφουμε μια SELlogic εξίσωση ελέγχου που περιέχει τα απαραίτητα Relay Word Bits.
4. Η εξίσωση MER χρησιμοποιείται για να παράγει αναφορές γεγονότων (βλ. και υποενότητα 3.5.1). Γράφουμε μια SELlogic εξίσωση ελέγχου που να περιέχει τις επιθυμητές συνθήκες για παραγωγή αναφορών γεγονότων εκτός από αυτές που περιέχονται στο πεδίο Tripping Logic (MTU1-3), διότι οι συνθήκες αυτές δημιουργούν πάντοτε μία αναφορά γεγονόςτος.
5. Για κάθε επαφή εξόδου που στέλνει σήμα ενεργοποίησης (tripping), χρησιμοποιούμε το ίδιο όνομα με όποιο εκ των Relay Word Bits, TRP1-3, χρησιμοποιείται για να το ελέγχει.
6. Για κάθε επαφή εξόδου που στέλνει σήμα κλεισίματος διακόπτη ισχύος (closing), θέτουμε την έξοδο σε CC1 ή CC2.
7. Για κάθε επαφή εξόδου που χρησιμοποιείται για διαγνωστικό έλεγχο (testing) ή ένδειξη (indication), θέτουμε την έξοδο στο Relay Word Bit που αντιστοιχεί στον έλεγχο ή την SELlogic εξίσωση ελέγχου που ορίζει την ένδειξη.

### 3.4 *Επικοινωνία χρήστη – ηλεκτρονόμου (Operator Interface)*

#### 3.4.1 *Τρόποι επικοινωνίας*

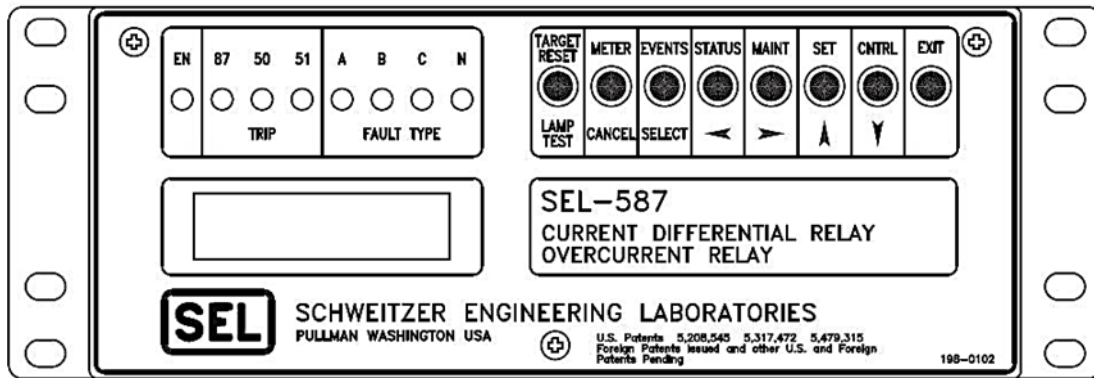
Ο χειριστής του SEL-587 μπορεί να συνδεθεί και να επικοινωνήσει με τον ηλεκτρονόμο με δύο τρόπους: είτε μέσω της σειριακής θύρας που διαθέτει είτε μέσω των κομβίων που διαθέτει στην μπροστινή όψη του.

Η επικοινωνία μέσω της σειριακής θύρας γίνεται με εντολές που δίνει ο χρήστης από τερματικό, που διαθέτει η μονάδα με την οποία συνδέεται ο ηλεκτρονόμος. Αυτού του είδους η επικοινωνία είναι πλήρης, δηλαδή μπορούμε να ελέγξουμε και να ρυθμίσουμε τα πάντα στον ηλεκτρονόμο και μπορεί να γίνει ευκολότερη μέσω του προγράμματος AcSELerator® QuickSet, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους μηχανικούς προστασίας για τη ρύθμιση των ηλεκτρονόμων της εταιρίας SEL. Στο κεφάλαιο 4 περιγράφουμε αναλυτικά τις δυνατότητες και τον τρόπο χρήσης το προγράμματος αυτού, οπότε δε θα εμβαθύνουμε περαιτέρω στην ενότητα αυτή.

Εκτενείς πληροφορίες για τις εντολές, τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία μέσω σειριακών θυρών του ηλεκτρονόμου, καθώς και τον τρόπο ρύθμισης των παραμέτρων της περιοχής SET P Command (Port Settings) περιέχονται στο εγχειρίδιο του SEL-587 [34].

#### 3.4.2 *Επικοινωνία μέσω της εμπρόσθιας όψης του ηλεκτρονόμου*

Το εμπρόσθιο τμήμα του SEL-587 αποτελείται από μία οθόνη LCD, ενδεικτικές λυχνίες (LEDs) και κομβία χειρισμού, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.1: Πρόσθια όψη SEL-587

### 3.4.2.1 Φωτεινές ενδείξεις (LEDs)

Ο SEL-587-1 διαθέτει 8 LEDs στην μπροστινή του όψη, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1.

Το EN LED είναι αναμμένο όταν ενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος και παραμένει σε αυτή την κατάσταση όσο δε συμβαίνει τίποτε από τα παρακάτω:

- Τα LEDs της μπροστινής όψης να επαναπροσδιοριστούν μέσω της εντολής TARGET.
- Ο ηλεκτρονόμος να χάσει την τροφοδοσία του.
- Να εντοπιστεί σφάλμα κατά της διαδικασία διαγνωστικού αυτοελέγχου του ηλεκτρονόμου.

Τα υπόλοιπα LEDs μας παρέχουν πληροφορίες για την ενεργοποίηση (trip) των στοιχείων προστασίας και για το σφάλμα που συνέβη. Στον παρακάτω πίνακα επεξηγούνται πιο αναλυτικά.

LED	Ανάβει όταν...
87	Κάποιο στοιχείο διαφορικής προστασίας ενεργοποιηθεί.
50	Κάποιο στοιχείο προστασίας υπερεντάσεως στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου ενεργοποιηθεί
51	Κάποιο χρονικό στοιχείου προστασίας υπερεντάσεως φτάσει το χρονικό όριο
A	Η φάση A εμπλέκεται στο σφάλμα
B	Η φάση B εμπλέκεται στο σφάλμα
C	Η φάση C εμπλέκεται στο σφάλμα
N	Κάποιο στοιχείο προστασίας υπερεντάσεως γης ενεργοποιηθεί

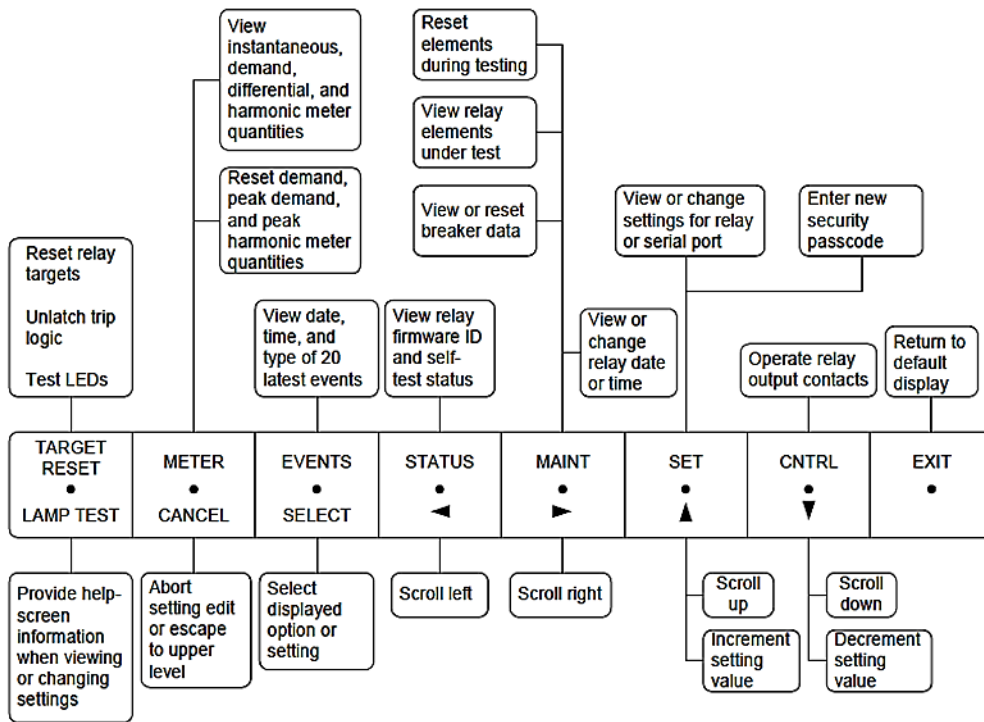
Πίνακας 3.5: Σημασιολογία φωτεινών ενδείξεων (LEDs) πρόσθιας όψης ηλεκτρονόμου SEL-587

Γενικά, οι φωτεινές ενδείξεις υποδεικνύουν τις φάσεις που συμμετέχουν στο εκάστοτε σφάλμα. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση διφασικού σφάλματος που έχει εκκαθαριστεί από το στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο, οι φωτεινές ενδείξεις υποδεικνύουν μόνο τη μία από τις εμπλεκόμενες φάσεις και πιο συγκεκριμένα αυτή με τη μεγαλύτερη τιμή ρεύματος.

Για την επαναφορά των LEDs στην αρχική τους κατάσταση, έπειτα από ενεργοποίησή τους, αρκεί να πιάσουμε το κουμπί TARGET RESET. Αν, παρόλα αυτά, η φωτεινή ένδειξη παραμένει αναμμένη, υποδηλώνει ότι η συνθήκη που το ενεργοποίησε είναι ακόμη σε ισχύ.

### 3.4.2.2 Κομβία χειρισμού

Τα κομβία χειρισμού στην πρόσθια όψη του ηλεκτρονόμου προσφέρουν εύκολη πρόσβαση και απόκτηση πληροφοριών για τη λειτουργία των στοιχείων του. Οι δυνατότητες που παρέχουν τα εν λόγω κομβία απεικονίζονται συγκεντρωμένα παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.13: Λειτουργίες κομβίων πρόσθιας όψης

Για να εκτελέσει ο χρήστης μια εντολή με τα παραπάνω κομβία, πιέζει αυτό που περιέχει την εν λόγω εντολή, χρησιμοποιεί τα κομβία αριστερά-δεξιά για να επιλέξει την επιθυμητή και πατά το κουμπί SELECT. Για να αποχωρήσει από το μενού της εντολής, πάτα το κουμπί EXIT, ενώ για να αναιρέσει την τελευταία του επιλογή και να επιστρέψει στο προηγούμενο στάδιο, χρησιμοποιεί το κουμπί CANCEL.

Σε κανονικές συνθήκες, ο ηλεκτρονόμος εμφανίζει στην οθόνη του τα μέτρα των ρευμάτων για τα τυλίγματα 1 και 2 ανηγμένα στο πρωτεύον. Σε οποιαδήποτε, όμως, ασυνήθιστη κατάσταση (όπως π.χ., κάτι που ενεργοποιεί τη διαδικασία παραγωγής αναφορά γεγονός ή ένα σφάλμα κατά το διαγνωστικό αυτοέλεγχο του ηλεκτρονόμου), οι ενδείξεις αλλάζουν και απεικονίζονται πληροφορίες σχετικές με την κάθε περίπτωση.

### 3.5 Αναφορές γεγονότων (Event Reports)

#### 3.5.1 Παραγωγή αναφοράς γεγονότος – Πεδίο Event Report Trigger Condition Logic

Ο ηλεκτρονόμος παράγει μία περίληψη αναφοράς γεγονότος (αν το auto messaging είναι ενεργοποιημένο) και μία αναφορά γεγονότος 15 κύκλων όταν συμβεί οποιοδήποτε από τα εξής:

- Εκτελεστεί η εντολή TRIGGER, μέσω σειριακής επικοινωνίας.
- Εκτελεστεί η εντολή PULSE, μέσω των κομβίων της μπροστινής όψης ή μέσω της σειριακής επικοινωνίας.
- Κάποιο από τα TRP1-3 ενεργοποιηθεί.
- Κάποιο από τα στοιχεία που ελέγχουν την εξίσωση MER ενεργοποιηθεί.

Η τελευταία περίπτωση έχει άμεση σχέση με τη λογική εξίσωση που έχει τυπωθεί στο πεδίο Event Report Trigger Condition Logic και αφορά την παράμετρο MER, η οποία δίνει εντολή παραγωγής αναφοράς γεγονότος, όταν η τιμή της γίνεται 1. Συνεπώς, έχει ιδιαίτερη σημασία ο ορθός σχηματισμός της εν λόγω εξίσωσης, ούτως ώστε ο χρήστης να λαμβάνει αναφορές γεγονότων όποτε απαιτείται από την εφαρμογή.

Ο SEL-587 αποθηκεύει αναφορές γεγονότων ώστε να είναι δυνατή η προσπέλασή και η ανάκτησή τους αργότερα από το χρήστη, σε αντίθεση με τις περιλήψεις αναφορών, οι οποίες δεν αποθηκεύονται.

### 3.5.2 Περιγραφή περίληψης αναφοράς γεγονότος (event report summary)

Εάν είναι ενεργοποιημένο το auto messaging, όπως προείπαμε, ο ηλεκτρονόμος στέλνει μία περίληψη αναφοράς γεγονότος στη σειριακή θύρα λίγα δευτερόλεπτα μετά την εμφάνισή του.

Η περίληψη αναφοράς περιέχει τις εξής πληροφορίες:

- Τα αναγνωριστικά του ηλεκτρονόμου και του τερματικού (RID&TID).
- Την ημερομηνία και τη χρονική στιγμή που συνέβη το γεγονός.
- Τον τύπο του γεγονότος και τη διάρκειά του.
- Τα LEDs που ενεργοποιήθηκαν στην μπροστινή όψη.
- Τα μέτρα των ρευμάτων φάσης, αρνητικής ακολουθίας και γης στο δευτερεύον, στη φάση με τη μεγαλύτερη τιμή, για τα τυλίγματα 1 και 2.

Οι τύποι γεγονότος, που εμφανίζονται στο πεδίο “Event” της περίληψης, και η περιγραφή τους φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Γεγονός	Πρόκληση από:
TRP1-3	Ενεργοποίηση στοιχείου TRP1-3 αντίστοιχα
MER	Ενεργοποίηση στοιχείου μέσα στην εξίσωση MER
PULSE	Εκτέλεση εντολής PULSE
TRIG	Εκτέλεση εντολής TRIGGER

**Πίνακας 3.6:** Τύποι γεγονότων

Στο πεδίο “Duration” της αναφοράς φαίνεται ο αριθμός των κύκλων στο διάστημα των οποίων τα στοιχεία που έχουν επιλεγεί να ελέγχουν τα MTU1-3 και MER ενεργοποιήθηκαν.

Τέλος, ο ηλεκτρονόμος μπορεί να διατηρήσει περίληψη έως και 20 γεγονότων τις οποίες μπορούμε να προβάλλουμε μέσω του κουμπιού EVENTS της μπροστινής όψης, σε αντίθεση με τις πλήρεις αναφορές γεγονότος, από τις οποίες μπορεί να αποθηκεύει τις 10 τελευταίες χρονικά.

### 3.5.3 Περιγραφή αναφοράς γεγονότος

Ο ηλεκτρονόμος αποκτά δεδομένα κάθε 16° του κύκλου, τα φιλτράρει, τα επεξεργάζεται κάθε 8° ή 4° του κύκλου και έχει τη δυνατότητα να τα αναπαραστήσει είτε περνώντας τα από ένα ειδικό φίλτρο συνημιτόνου (standard report) είτε ακατέργαστα (raw) σε μία αναφορά γεγονότος. Με την standard επιλογή έχουμε την δυνατότητα να αναπαραστήσουμε τα δεδομένα των γεγονότων είτε με 4 δείγματα ανά κύκλο (απλούστευση) είτε με 16 δείγματα ανά κύκλο (μεγάλη ακρίβεια). Για την raw επιλογή μόνο τα 16 δείγματα ανά κύκλο είναι διαθέσιμα.

Ένα τυπικό παράδειγμα αναφοράς γεγονότος φαίνεται στην εικόνα της επόμενης σελίδας.

Xfmr 1 Station L		Date: 01/12/95	Time: 19:33:44.796	Relay and Terminal Identifier settings						
FID-SEL-587-X104-Y5a-D950106										
			Relay Elements	OUT IN	First Report					
Winding 1 Amps Sec		Winding 2 Amps Sec		555555 555555 888 A						
				111000 111000 777 13L 1						
				PONPON PONPON URB &&R &						
IRW1	IAW1	IBW1	ICW1	IRW2	IAW2	IBW2	ICW2	111111	222222	L 24M 2
[Two cycles of data not shown in this example]										
11.43	0.66	10.10	0.66	11.44	0.67	10.09	0.68	.....	p.....	..* ... 1
-11.72	-2.56	-6.60	-2.57	-11.69	-2.57	-6.56	-2.56	.....	p.n....	..* ...
-14.15	-1.37	-11.41	-1.37	-14.08	-1.38	-11.31	-1.39	p..p..	p..np.n	..* ...
9.60	3.76	2.08	3.77	9.54	3.77	2.01	3.77	pq.p..	p..np.n	..* .b. .
[Two cycles of data not shown in this example]										
17.27	1.35	14.56	1.36	17.33	1.35	14.61	1.37	pq.p..	p..np.n	..* .b. .
-5.60	-3.80	2.00	-3.80	-5.65	-3.81	1.97	-3.81	pq.H..	p..np.n	..* .b. .
-19.54	-1.24	-17.05	-1.24	-19.35	-1.24	-16.86	-1.25	pq.H..	p..np.n	..* .b. .
3.30	3.84	-4.38	3.84	3.34	3.85	-4.36	3.85	pq.H..	p..np.n	..* .b. .
[Two cycles of data not shown in this example]										
20.51	1.13	18.26	1.13	20.33	1.13	18.08	1.13	pq.H..	p..np.n	..* .b. .
2.01	-3.87	9.76	-3.88	1.86	-3.88	9.63	-3.88	pq.Hq.	p..np.n	..* .b. .
-23.86	-1.01	-21.84	-1.01	-23.87	-1.01	-21.84	-1.01	pq.Hq.	p..np.n	..* .b. .
-2.99	3.90	-10.80	3.91	-2.88	3.91	-10.71	3.91	pq.Hq.	p..np.n	..* .b. .
[10 cycles of data not shown in this example]										
Event: TRP1 TRP2 TRP3		Targets: B7 50 A B C N		Duration: 9.13 cyc						
Winding 1 Currents (A Sec), ABCON:		4.03 31.08 pk		4.04 16.84 19.81		} Event Summary				
Winding 2 Currents (A Sec), ABCON:		4.05 31.00 pk		4.05 15.64 20.46						
[Settings listed here, but not shown in this example]										
			Relay Elements	OUT IN	Second report (Note correspondence with above first report)					
Operating Qty Amps Sec		Restraint_Qty Amps Sec		Max Hrm Amps Sec	888888 222555 TTT	PQN A				
					777777 HHHHHH RRRXYCO	TTTT 13L 1				
					UUURRR 888888 PPTTCC	HEEE &&R &				
IOP1	IOP2	IOP3	IRT1	IRT2	IRT3	IF2	IF5	123123	123123 123	5MMM 24M 2
[Two cycles of data not shown in this example]										
5.00	15.6	0.96	3.22	7.80	0.48	8.43	0.96	.....	***.*	..... p*** ... 1
4.78	17.9	2.64	4.27	8.98	1.32	15.3	4.83	.....	*****	..... p*** ...
4.37	19.3	2.91	4.53	9.67	1.45	14.9	4.81	.....	*****	..... p*** ...
6.46	17.1	4.01	4.90	8.70	2.00	18.3	4.02	.....	*****	..... p*** .b. .
[Two cycles of data not shown in this example]										
7.90	22.2	4.00	5.85	11.2	2.00	19.5	4.04	.....	**.....*	..... p*** .b. .
9.51	22.8	4.04	6.19	11.5	2.02	18.9	3.00	.....	**.....*	..... p*** .b. .
10.5	26.6	4.00	6.80	13.3	2.00	18.2	3.12	.....	**.....*	..... p*** .b. .
11.5	27.6	4.04	7.10	13.8	2.02	19.3	3.30	.....	**.....*	..... p*** .b. .
[Two cycles of data not shown in this example]										
12.1	29.4	4.00	7.43	14.8	2.00	20.1	3.58	.....	**.....*	..... p*** .b. .
14.5	33.0	4.04	8.27	16.6	2.02	16.9	2.11	.....	**.....*	..... p*** .b. .
17.6	43.5	4.01	10.1	21.8	2.00	15.4	3.06	.....	**.....*	..... p*** .b. .
18.0	44.2	4.04	10.2	22.1	2.02	15.4	3.03	.....	**.....*	..... p*** .b. .
[10 cycles of data not shown in this example]										

Εικόνα 3.2: Παράδειγμα αναφοράς γεγονότος

Από την παραπάνω εικόνα, συμπεραίνουμε ότι μία αναφορά γεγονότος περιλαμβάνει 2 μέρη πληροφοριών. Το 1<sup>ο</sup> μέρος (βλ. πάνω μέρος της εικόνας) περιέχει πληροφορίες που αφορούν τα ρεύματα που ρέουν στο δευτερεύον των Μ/Σ έντασης από τα τυλίγματα 1 και 2 καθώς και τα στοιχεία προστασίας που σχετίζονται με αυτά (διάβασε τα ονόματα των στοιχείων καθέτως). Στο 2<sup>ο</sup> μέρος (βλ. κάτω μέρος της εικόνας) περιέχονται πληροφορίες για τα ρεύματα που «βλέπουν» τα στοιχεία διαφορικής προστασίας του ηλεκτρονόμου.

Για την πλήρη κατανόηση και σημασιολογία των συμβόλων που εμφανίζονται κάτω από κάθε στοιχείο προστασίας, παραθέτονται οι ακόλουθοι πίνακες.

Στήλες στοιχείων προστασίας 1 <sup>ου</sup> μέρους αναφοράς γεγονότος		
Στήλη	Σύμβολο	Ορισμός
Όλες	.	Element/output/input not picked up or asserted
51P1	p	Winding 1 Phase time-overcurrent element picked up
	T	Winding 1 Phase time-overcurrent element trip
51Q1	q	Winding 1 Negative-sequence time-overcurrent element picked up
	T	Winding 1 Negative-sequence time-overcurrent element trip
51N1	n	Winding 1 Residual time-overcurrent element picked up
	T	Winding 1 Residual time-overcurrent element trip
50P1	p	Winding 1 Phase definite-time overcurrent element picked up
	T	Winding 1 Phase definite-time overcurrent element trip
	H	Winding 1 Phase instantaneous overcurrent element trip
50Q1	q	Winding 1 Negative-sequence definite-time overcurrent element picked up
	T	Winding 1 Negative-sequence definite-time overcurrent element trip
50N1	n	Winding 1 Residual definite-time overcurrent element picked up
	T	Winding 1 Residual definite-time overcurrent element trip
	H	Winding 1 Residual instantaneous overcurrent element trip
51P2	p	Winding 2 Phase time-overcurrent element picked up
	T	Winding 2 Phase time-overcurrent element trip
51Q2	q	Winding 2 Negative-sequence time-overcurrent element picked up
	T	Winding 2 Negative-sequence time-overcurrent element trip
51N2	n	Winding 2 Residual time-overcurrent element picked up
	T	Winding 2 Residual time-overcurrent element trip
50P2	p	Winding 2 Phase definite-time overcurrent element picked up
	T	Winding 2 Phase definite-time overcurrent element trip
	H	Winding 2 Phase instantaneous overcurrent element trip
50Q2	q	Winding 2 Negative-sequence definite-time overcurrent element picked up
	T	Winding 2 Negative-sequence definite-time overcurrent element trip
50N2	n	Winding 2 Residual definite-time overcurrent element picked up
	T	Winding 2 Residual definite-time overcurrent element trip
	H	Winding 2 Residual instantaneous overcurrent element trip
87U	*	Unrestrained differential element trip
87R	*	Restrained differential element trip
87BL	*	Second- of fifth-harmonic block
OUT1&2	1	Output contact OUT1 asserted
	2	Output contact OUT2 asserted
	b	Output contacts OUT1 & OUT2 asserted
OUT3&4	3	Output contact OUT3 asserted
	4	Output contact OUT4 asserted
	b	Output contacts OUT3 & OUT4 asserted
ALRM	*	Output contact ALARM asserted
IN1&2	1	Input contact IN1 asserted
	2	Input contact IN2 asserted
	b	Input contacts IN1 & IN2 asserted

*Πίνακας 3.7: Σημασιολογία στηλών και συμβόλων πρώτου μέρους αναφοράς γεγονότος*



Στήλες στοιχείων προστασίας 2 <sup>ου</sup> μέρους αναφοράς γεγονότος		
Στήλη	Σύμβολο	Ορισμός
Όλες	.	Element/output/input not picked up or asserted
87U1-3	*	Unrestrained differential element 1-3 trip
87R1-3	*	Restrained differential element 1-3 trip
2HB1-3	*	Second-harmonic block asserted for differential element 1-3
5HB1-3	*	Fifth-harmonic block asserted for differential element 1-3
TRP1-3	*	Trip logic output for programmable equation MTU1-3
XT	*	Output of X programmable timer
YT	*	Output of Y programmable timer
CC	1	Breaker 1 CLOSE command execution
	2	Breaker 2 CLOSE command execution
OC	1	Breaker 1 OPEN command execution
	2	Breaker 2 OPEN command execution
TH5	p	Fifth-harmonic threshold exceeded
	T	Fifth-harmonic threshold exceeded for longer than time setting TH5D
PDEM	*	Phase demand current threshold exceeded
QDEM	*	Negative-sequence demand current threshold exceeded
NDEM	*	Residual demand current threshold exceeded
OUT1&2	1	Output contact OUT1 asserted
	2	Output contact OUT2 asserted
	b	Output contacts OUT1 & OUT2 asserted
OUT3&4	3	Output contact OUT3 asserted
	4	Output contact OUT4 asserted
	b	Output contacts OUT3 & OUT4 asserted
ALRM	*	Output contact ALARM asserted
IN1&2	1	Input contact IN1 asserted
	2	Input contact IN2 asserted
	b	Input contacts IN1 & IN2 asserted

*Πίνακας 3.8: Σημασιολογία στηλών και συμβόλων δεύτερου μέρους αναφοράς γεγονότος*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ – ΡΥΘΜΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ SEL-587

Στο παρόν κεφάλαιο, αρχικά, παρουσιάζουμε τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης σε διάφορα σημεία του Σ.Η.Ε., που επιτηρεί το εργαστηριακό σύστημα προστασίας. Η μελέτη βραχυκυκλωμάτων έγινε με τη βοήθεια του επαγγελματικού προγράμματος NEPLAN, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60909 (2001).

Στη συνέχεια, υλοποιούμε τη μελέτη προστασίας υπερέντασης για το δίκτυό μας, τα αποτελέσματα της οποίας θα μας οδηγήσουν στην κατάλληλη ρύθμιση των στοιχείων υπερέντασης του ηλεκτρονόμου SEL-587.

Στο τέλος του κεφαλαίου, υπολογίζουμε και καταγράφουμε όλες τις τιμές των απαραίτητων προς ρύθμιση παραμέτρων του ηλεκτρονόμου, σύμφωνα με το φύλλο ρύθμισής του (setting sheet) και περιγράφουμε τη λειτουργία και τις δυνατότητες του προγράμματος AcSELarator® QuickSet, μέσω του οποίου στέλνουμε τις ρυθμίσεις στις SEL συσκευές μας (για την περίπτωσή μας, στον ηλεκτρονόμο SEL-587).

#### 4.1 Το πρότυπο IEC 60909 (2001)

Προτού προχωρήσουμε στην ανάλυση και τον υπολογισμό των μεγεθών που αναφέραμε στα εισαγωγικά στοιχεία, θα επισημάνουμε τα βασικότερα σημεία του προτύπου IEC 60909, με σκοπό να αποκτήσει ο αναγνώστης μια ολοκληρωμένη άποψη, όσον αφορά τις μελέτες βραχυκυκλωμάτων.

Το συγκεκριμένο πρότυπο αποτελεί τη βασική μέθοδο υπολογισμού ρευμάτων βραχυκύκλωσης για τους μελετητές προστασίας των Σ.Η.Ε., λόγω της πολύ μεγάλης ακρίβειας των αποτελεσμάτων της, καθώς και για τα επαγγελματικά προγράμματα υπολογισμού ηλεκτρικών μεγεθών, όπως το NEPLAN, το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια.

Το IEC 60909 χωρίζεται σε 5 ενότητες (parts). Στο part 0 γίνεται αναλυτική περιγραφή στον τρόπο με τον οποίο το πρότυπο υπολογίζει τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, για τα διάφορα είδη σφαλμάτων. Στο part 1 υπολογίζονται οι συντελεστές διόρθωσης των ηλεκτρικών μεγεθών, που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς στο part 0 και αιτιολογείται η χρήση τους. Το part 2 παρουσιάζει συγκεντρωμένα τις παραμέτρους του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, καθώς και παραδείγματα αυτών, που χρειάζεται ο μελετητής, για τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Στο part 3 αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού των ρευμάτων βραχυκύκλωσης κατά τη διάρκεια δύο ξεχωριστών αλλά ταυτόχρονων σφαλμάτων προς γη. Τέλος, στο part 4 παρουσιάζονται παραδείγματα αναλυτικών υπολογισμών ρευμάτων βραχυκύκλωσης, για διάφορα είδη Σ.Η.Ε., με σκοπό την καλύτερη, κατά το δυνατό, αφομοίωση του προτύπου από το μελετητή.

Στη συνέχεια παραθέτουμε ορισμένες χρήσιμες πληροφορίες για το part 0 του IEC 60909, που μας βοηθούν να κατανοήσουμε τη λογική, σύμφωνα με την οποία υπολογίζονται τα ρεύματα βραχυκύκλωσης και συμβολίζονται οι διάφορες συνιστώσες τους, στα υπολογιστικά προγράμματα.

##### 4.1.1 IEC 60909-0: Short-circuit currents in three-phase ac systems – Calculation of currents

Το IEC 60909-0 αφορά ρεύματα βραχυκύκλωσης σε τριφασικά Σ.Η.Ε., που λειτουργούν σε συχνότητα 50 ή 60 Hz, ονομαστικής τάσης μέχρι 550 kV. Για συστήματα μεταφοράς μεγαλύτερης ονομαστικής τάσης, απαιτούνται ιδιαίτερες προδιαγραφές.

Μεταξύ των διάφορων τιμών ρευμάτων βραχυκύκλωσης που προκύπτουν στον εξοπλισμό ενός Σ.Η.Ε., η μέγιστη τιμή καθορίζει την ικανότητα αντοχής σε βραχυκύκλωμα του εξοπλισμού, ενώ η ελάχιστη καθορίζει τη ρύθμιση των μέσων προστασίας του.

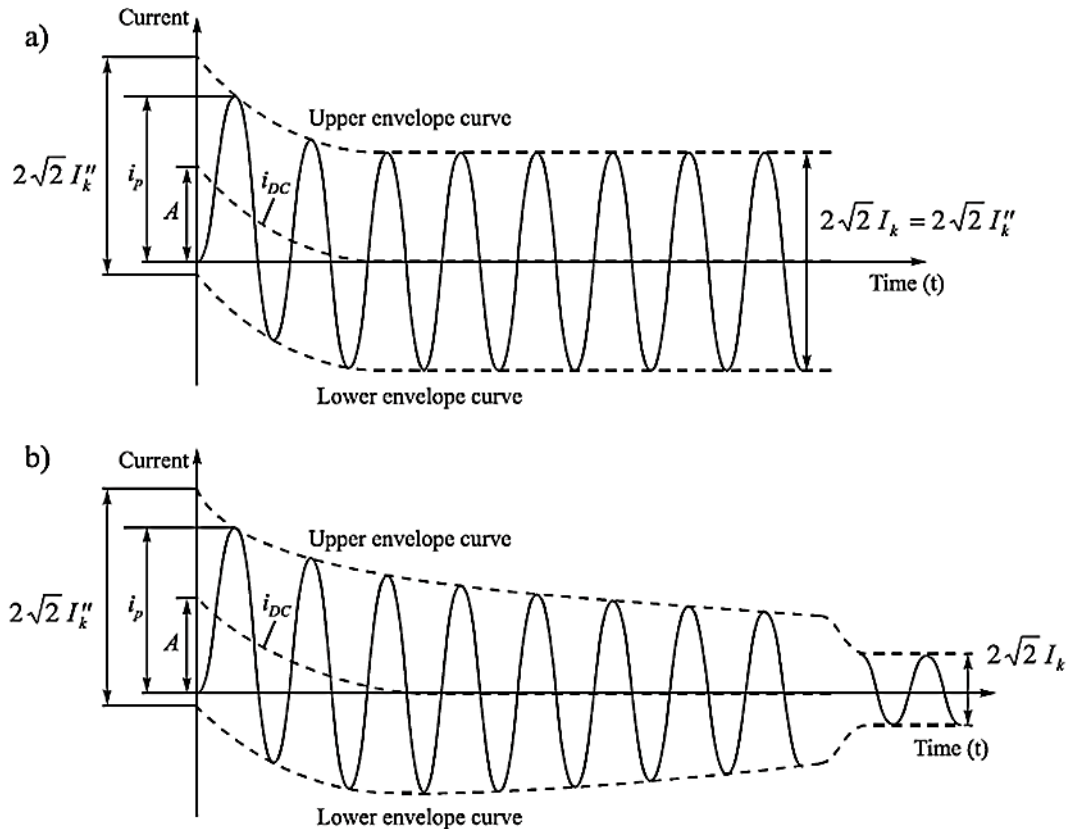
Οι βασικές συνιστώσες των ρευμάτων βραχυκύκλωσης που καθορίζουν την κυματομορφή τους, σύμφωνα με το IEC 60909-0, και τις οποίες θα υπολογίσουμε στη συνέχεια του κεφαλαίου, είναι οι εξής:

- **Αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (initial symmetrical short-circuit current),  $I''_k$** : είναι η ενεργός (rms) τιμή της συμμετρικής ac συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης, τη στιγμή του σφάλματος, με την προϋπόθεση ότι η αντίσταση σφάλματος είναι μηδενική.
- **Φθίνουσα (απεριοδική) dc συνιστώσα ρεύματος βραχυκύκλωσης (decaying (aperiodic) component of short-circuit current),  $i_{dc}$** : είναι η μέση τιμή της άνω και κάτω περιβάλλουσας της κυματομορφής του ρεύματος βραχυκύκλωσης, η οποία φθίνει από μία αρχική τιμή A στο μηδέν.
- **Ρεύμα βραχυκύκλωσης κορυφής (peak short-circuit current),  $i_p$** : είναι η μέγιστη στιγμιαία τιμή, στην οποία μπορεί να φτάσει το ρεύμα βραχυκύκλωσης.
- **Συμμετρικό ρεύμα διακοπής (symmetrical short-circuit breaking current),  $I_b$** : είναι η ενεργός (rms) τιμή της συμμετρικής συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης τη στιγμή του ανοίγματος των επαφών του διακοπτικού μέσου.
- **Ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης (steady-state short-circuit current),  $I_k$** : είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης, το οποίο παραμένει μετά το πέρας των υπομεταβατικών και μεταβατικών φαινομένων.

Εκτός από την κατηγοριοποίηση των σφαλμάτων ανάλογα με το πλήθος των φάσεων που συμμετέχουν και την αγωγή ή μη σύνδεσή τους με τη γη (τριφασικό, μονοφασικό προς γη, διφασικό, διφασικό προς γη), το IEC 60909 ορίζει και μια νέα:

- **Σφάλματα που συμβαίνουν κοντά σε γεννήτρια (near-to-generator short circuit)**: είναι τα σφάλματα στα οποία τουλάχιστον μία σύγχρονη μηχανή συνεισφέρει στο αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I''_k$ ) και η συνεισφορά αυτή είναι περισσότερη από το διπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος της μηχανής ή ασύγχρονοι κινητήρες συνεισφέρουν περισσότερο από το 5% της τιμής του αρχικού ρεύματος βραχυκύκλωσης ( $I''_k$ ), χωρίς την ύπαρξη κινητήρων.
- **Σφάλματα που συμβαίνουν μακριά από γεννήτρια (far-from-generator short circuit)**: είναι τα σφάλματα κατά τη διάρκεια των οποίων η συμμετρική ac συνιστώσα του ρεύματος βραχυκύκλωσης παραμένει σταθερή ( $I''_k = I_k$ ).

Οι κυματομορφές των ρευμάτων βραχυκύκλωσης για σφάλματα κοντά και μακριά από γεννήτρια, καθώς και οι βασικές συνιστώσες τους, που περιγράψαμε, απεικονίζονται στο σχήμα 4.1.



**Σχήμα 4.1:** Κυματομορφή ρευμάτων βραχυκύκλωσης για σφάλματα a) μακριά από γεννήτρια, b) κοντά σε γεννήτρια [22]

Ο υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκύκλωσης, σύμφωνα με το IEC 60909, βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές:

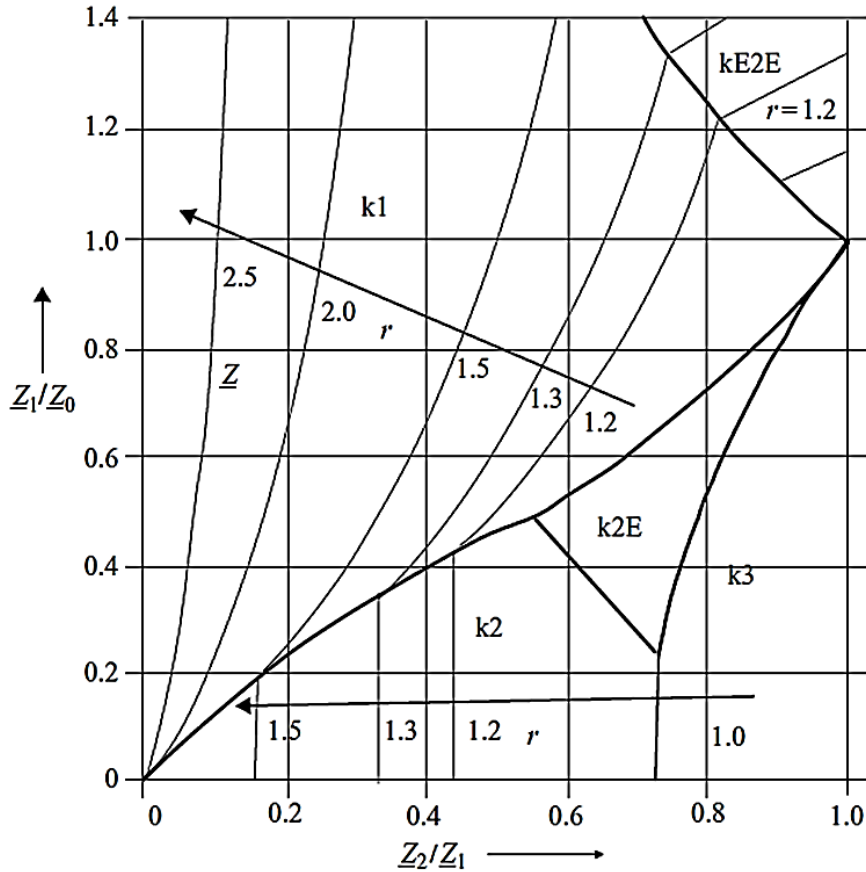
1. Κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος δεν υφίσταται αλλαγή στο είδος του. Για παράδειγμα, κατά την εκδήλωση ενός τριφασικού σφάλματος, το σφάλμα παραμένει τριφασικό, στο χρονικό διάστημα που διαρκεί.
2. Κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος δεν υπάρχει αλλαγή στην τοπολογία του δικτύου.
3. Η σύνθετη αντίσταση των μετασχηματιστών που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς αφορά την κύρια θέση του συστήματος αλλαγής τάσης (tap changer). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο συντελεστής διόρθωσης  $K_T$ , για τη σύνθετη αντίσταση των μετασχηματιστών, στους υπολογισμούς.
4. Οι αντιστάσεις των τόξων που προκαλούνται κατά τη διάρκεια των σφαλμάτων αμελούνται.
5. Οι χωρητικότητες και οι εγκάρσιες αγωγιμότητες των γραμμών, καθώς και τα παθητικά φορτία αμελούνται, εκτός από τις συνιστώσες μηδενικής ακολουθίας.

Επίσης, για τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης ακολουθείται ο εξής κανόνας: **Κατά το IEC 60909-0, για τα άπειρα Σ.Η.Ε. (network feeders), τους μετασχηματιστές, τις εναέριες γραμμές, τα καλώδια, τα πηνία, τους πυκνωτές και τον παρεμφερή εξοπλισμό, οι σύνθετες αντιστάσεις θετικής και αρνητικής ακολουθίας είναι ίσες ( $Z_{(1)} = Z_{(2)}$ ). Δεν ισχύει το ίδιο για τις γεννήτριες και τους κινητήρες.**

Κλείνοντας την υποενότητα αυτή, σημειώνουμε ότι το είδος του σφάλματος που οδηγεί στη μεγαλύτερη τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης εξαρτάται από τις τιμές των σύνθετων αντιστάσεων μηδενικής, θετικής και αρνητικής ακολουθίας του συστήματος. Η εξάρτηση αυτή

φαίνεται στο σχήμα 4.2, στο οποίο απεικονίζονται οι γεωμετρικοί τόποι των σημείων για τα οποία ισχύει:

$$r = \frac{\text{Ρεύμα βραχυκύκλωσης ασύμμετρου σφάλματος}}{\text{Ρεύμα βραχυκύκλωσης τριφασικού σφάλματος}} = \text{σταθερό.}$$



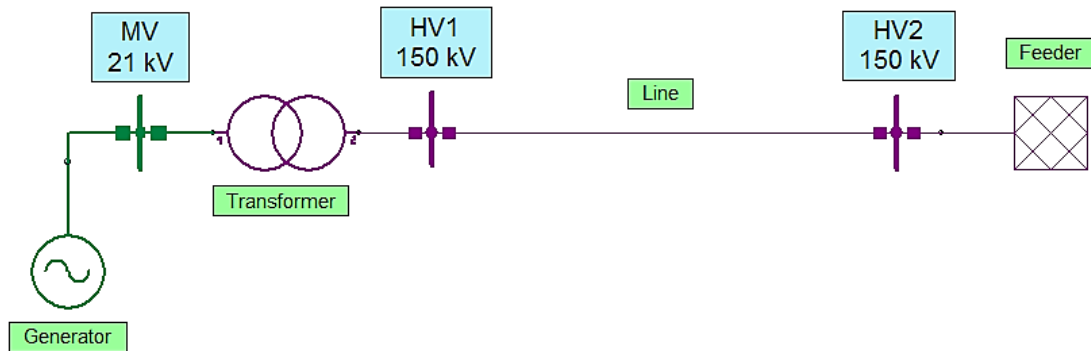
**Σχήμα 4.2:** Διάγραμμα καθορισμού του είδους σφάλματος με μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης συναρτήσει των συνιστωσών ακολουθίας σύνθετης αντίστασης, όπου *k1* μονοφασικό σφάλμα προς γη, *k2* διφασικό σφάλμα χωρίς γη, *k2E* διφασικό σφάλμα προς γη, *k3* τριφασικό σφάλμα [22]

## 4.2 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων στο Σ.Η.Ε. που επιτηρεί το εργαστηριακό σύστημα προστασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε τη μελέτη βραχυκυκλωμάτων που έγινε στο δίκτυό μας (μονάδα παραγωγής και γραμμή μεταφοράς), με τη βοήθεια του λογισμικού NEPLAN, της εταιρείας BCP Busarello + Cott + Partner Inc. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε είναι εκπαιδευτική και παρέχεται δωρεάν σε φοιτητές από την εταιρεία.

### 4.2.1 Απεικόνιση του Σ.Η.Ε.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται το δίκτυο που επιτηρεί το εργαστηριακό μας σύστημα, όπως αυτό σχεδιάστηκε στο NEPLAN. Πρόκειται για μία μονάδα παραγωγής με μετασχηματιστή ανύψωσης, από την οποία αναχωρεί μια γραμμή μεταφοράς, η οποία μεταφέρει και εγχύει την παραγόμενη ισχύ στο άπειρο δίκτυο.



Σχήμα 4.3: Επιτηρούμενο Σ.Η.Ε. από το εργαστηριακό σύστημα προστασίας

#### 4.2.2 Παράμετροι στοιχείων του Σ.Η.Ε.

Στους πίνακες που ακολουθούν, έχουμε συγκεντρώσει όλες τις παραμέτρους των στοιχείων του δικτύου μας, οι οποίες απαιτούνται για τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης, στα διάφορα σημεία του. Επίσης, αναφέρουμε και την πηγή από την οποία συλλέξαμε τις εν λόγω παραμέτρους για το κάθε στοιχείο.

ΓΕΝΗΤΡΙΑ	
Πηγή: ΔΕΗ (παράμετροι μονάδων I, II του ΑΗΣ Καρδιάς)	
$U_n$	21 kV
$S_n$	353 MVA
$\cos\phi_n$	0,85
$P_n$	300 MW
RPM	3000
Συνδεσμολογία τυλίγματος στάτη	Αστέρας (Y)
Γείωση ουδετέρου κόμβου	Απευθείας
$X_d$	182,3%
$X_q$	172,0%
$X'_d$	26,4%
$X'_q$	172,0%
$X''_d$	18,7%
$X''_q$	20,3%
S (συντελεστής κορεσμού)	1,09
$X_1$	14,9%
$X_2$	19,5%
$X_0$	9,3

Πίνακας 4.1: Ηλεκτρικές παράμετροι γεννήτριας

<b>ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ</b>	
Πηγή: IEC 60909-2	
$U_{n1}$	21 kV
$U_{n2}$	150 kV
$S_n$	360 MVA
Συνδεσμολογία	YNyn0
Γείωση	Πλευρά MT: απευθείας Πλευρά YT: μέσω σύνθετης αντίστασης ( $Z_N = j5 \Omega$ )
$u_{kr}$ (τάση βραχυκύκλωσης σε ονομαστικό ρεύμα)	15,92%
$u_{Rr}$ (ωμική συνιστώσα της τάσης βραχυκύκλωσης)	0,554%
<p><b>Σημ. 1:</b> <math>u_{kr} = u_{kr(1)} = u_{kr(2)} = u_{kr(0)}</math>, <math>u_{Rr} = u_{Rr(1)} = u_{Rr(2)} = u_{Rr(0)}</math></p> <p><b>Σημ. 2:</b> Η παράμετρος <math>u_{Rr}</math> μπορεί να αντικατασταθεί από τις απώλειες χαλκού του μετασχηματιστή υπό ονομαστικό ρεύμα.</p>	

*Πίνακας 4.2: Ηλεκτρικές παράμετροι μετασχηματιστή ανύψωσης*

<b>ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ</b>	
Πηγή: Θέματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ευαγ. Λεκατσάς (ΔΕΗ)	
$U_n$	150 kV
Τύπος	2B/150 (βαρέως τύπου, διπλού κυκλώματος)
Μέγιστη ικανότητα μεταφοράς ισχύος	2x202 MVA
l (μήκος)	70 km
$R_{(1)}$	0,09708 $\Omega$ /km
$X_{(1)}$	0,3914 $\Omega$ /km
$R_{(0)}$	0,2968 $\Omega$ /km
$X_{(0)}$	1,4310 $\Omega$ /km
<b>Σημ. 1:</b> $R_{(1)} = R_{(2)}$ , $X_{(1)} = X_{(2)}$	

*Πίνακας 4.3: Ηλεκτρικές παράμετροι γραμμής μεταφοράς*

<b>ΑΠΕΙΡΟ ΔΙΚΤΥΟ</b>	
Πηγή: IEC 60909-4	
$U_n$	150 kV
$I''_{k,max}$	15 kA
$I''_{k,min}$	10 kA
$\frac{R_{(1)}}{X_{(1)}} \text{ (max)}$	0,12
$\frac{R_{(1)}}{X_{(1)}} \text{ (min)}$	0,1
$\frac{Z_{(0)}}{Z_{(1)}}$	0,6
$\frac{R_{(0)}}{X_{(0)}} \text{ (max)}$	0,005
$\frac{R_{(0)}}{X_{(0)}} \text{ (min)}$	0
<b>Σημ. 1:</b> $R_{(1)} = R_{(2)}, X_{(1)} = X_{(2)}$	

*Πίνακας 4.4: Ηλεκτρικές παράμετροι απείρου δικτύου*

#### 4.2.3 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης

Στην ενότητα αυτή καταγράφουμε τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, καθώς και τις συνεισφορές της γεννήτριας και του απείρου δικτύου, για σφάλματα σε διάφορα σημεία του δικτύου μας, όπως αυτά υπολογίστηκαν από το λογισμικό NEPLAN.

Τα είδη σφαλμάτων που προσομοιώθηκαν είναι τα εξής:

- τριφασικό βραχυκύκλωμα,
- μονοφασικό βραχυκύκλωμα προς γη,
- διφασικό βραχυκύκλωμα,
- διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη,

χωρίς αντίσταση σφάλματος, στους τρεις ζυγούς του συστήματος. Επίσης, υπολογίσαμε τη συνεισφορά της γεννήτριας, για όλα τα είδη τα σφαλμάτων, στο 50% της γραμμής μεταφοράς, τις τιμές της οποίας θα χρησιμοποιήσουμε για τον έλεγχο των στοιχείων υπερέντασης του ηλεκτρονόμου SEL-587, στο επόμενο κεφάλαιο.

Κάνοντας χρήση του NEPLAN, αρχικά, σχεδιάσαμε το Σ.Η.Ε. της εφαρμογής μας, καταχωρήσαμε σε κάθε στοιχείο του τις παραμέτρους που παρουσιάσαμε στην προηγούμενη ενότητα, θέσαμε ως μέθοδο υπολογισμού το πρότυπο IEC 60909 (2001) και στη συνέχεια προχωρήσαμε στον υπολογισμό των ρευμάτων που προκύπτουν για τα σφάλματα και τις τοποθεσίες του δικτύου που αναφέραμε.

Ακολουθούν συγκεντρωτικοί πίνακες αποτελεσμάτων, στους οποίους φαίνονται αναλυτικά οι τιμές των συνιστωσών των ρευμάτων βραχυκύκλωσης, που αναφέραμε στην ενότητα 4.1.



ΖΥΓΟΣ MV												
(U <sub>n,L-L</sub> = 21 kV, U <sub>n,L-E</sub> = 12,124 kV)												
Είδος σφάλματος	Συνεισφορά	Φάσεις	U <sub>L-E</sub> (kV)	Arg{U <sub>L-E</sub> } (°)	I'' <sub>k</sub> (kA)	Arg{I'' <sub>k</sub> } (°)	I <sub>k</sub> (kA)	i <sub>p</sub> (kA)	I <sub>b</sub> (kA)	i <sub>dc</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> /3I <sub>2</sub> (kA)	
Τριφασικό	Συνολικά	R	13,337	180,00	83,847	-85,6	39,958	213,797	77,096	74,112	-	
	Γεννήτρια	R			61,460	-87,1	17,538	156,713	54,706	54,324		
	Άπειρο ΣΗΕ	R			22,468	-81,4	22,468	57,290	22,468	19,859		
Μονοφασικό προς γη	Συνολικά	R	13,337	180,00	90,404	-85,4	90,404	230,515	90,404	79,907	3I <sub>0</sub> = 90,404	
		S	1,761	-10,45	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000		
		T	1,775	15,20	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Γεννήτρια	R				71,436	-86,4	71,436	182,150	71,436	63,141	3I <sub>0</sub> = 84,066
		S				6,383	-86,5	6,383	16,275	6,383	5,642	
		T				6,373	-74,6	6,373	16,251	6,373	5,633	
	Άπειρο ΣΗΕ	R				19,027	-81,4	19,027	48,516	19,027	16,818	3I <sub>0</sub> = 6,344
		S				6,383	93,5	6,383	16,275	6,383	5,642	
		T				6,373	105,4	6,373	16,251	6,373	5,633	
Διφασικό	Συνολικά	R	0,602	1,05	0,000	-90,0	0,000	0,000	0,000	0,000	3I <sub>2</sub> = 120,096	
		S	11,548	91,49	69,337	184,3	69,337	176,798	69,337	61,286		
		T	11,559	268,51	69,337	4,3	69,337	176,798	69,337	61,286		
	Γεννήτρια	R				1,014	189,6	1,014	2,586	1,014	0,896	3I <sub>2</sub> = 85,008
		S				50,015	92,1	50,015	127,531	50,015	44,208	
		T				49,894	86,7	49,894	127,221	49,894	44,100	
	Άπειρο ΣΗΕ	R				1,014	9,6	1,014	2,586	1,014	0,896	3I <sub>2</sub> = 35,223
		S				19,455	100,0	19,455	49,608	19,455	17,196	
		T				19,474	82,9	19,474	49,655	19,474	17,213	
Διφασικό προς γη	Συνολικά	R	1,457	183,57	0,000	-86,4	0,000	0,000	0,000	0,000	3I <sub>0</sub> = 108,588	
		S	13,337	60,00	89,671	147,1	89,671	228,647	89,671	79,259		
		T	13,337	-60,00	88,692	42,1	88,692	226,150	88,692	78,394		
	Γεννήτρια	R				6,585	9,9	6,585	16,790	6,585	5,820	3I <sub>0</sub> = 100,975
		S				70,791	51,0	70,791	180,506	70,791	62,571	
		T				68,721	-43,8	68,721	175,227	68,721	60,742	
	Άπειρο ΣΗΕ	R				6,585	189,9	6,585	16,790	6,585	5,820	3I <sub>0</sub> = 7,620
		S				20,710	78,5	20,710	52,808	20,710	18,306	
		T				20,716	-61,4	20,716	52,822	20,716	18,311	

Πίνακας 4.5: Ρεύματα βραχυκύκλωσης για σφάλματα στο ζυγό MV του δικτύου

ΖΥΓΟΣ HV1												
(U <sub>n,L-L</sub> = 150 kV, U <sub>n,L-E</sub> = 86,603 kV)												
Είδος σφάλματος	Συνεισφορά	Φάσεις	U <sub>L-E</sub> (kV)	Arg{U <sub>L-E</sub> } (°)	I'' <sub>k</sub> (kA)	Arg{I'' <sub>k</sub> } (°)	I <sub>k</sub> (kA)	i <sub>p</sub> (kA)	I <sub>b</sub> (kA)	i <sub>dc</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> /3I <sub>2</sub> (kA)	
Τριφασικό	Συνολικά	R	95,263	180,00	9,146	-82,8	6,899	22,088	8,919	6,160	-	
	Γεννήτρια	R			4,513	-87,5	2,257	10,900	4,286	3,040		
	Άπειρο ΣΗΕ	R			4,663	-78,3	4,663	11,261	4,663	3,141		
Μονοφασικό προς γη	Συνολικά	R	95,263	180,00	6,962	-83,9	6,962	16,813	6,962	4,689	3I <sub>0</sub> = 6,962	
		S	21,696	185,47	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000		
		T	21,522	181,79	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000		
	Γεννήτρια	R				3,738	-88,1	3,738	9,028	3,738	2,518	3I <sub>0</sub> = 4,461
		S				0,365	-87,9	0,365	0,882	0,365	0,246	
		T				0,364	-77,2	0,364	0,880	0,364	0,245	
	Άπειρο ΣΗΕ	R				3,246	-79,0	3,246	7,839	3,246	2,186	3I <sub>0</sub> = 2,521
		S				0,365	92,1	0,365	0,882	0,365	0,246	
		T				0,364	102,8	0,364	0,880	0,364	0,245	
Διφασικό	Συνολικά	R	1,564	-2,47	0,000	-90,0	0,000	0,000	0,000	0,000	3I <sub>2</sub> = 13,494	
		S	82,537	90,54	7,791	187,2	7,791	18,815	7,791	5,248		
		T	82,470	269,46	7,791	7,2	7,791	18,815	7,791	5,248		
	Γεννήτρια	R				0,077	-170,7	0,077	0,185	0,077	0,052	3I <sub>2</sub> = 6,432
		S				3,784	91,8	3,784	9,138	3,784	2,549	
		T				3,774	-87,1	3,774	9,116	3,774	2,542	
	Άπειρο ΣΗΕ	R				0,077	9,3	0,077	0,185	0,077	0,052	3I <sub>2</sub> = 7,110
		S				4,040	102,3	4,040	9,756	4,040	2,721	
		T				4,036	-78,8	4,036	9,748	4,036	2,719	
Διφασικό προς γη	Συνολικά	R	19,465	2,49	0,000	90,0	0,000	0,000	0,000	0,000	3I <sub>0</sub> = 5,770	
		S	95,263	60,00	8,250	166,7	8,250	19,924	8,250	5,557		
		T	95,263	-60,00	8,416	27,2	8,416	20,326	8,416	5,669		
	Γεννήτρια	R				0,224	5,9	0,224	0,542	0,224	0,151	3I <sub>0</sub> = 3,698
		S				4,169	67,7	4,169	10,069	4,169	2,808	
		T				4,198	63,2	4,198	10,140	4,198	2,828	
	Άπειρο ΣΗΕ	R				0,224	-174,1	0,224	0,542	0,224	0,151	3I <sub>0</sub> = 2,090
		S				4,183	85,7	4,183	10,101	4,183	2,817	
		T				4,218	-62,4	4,218	10,187	4,218	2,841	

Πίνακας 4.6: Ρεύματα βραχυκύκλωσης για σφάλματα στο ζυγό HV1 του δικτύου

ΖΥΓΟΣ HV2											
(U <sub>n,L-L</sub> = 150 kV, U <sub>n,L-E</sub> = 86,603 kV)											
Είδος σφάλματος	Συνεισφορά	Φάσεις	U <sub>L-E</sub> (kV)	Arg{U <sub>L-E</sub> } (°)	I'' <sub>k</sub> (kA)	Arg{I'' <sub>k</sub> } (°)	I <sub>k</sub> (kA)	i <sub>p</sub> (kA)	I <sub>b</sub> (kA)	i <sub>dc</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> /3I <sub>2</sub> (kA)
Τριφασικό	Συνολικά	R	95,263	180,00	17,718	-83,1	17,029	42,661	17,703	11,748	-
	Γεννήτρια	R			2,718	-82,9	2,029	6,544	2,703	1,802	
	Άπειρο ΣΗΕ	R			15,000	-83,2	15,000	36,117	15,000	9,946	
Μονοφασικό προς γη	Συνολικά	R	95,263	180,00	19,828	-84,7	19,828	47,744	19,828	13,148	3I <sub>0</sub> = 19,828
		S	12,068	-15,00	0,000	-90,0	0,000	0,000	0,000	0,000	
		T	11,939	-13,27	0,000	-90,0	0,000	0,000	0,000	0,000	
	Γεννήτρια	R			2,285	-83,7	2,285	5,502	2,285	1,515	3I <sub>0</sub> = 0,882
		S			0,701	94,8	0,701	1,688	0,701	0,465	
		T			0,712	89,9	0,712	1,713	0,712	0,472	
	Άπειρο ΣΗΕ	R			17,544	-84,8	17,544	42,243	17,544	11,633	3I <sub>0</sub> = 18,954
		S			0,701	-85,2	0,701	1,688	0,701	0,465	
		T			0,712	-90,1	0,712	1,713	0,712	0,472	
Διφασικό	Συνολικά	R	0,297	6,96	0,000	-90,0	0,000	0,000	0,000	0,000	3I <sub>2</sub> = 26,496
		S	82,482	90,10	15,297	186,9	15,297	36,832	15,297	10,143	
		T	82,518	269,90	15,297	6,9	15,297	36,832	15,297	10,143	
	Γεννήτρια	R			0,047	-166,2	0,047	0,113	0,047	0,031	3I <sub>2</sub> = 3,924
		S			2,309	96,3	2,309	5,560	2,309	1,531	
		T			2,304	-82,5	2,304	5,547	2,304	1,527	
	Άπειρο ΣΗΕ	R			0,047	13,8	0,047	0,113	0,047	0,031	3I <sub>2</sub> = 22,569
		S			12,988	96,9	12,988	31,272	12,988	8,612	
		T			12,993	-83,3	12,993	31,285	12,993	8,615	
Διφασικό προς γη	Συνολικά	R	13,434	163,38	0,000	180,0	0,000	0,000	0,000	0,000	3I <sub>0</sub> = 22,644
		S	95,263	60,00	18,473	149,1	18,473	44,480	18,473	12,249	
		T	95,263	-60,00	19,605	42,1	19,605	47,205	19,605	12,999	
	Γεννήτρια	R			0,852	181,1	0,852	2,050	0,852	0,565	3I <sub>0</sub> = 1,007
		S			2,494	75,1	2,494	6,004	2,494	1,653	
		T			2,515	-61,5	2,515	6,055	2,515	1,667	
	Άπειρο ΣΗΕ	R			0,852	1,1	0,852	2,050	0,852	0,565	3I <sub>0</sub> = 21,645
		S			16,091	56,7	16,091	38,743	16,091	10,669	
		T			17,170	-46,0	17,170	41,341	17,170	11,385	

Πίνακας 4.7: Ρεύματα βραχυκύκλωσης για σφάλματα στο ζυγό HV2 του δικτύου

Είδος σφάλματος	Φάσεις	$I''_k$ (kA)	$\text{Arg}\{I''_k\}$ (°)	$I_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	$3I_0/3I_2$ (kA)
Τριφασικό	R	3,395	-84,7	2,129	7,865	3,303	1,828	–
Μονοφασικό προς γη	R	2,478	-84,5	2,478	5,740	2,478	1,334	$3I_0 =$ 2,603
	S	0,066	267,5	0,066	0,152	0,066	0,035	
	T	0,071	-51,0	0,071	0,165	0,071	0,038	
Διφασικό	R	0,058	-167,9	0,058	0,135	0,058	0,031	$3I_2 =$ 4,878
	S	2,870	94,6	2,870	6,648	2,870	1,545	
	T	2,863	-84,2	2,863	6,632	2,863	1,542	
Διφασικό προς γη	R	0,010	152,7	0,010	0,023	0,010	0,005	$3I_0 =$ 2,066
	S	3,076	75,5	3,076	7,126	3,076	1,656	
	T	3,047	-64,9	3,047	7,058	3,047	1,641	

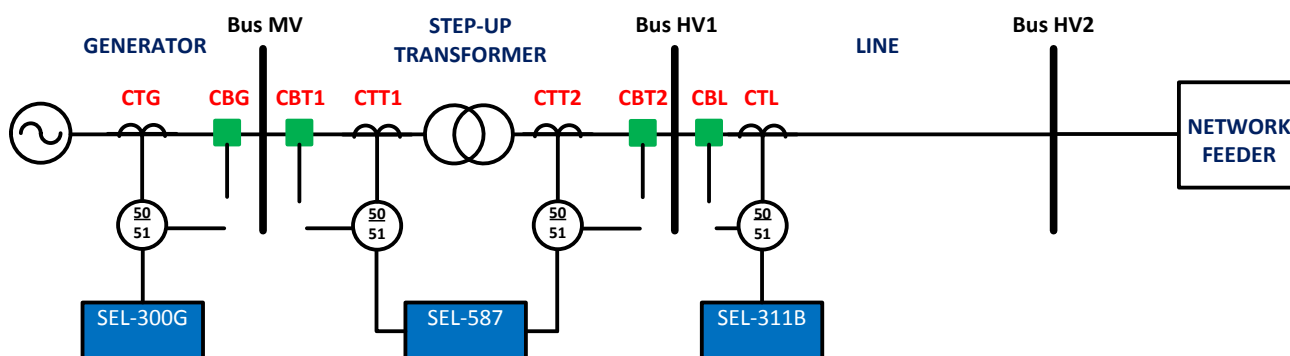
**Πίνακας 4.8:** Συνεισφορά γεννήτριας για σφάλματα στο 50% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου

### 4.3 Μελέτη προστασίας υπερέντασης

Στην ενότητα αυτή υλοποιούμε τη μελέτη για την προστασία και την επιλογική συνεργασία των στοιχείων υπερέντασης των ηλεκτρονόμων του εργαστηριακού συστήματος, χρησιμοποιώντας τα ρεύματα βραχυκύκλωσης που υπολογίσαμε και καταγράψαμε στους πίνακες 4.5 – 4.7 και αφορούν τη συνεισφορά της γεννήτριας στα σφάλματα αυτά. Προτού συνεχίσουμε, αναφέρουμε τις δύο βασικές παραδοχές, βάσει των οποίων πραγματοποιήσαμε τη συγκεκριμένη μελέτη προστασίας υπερέντασης.

1. Οι μετασηματιστές έντασης (CTs) που επιλέχθηκαν, λειτουργούν στη γραμμική περιοχή τους, δηλαδή δεν παρουσιάζουν κορεσμό για καμία τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης, από αυτές που υπολογίσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Σημειώνουμε ότι η επιλογή μετασηματιστών έντασης σε πραγματικές εφαρμογές, απαιτεί ξεχωριστή και προσεγμένη μελέτη, η οποία όμως ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.
2. Οι καμπύλες αντιστρόφου χρόνου, που χρησιμοποιούμε, βρίσκονται κάτω από τις καμπύλες αντοχής υπερεντάσεων του εξοπλισμού που προστατεύουμε, οι οποίες παρέχονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή.

Το δίκτυο που επιτηρεί το εργαστηριακό μας σύστημα, μαζί με τα στοιχεία υπερέντασης των ηλεκτρονόμων και τους μετασηματιστές έντασης, απεικονίζονται στο επόμενο σχήμα.



**Σχήμα 4.4:** Στοιχεία υπερέντασης και μετασηματιστές έντασης στο Σ.Η.Ε. που επιτηρεί του εργαστηριακό σύστημα προστασίας

Οι ηλεκτρονόμοι SEL-300G, SEL-587, SEL-311B διαθέτουν τρεις ομάδες στοιχείων υπερέντασης. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από στοιχεία υπερέντασης φάσης (50P/51P), η δεύτερη από στοιχεία υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας (50Q/51Q) και η τρίτη από στοιχεία υπερέντασης ουδετέρου (50N/51N). Κάθε ομάδα περιέχει στοιχεία υπερέντασης σταθερού χρόνου, αντιστρόφου χρόνου και στιγμιαία.

Στη μελέτη υπερέντασης που υλοποιήσαμε και παρουσιάζουμε στη συνέχεια, ρυθμίσαμε τα στοιχεία αντιστρόφου χρόνου και τα στιγμιαία στοιχεία υπερέντασης και των τριών ομάδων υπερέντασης των ηλεκτρονόμων του εργαστηριακού συστήματος προστασίας.

Η λογική που ακολουθήθηκε κατά τον υπολογισμό και τη ρύθμιση των στοιχείων υπερέντασης συμβαδίζει με τις προτεινόμενες οδηγίες του εγχειριδίου SEL-587 [34], όπως αναφέραμε και στην ενότητα 3.2.5.4, οι οποίες εν συντομία είναι:

- τα στοιχεία υπερέντασης φάσης ρυθμίζονται έτσι ώστε να αντιλαμβάνονται και να εκκαθαρίζουν τριφασικά σφάλματα,
- τα στοιχεία υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας ρυθμίζονται με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να προστατεύουν τον εξοπλισμό από διφασικά σφάλματα,
- τέλος, τα στοιχεία υπερέντασης ουδετέρου ρυθμίζονται έτσι ώστε να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε σφάλματα γης (μονοφασικά, διφασικά), μικρής ή μεγάλης αντίστασης σφάλματος.

Οι καμπύλες που χρησιμοποιήθηκαν στα στοιχεία αντιστρόφου χρόνου πάρθηκαν από το εγχειρίδια χρήσης των SEL-300G [35], SEL-587 [34], SEL-311B [33] και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις US και τις IEC καμπύλες.

#### 4.3.1 Υπολογισμός ρυθμίσεων στοιχείων υπερέντασης φάσης (phase overcurrent elements, 50P/51P)

Όπως προείπαμε, η ρύθμιση των συγκεκριμένων στοιχείων βασίζεται στις τιμές ρεύματος κατά τη διάρκεια τριφασικού βραχυκυκλώματος στους ζυγούς του συστήματος. Οι τιμές αυτές, που “βλέπουν” οι αντίστοιχοι ηλεκτρονόμοι, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα και αφορούν τη συνεισφορά της γεννήτριας στα σφάλματα.

3Φ ΣΦΑΛΜΑ ΣΤΟ ΖΥΓΟ	SEL-300G	SEL-587 (στοιχείο MT)	SEL-587 (στοιχείο YT)	SEL-311B
MV	61,460 kA	----	----	----
HV1	32,236 kA	32,236 kA	4,513 kA	----
HV2	19,414 kA	19,414 kA	2,718 kA	2,718 kA

**Πίνακας 4.9:** Τιμές τριφασικών βραχυκυκλωμάτων στους ζυγούς του συστήματος, στα σημεία εγκατάστασης των ηλεκτρονόμων

Η επιλογή των μετασχηματιστών έντασης, που τροφοδοτούν τους ηλεκτρονόμους, επιλέγονται με απλοϊκό τρόπο, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, βάσει του ονομαστικού ρεύματος του συστήματος στο εκάστοτε σημείο. Στην προκειμένη περίπτωση, ως ονομαστικό ρεύμα σε όλο το δίκτυό μας, μέχρι το άπειρο Σ.Η.Ε., θα χρησιμοποιήσουμε αυτό της γεννήτριας, το οποίο είναι:

$$I_{nom,MV} = \frac{S_{nG}}{\sqrt{3} * MV} = \frac{353 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 21 \text{ kV}} = 9,705 \text{ kA}$$

$$I_{nom,HV} = \frac{S_{nG}}{\sqrt{3} * HV} = \frac{353 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 150 \text{ kV}} = 1,359 \text{ kA}$$

Συνεπώς, για τους ηλεκτρονόμους στην πλευρά MT, χρησιμοποιούμε μετασχηματιστές έντασης με ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος 10000 A και για αυτούς στην πλευρά YT, μετασχηματιστές έντασης με ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος 1500 A. Πιο συγκεκριμένα για τους ηλεκτρονόμους μας έχουμε τους ακόλουθους λόγους μετασχηματισμού:

ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ	ΛΟΓΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ M/E (CTRs)
SEL-300G	$CTR_g = 10000A/1A = 10000$
SEL-587 (MV)	$CTR_{t1} = 10000A/1A = 10000$
SEL-587 (HV)	$CTR_{t2} = 1500A/1A = 1500$
SEL-311B	$CTR_1 = 1500A/5A = 300$

**Πίνακας 4.10:** Λόγοι μετασχηματισμού των επιλεγμένων M/E

Προτού προχωρήσουμε στον υπολογισμό των ρευμάτων ρύθμισης (pickup current,  $I_{pu}$ ) και των χρονικών σταθερών (TDS), που είναι απαραίτητα για τη μελέτη προστασίας υπερέντασης, παραθέτουμε στον ακόλουθο πίνακα πληροφορίες για τα όρια των τιμών και τα βήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα στοιχεία υπερέντασης (στιγμιαία και αντιστρόφου χρόνου), των ηλεκτρονόμων του εργαστηριακού μας συστήματος προστασίας.

SEL-300G	SEL-587	SEL-311B
<u>Inverse-time</u> $I_{pu} = 0,1 - 3,2$ A TDS: US curves: 0,5 – 15, step 0,01 IEC curves: 0,05 – 1, step 0,01	<u>Inverse-time</u> $I_{pu} = 0,1 - 3,2$ A TDS: US curves: 0,5 – 15, step 0,01 IEC curves: 0,05 – 1, step 0,01	<u>Inverse-time</u> $I_{pu} = 0,25 - 16,00$ A TDS: US curves: 0,5 – 15, step 0,01 IEC curves: 0,05 – 1, step 0,01
<u>Instantaneous</u> $I_{inst} = 0,05 - 20,00$ A	<u>Instantaneous</u> $I_{inst} = 0,1 - 16$ A	<u>Instantaneous</u> $I_{inst} = 0,25 - 100,00$ A

**Πίνακας 4.11:** Πληροφορίες στοιχείων υπερέντασης (στιγμιαία, αντιστρόφου χρόνου) των ηλεκτρονόμων του εργαστηριακού συστήματος

#### 4.3.1.1 Υπολογισμός ρευμάτων ρύθμισης ( $I_{pu}$ )

Οι τιμές των ρευμάτων ρύθμισης για τα στοιχεία υπερέντασης φάσης πρέπει να είναι μικρότερες των ονομαστικών τιμών σε κάθε σημείο του δικτύου μας και με βάση αυτόν τον κανόνα θα επιλεγούν οι συντελεστές ασφαλείας (N) που θα χρησιμοποιήσουμε στους υπολογισμούς. Η συνθήκη αυτή δεν ισχύει για τα στοιχεία υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας και ουδετέρου, μιας και υπό κανονικές συνθήκες είναι επιθυμητό οι τιμές των συνιστωσών ρεύματος αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας να είναι μηδενικές (ή, πιο ρεαλιστικά, ελάχιστες, γιατί κανένα δίκτυο δεν είναι απολύτως συμμετρικό).

- Ηλεκτρονόμος SEL-311B

Το ρεύμα ρύθμισης του ηλεκτρονόμου εξαρτάται από το ρεύμα τριφασικού σφάλματος στον επόμενο ζυγό, δηλαδή τον HV2.

Επιλέγουμε συντελεστή ασφαλείας  $N = 1,5$  και ελέγχουμε αν η τιμή που προκύπτει είναι μεγαλύτερη της ονομαστικής τιμής, όπως προείπαμε. Πιο συγκεκριμένα,

$$\frac{I_{3\phi\_HV2}}{N} = \frac{2718 \text{ A}}{1,5} = 1,802 \text{ kA} > I_{nom,HV} = 1,359 \text{ kA}$$

Επομένως, ο συντελεστής ασφαλείας που επιλέξαμε πληροί την απαραίτητη προϋπόθεση και το ρεύμα ρύθμισης προκύπτει:

$$I_{pu(311B)} = \frac{I_{3\phi\_HV2}}{N \cdot CTR_1} = \frac{2718}{1,5 \cdot 300} = 6,04 \text{ A}$$

Συνεπώς, ως ρεύμα ρύθμισης για το στοιχείο υπερέντασης φάσης αντιστρόφου χρόνου του SEL-311B, παίρνουμε:

$$I_{pu(311B)} = 6 \text{ A}$$

Επίσης, θα χρησιμοποιήσουμε και το στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης φάσης του ηλεκτρονόμου, το οποίο θα το ρυθμίσουμε στο 125% του τριφασικού σφάλματος στο ζυγό HV2, άρα:

$$I_{inst(311B)} = 1,25 \cdot \frac{I_{3\phi\_HV2}}{CTR_1} = \frac{1,25 \cdot 2718}{300} = 11,325 \text{ A}$$

Επιλέγουμε, για ακόμη μεγαλύτερη ασφάλεια:

$$I_{inst(311B)} = 11 \text{ A}$$

- Ηλεκτρονόμος SEL-587

- Στοιχείο υπερέντασης στην πλευρά YT (t2)

Το στοιχείο υπερέντασης t2 του ηλεκτρονόμου SEL-587 λειτουργεί ως εφεδρεία για το στοιχείο υπερέντασης του SEL-311B, οπότε θα έχει το ίδιο ρεύμα ρύθμισης, ανηγμένο στα δικά του επίπεδα ρεύματος δευτερεύοντος, δηλαδή:

$$I_{pu(587t2)} = \frac{I_{3\phi\_HV2}}{N \cdot CTR_{t2}} = \frac{2718}{1,5 \cdot 1500} = 1,208 \text{ A}$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.11, επιλέγουμε μια επιτρεπτή τιμή για το ρεύμα ρύθμισης, πλησίον του 1,208 A. Συνεπώς, παίρνουμε:

$$I_{pu(587t2)} = 1,2 \text{ A}$$

Στιγμιαίο στοιχείο δε χρησιμοποιούμε, για την αποφυγή ενδεχομένου ταχύτερης λειτουργίας σε σφάλματα επί της γραμμής μεταφοράς, που επιτηρούνται από τον ηλεκτρονόμο SEL-311B.

- Στοιχείο υπερέντασης στην πλευρά MT (t1)

Το ρεύμα ρύθμισης του στοιχείου αυτού εξαρτάται από το ρεύμα τριφασικού σφάλματος στον επόμενο ζυγό, δηλαδή τον HV1.

Επιλέγουμε συντελεστή ασφαλείας  $N = 2,5$  και ελέγχουμε αν η τιμή που προκύπτει είναι μεγαλύτερη της ονομαστικής τιμής. Πιο συγκεκριμένα,

$$\frac{I_{3\phi\_HV1}}{N} = \frac{4513 \text{ A}}{2,5} = 1,805 \text{ kA} > I_{nom,HV} = 1,359 \text{ kA}$$

Επομένως, ο συντελεστής ασφαλείας που επιλέξαμε πληροί την απαραίτητη προϋπόθεση και το ρεύμα ρύθμισης προκύπτει:

$$I_{pu(587t1)} = \frac{I_{3\phi\_HV1(MV)}}{N \cdot CTR_{t1}} = \frac{32236}{2,5 \cdot 10000} = 1,289 \text{ A}$$

Συνεπώς, ως ρεύμα ρύθμισης για το στοιχείο υπερέντασης φάσης αντιστρόφου παίρνουμε:

$$I_{pu(587t1)} = 1,3 \text{ A}$$

Επίσης, θα χρησιμοποιήσουμε και το στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης φάσης του ηλεκτρονόμου, το οποίο θα το ρυθμίσουμε στο 125% του τριφασικού σφάλματος στο ζυγό HV1, άρα:

$$I_{inst(587t1)} = 1,25 \cdot \frac{I_{3\phi HV1}}{CTR_{t1}} = \frac{1,25 \cdot 32236}{10000} = 4,03 \text{ A}$$

Επομένως, επιλέγουμε:

$$I_{inst(587t1)} = 4 \text{ A}$$

▪ Ηλεκτρονόμος SEL-300G

Το στοιχείο υπερέντασης του ηλεκτρονόμου SEL-300G λειτουργεί ως εφεδρεία για το στοιχείο υπερέντασης t1 του SEL-587, οπότε θα έχει το ίδιο ρεύμα ρύθμισης, δηλαδή:

$$I_{pu(300G)} = I_{pu(587t1)} = 1,3 \text{ A}$$

Στιγμιαίο στοιχείο δε χρησιμοποιούμε στο συγκεκριμένο στοιχείο, για την αποφυγή ταχύτερης λειτουργίας σε σφάλματα στο μετασχηματιστή, που επιτηρούνται από το στοιχείο του SEL-587.

4.3.1.2 Υπολογισμός χρονικών σταθερών (TD)

Οι χρονικές σταθερές είναι αυτές που επηρεάζουν και καθορίζουν την επιλογική συνεργασία των στοιχείων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου σε ένα δίκτυο, σε αντίθεση με τα ρεύματα ρύθμισης, τα οποία αφορούν το όριο έντασης, πάνω από το οποίο επενεργεί το εκάστοτε στοιχείο υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου.

Έπειτα από διερεύνηση όλων των καμπυλών που είναι διαθέσιμες προς χρήση στους ηλεκτρονόμους του εργαστηριακού μας συστήματος προστασίας, με τη βοήθεια του μαθηματικού προγράμματος Mathcad 15.0, καταλήξαμε στην επιλογή της οικογένειας καμπυλών US και πιο συγκεκριμένα του τύπου U1 (Moderately Inverse Curve), με εξίσωση περιγραφής (όπως δίνεται από τα εγχειρίδια χρήσης των ηλεκτρονόμων):

$$t_{p(U1)} = TD \cdot \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{M^{0,02} - 1} \right] \quad (4.1)$$

$t_p$  : χρόνος λειτουργίας στοιχείου σε sec (operating time),

TD : χρονική σταθερά (time-dial setting),

M : ο λόγος του ρεύματος που εισέρχεται στον ηλεκτρονόμο προς το ρεύμα ρύθμισης ( $I/I_{pu}$ ).

Ο συγκεκριμένος τύπος καμπυλών μας προσφέρει την καλύτερη επιλογική συνεργασία και την ταχύτερη απόκριση των στοιχείων υπερέντασης φάσης των ηλεκτρονόμων, σε περίπτωση εμφάνισης τριφασικού σφάλματος στο δίκτυό μας.

Μία ακόμη σημαντική παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί προτού γίνουν οι τελικοί υπολογισμοί των χρονικών σταθερών (TD) είναι ο χρόνος καθυστέρησης ή διακριτικότητας όπως αποκαλείται (time delay, time discrimination margin κτλ.), ο οποίος αφορά το χρόνο, έπειτα από τον οποίο θα επενεργήσει το αμέσως προηγούμενο στοιχείο προστασίας (εφεδρικό), αν η κύρια προστασία υπερέντασης δεν ανταποκριθεί σε σφάλμα που συμβαίνει σε μέρος που επιτηρεί. Ο χρόνος αυτός πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το άθροισμα των παρακάτω συνιστωσών, ώστε να μη χαθεί σε καμία περίπτωση η επιλογική συνεργασία. Οι εν λόγω συνιστώσες είναι:

- ο χρόνος λειτουργίας διακόπτη ισχύος (breaker operating time),
- ο χρόνος μετάδοσης του σήματος από τον ηλεκτρονόμο στο διακόπτη ισχύος (overtravel time),



- ο συντελεστής ασφαλείας (security margin), που εξαρτάται από την ακρίβεια των ηλεκτρονόμων, των μετασχηματιστών έντασης και των διακοπών ισχύος.

Στους σύγχρονους ψηφιακούς ηλεκτρονόμους, τυπικές τιμές για το χρόνο καθυστέρησης είναι 0,1 – 0,3 sec. Για τη δική μας εφαρμογή επιλέγουμε:

$$t_c = 0,2 \text{ sec}$$

Ακολουθεί ο αναλυτικός υπολογισμός των χρονικών συντελεστών, σύμφωνα με τον αλγόριθμο επιλογικής συνεργασίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης σε ακτινικά δίκτυα [36].

✓ Ηλεκτρονόμος SEL-311B

Επειδή είναι ο πιο απομακρυσμένος ηλεκτρονόμος από την πηγή επιλέγουμε τη μικρότερη χρονική σταθερά, δηλαδή:

$$TD_{311B} = 0,5$$

Για ρεύμα με τιμή ίση με τη ρύθμιση του στιγμιαίου στοιχείου (125% του τριφασικού σφάλματος στο ζυγό HV2), ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί σε χρόνο:

$$M_{311B} = \frac{I_{inst(311B)}}{I_{pu(311B)}} = \frac{11}{6} = 1,833$$

$$t_{op(311B)} = t_{p(U1)}(TD_{311B}, M_{311B}) = t_{p(U1)}(0,5, 1,833) \stackrel{(4.1)}{\implies} t_{op(311B)} = 0,438 \text{ sec}$$

✓ Ηλεκτρονόμος SEL-587

- Στοιχείο υπερέντασης στην πλευρά YT (t2)

Αν σε ρεύμα με τιμή ίση με το 125% του τριφασικού σφάλματος στο ζυγό HV2, ο ηλεκτρονόμος SEL-311B δεν επενεργήσει, τότε το στοιχείο t2 θα λειτουργήσει σε χρόνο:

$$t_{op1(587t2)} = t_{op(311B)} + t_c = 0,438 + 0,2 = 0,638 \text{ sec}$$

$$M_{1(587t2)} = \frac{I_{inst(311B)} \cdot \frac{CTR_1}{CTR_{t2}}}{I_{pu(587t2)}} = \frac{11 \cdot \frac{300}{1500}}{1,2} = 1,833$$

Συνεπώς, για τη χρονική σταθερά παίρνουμε:

$$t_{op1(587t2)} = t_{p(U1)}(TD_{587t2}, M_{1(587t2)}) \implies 0,638 =$$

$$= t_{p(U1)}(TD_{587t2}, 1,833) \stackrel{(4.1)}{\implies} TD_{587t2} \cong 0,728$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.11 επιλέγουμε:

$$TD_{587t2} = 0,73$$

Για τριφασικό σφάλμα στο ζυγό HV1, το στοιχείο t2 επενεργεί σε χρόνο:

$$M_{2(587t2)} = \frac{I_{3\phi\_HV1}}{I_{pu(587t2)} \cdot \frac{CTR_{t2}}{CTR_1}} = \frac{4513}{1,2 \cdot \frac{1500}{300}} = 2,507$$

$$t_{op2(587t2)} = t_{p(U1)}(TD_{587t2}, M_{2(587t2)}) = t_{p(U1)}(0,73, 2,507) \stackrel{(4.1)}{\implies} t_{op2(587t2)} = 0,426 \text{ sec}$$

- Στοιχείο υπερέντασης στην πλευρά YT (t1)

Αν για το σφάλμα που αναφέραμε, το στοιχείο t2 δεν επενεργήσει, τότε το στοιχείο t1 θα λειτουργήσει σε χρόνο:

$$t_{op1(587t1)} = t_{op2(587t2)} + t_c = 0,426 + 0,2 = 0,626 \text{ sec}$$

$$M_{1(587t1)} = \frac{\frac{I_{3\phi\_HV1(MV)}}{CTR_{t1}}}{I_{pu(587t1)}} = \frac{\frac{32236}{10000}}{1,3} = 2,48$$

Συνεπώς, για τη χρονική σταθερά παίρνουμε:

$$\begin{aligned} t_{op1(587t1)} &= t_{p(U1)}(TD_{587t1}, M_{1(587t1)}) \Rightarrow 0,626 \\ &= t_{p(U1)}(TD_{587t1}, 2,48) \stackrel{(4.1)}{\Rightarrow} TD_{587t2} \cong 1,060 \end{aligned}$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.11 επιλέγουμε:

$$\mathbf{TD_{587t1} = 1,06}$$

Για ρεύμα με τιμή ίση με τη ρύθμιση του στιγμιαίου στοιχείου (125% του τριφασικού σφάλματος στο ζυγό HV1), ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί σε χρόνο:

$$M_{2(587t1)} = \frac{I_{inst(587t1)}}{I_{pu(587t1)}} = \frac{4}{1,3} = 3,077$$

$$t_{op2(587t1)} = t_{p(U1)}(TD_{587t1}, M_{2(587t1)}) = t_{p(U1)}(1,06, 3,077) \stackrel{(4.1)}{\Rightarrow} t_{op2(587t1)} = 0,509 \text{ sec}$$

✓ Ηλεκτρονόμος SEL-300G

Αν σε ρεύμα με τιμή ίση με το 125% του τριφασικού σφάλματος στο ζυγό HV1, το στοιχείο t1 δεν επενεργήσει, τότε το στοιχείο υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου του SEL-300G θα λειτουργήσει σε χρόνο:

$$t_{op(300G)} = t_{op2(587t1)} + t_c = 0,509 + 0,2 = 0,709 \text{ sec}$$

$$M_{300G} = \frac{I_{inst(587t1)}}{I_{pu(300G)}} = \frac{4}{1,3} = 3,077$$

Συνεπώς, για τη χρονική σταθερά παίρνουμε:

$$t_{op(300G)} = t_{p(U1)}(TD_{300G}, M_{300G}) \Rightarrow 0,709 = t_{p(U1)}(TD_{300G}, 3,077) \stackrel{(4.1)}{\Rightarrow} TD_{587t2} \cong 1,477$$

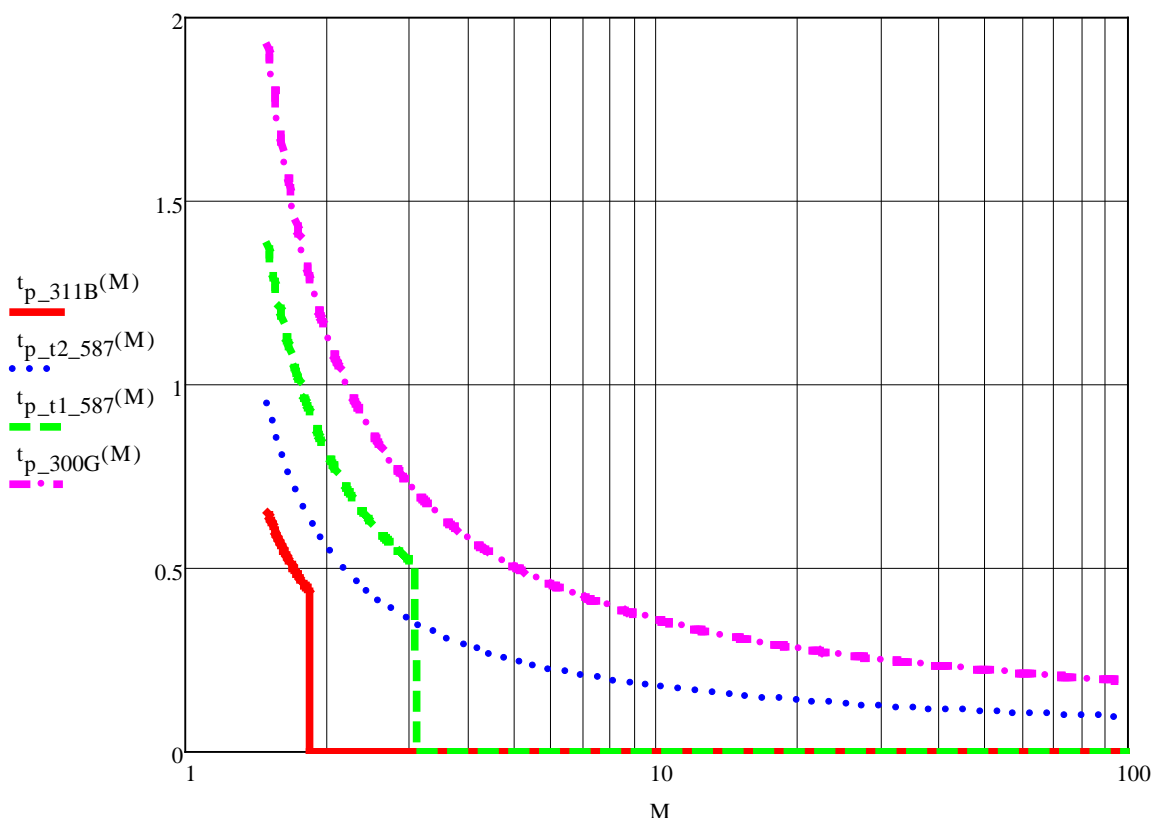
Σύμφωνα με τον πίνακα 4.11 επιλέγουμε:

$$\mathbf{TD_{587t2} = 1,48}$$

Στη συνέχεια, καταγράφουμε συγκεντρωτικά τις εξισώσεις περιγραφής των καμπυλών που υπολογίσαμε και παρουσιάζουμε στο σχήμα 4.5 τις γραφικές παραστάσεις τους, όπου και φαίνεται ξεκάθαρα η καλή επιλογική συνεργασία που πετύχαμε με τη συγκεκριμένη οικογένεια καμπυλών. Τέλος, δίνουμε και τους χρόνους λειτουργίας των στοιχείων υπερέντασης φάσης κύριας προστασίας, αλλά και των εφεδρικών αυτών, για τριφασικά σφάλματα στους ζυγούς του δικτύου μας, αλλά και στο 50% της γραμμής μεταφοράς (από τους πίνακες 4.5 – 4.8).

Στοιχεία υπερέντασης φάσης	Περιγραφική εξίσωση (εφαρμογή σχέσης 4.1)
SEL-311B	$t_p = 0,5 \cdot \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{\left(\frac{I}{6}\right)^{0,02} - 1} \right] \text{ (sec), για } I < 11 \text{ A}$ $t_p = 0, \text{ για } I \geq 11 \text{ A}$
SEL-587 (t2)	$t_p = 0,73 \cdot \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{\left(\frac{I}{1,2}\right)^{0,02} - 1} \right] \text{ (sec)}$
SEL-587 (t1)	$t_p = 1,06 \cdot \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{\left(\frac{I}{1,3}\right)^{0,02} - 1} \right] \text{ (sec), για } I < 4 \text{ A}$ $t_p = 0, \text{ για } I \geq 4 \text{ A}$
SEL-300G	$t_p = 1,48 \cdot \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{\left(\frac{I}{1,3}\right)^{0,02} - 1} \right] \text{ (sec)}$
<p><b>Σημ. 1:</b> Οι τιμές των ρευμάτων I, στις περιγραφικές εξισώσεις, είναι σε τιμές δευτερεύοντος μετασχηματιστών έντασης, όπως εισέρχονται δηλαδή στον κάθε ηλεκτρονόμο.</p> <p><b>Σημ. 2:</b> Οι καμπύλες με τις παραπάνω περιγραφικές εξισώσεις εκκινούν από την τιμή ρεύματος, για την οποία ισχύει:</p> $\frac{I}{I_{pu}} \geq 1,5.$	

*Πίνακας 4.12: Περιγραφικές εξισώσεις καμπυλών U1 των στοιχείων υπερέντασης φάσης*



Σχήμα 4.5: Γραφικές παραστάσεις καμπυλών  $U1$  των στοιχείων υπερέντασης φάσης

Τριφασικά σφάλματα	Κύρια προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.12)	Εφεδρική προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.12)
Ζυγός HV2	SEL-311B	0,640 sec	SEL-587 (t2)	0,934 sec
Ζυγός HV1	SEL-587 (t2)	0,426 sec	SEL-587 (t1)	0,625 sec
Ζυγός MV	SEL-300G	0,521 sec	----	----
50% Γραμμής μεταφοράς	SEL-311B	0,418 sec	SEL-587 (t2)	0,611 sec

Πίνακας 4.13: Χρόνοι απόκρισης στοιχείων υπερέντασης φάσης για τριφασικά σφάλματα στους ζυγούς του δικτύου και στο 50% της γραμμής μεταφοράς

#### 4.3.2 Υπολογισμός ρυθμίσεων στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας (negative-sequence overcurrent elements, 50Q/51Q)

Όπως αναφέραμε στην αρχή της ενότητας 4.3, τα στοιχεία υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας θα τα ρυθμίσουμε βάσει των τιμών που προκύπτουν για το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας σε περίπτωση διφασικών σφαλμάτων. Αυτό γίνεται διότι η συγκεκριμένη ομάδα στοιχείων παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία από τα στοιχεία φάσης, για το συγκεκριμένο τύπο σφαλμάτων.

2Φ ΣΦΑΛΜΑ ΣΤΟ ΖΥΓΟ	SEL-300G	SEL-587 (στοιχείο MT)	SEL-587 (στοιχείο YT)	SEL-311B
MV	85,008 kA	----	----	----
HV1	45,943 kA	45,943 kA	6,432 kA	----
HV2	28,029 kA	28,029 kA	3,924 kA	3,924 kA

Πίνακας 4.14: Τιμές  $3I_2$  για διφασικά βραχυκυκλώματα στους ζυγούς του συστήματος, στα σημεία εγκατάστασης των ηλεκτρονόμων

Δέσμευση κατώτατης τιμής που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για ρεύμα ρύθμισης δεν υπάρχει, σε αντίθεση με τα στοιχεία φάσης, επειδή είναι ανεπιθύμητη η ύπαρξη ρευμάτων αρνητικής ακολουθίας, σε κανονική λειτουργία, λόγω ασυμμετριών στο δίκτυο. Συνεπώς, κάναμε χρήση μεγάλων συντελεστών ασφαλείας N (10 για το στοιχείο υπερέντασης του ηλεκτρονόμου SEL-311B και το t2 του ηλεκτρονόμου SEL-587, 15 για το t1 του SEL-587 και το στοιχείο του SEL-300G). Αυτό έχει ως στόχο, εκτός από την εκκαθάριση των διαφασικών σφαλμάτων στο δίκτυο και την προστασία του από καταστάσεις λειτουργίας με έντονη ασυμμετρία.

Τα στοιχεία υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας του ηλεκτρονόμου SEL-587 δε διαθέτουν στιγμιαία στοιχεία, όπως έχουμε επισημάνει στο κεφάλαιο 3, συνεπώς περιοριστήκαμε στη χρήση των στοιχείων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου των ηλεκτρονόμων. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τα στοιχεία υπερέντασης φάσης και με τη βοήθεια του προγράμματος Mathcad 15.0, καταλήξαμε ότι η πιο αποδοτική οικογένεια καμπυλών, από άποψη επιλογικής συνεργασίας και χρόνων λειτουργίας είναι η U3 (Very Inverse Curve), της οποίας η περιγραφική εξίσωση είναι:

$$t_{p(U3)} = TD \cdot \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{M^2 - 1} \right] \quad (4.2)$$

$t_p$  : χρόνος λειτουργίας στοιχείου σε sec (operating time),

TD : χρονική σταθερά (time-dial setting),

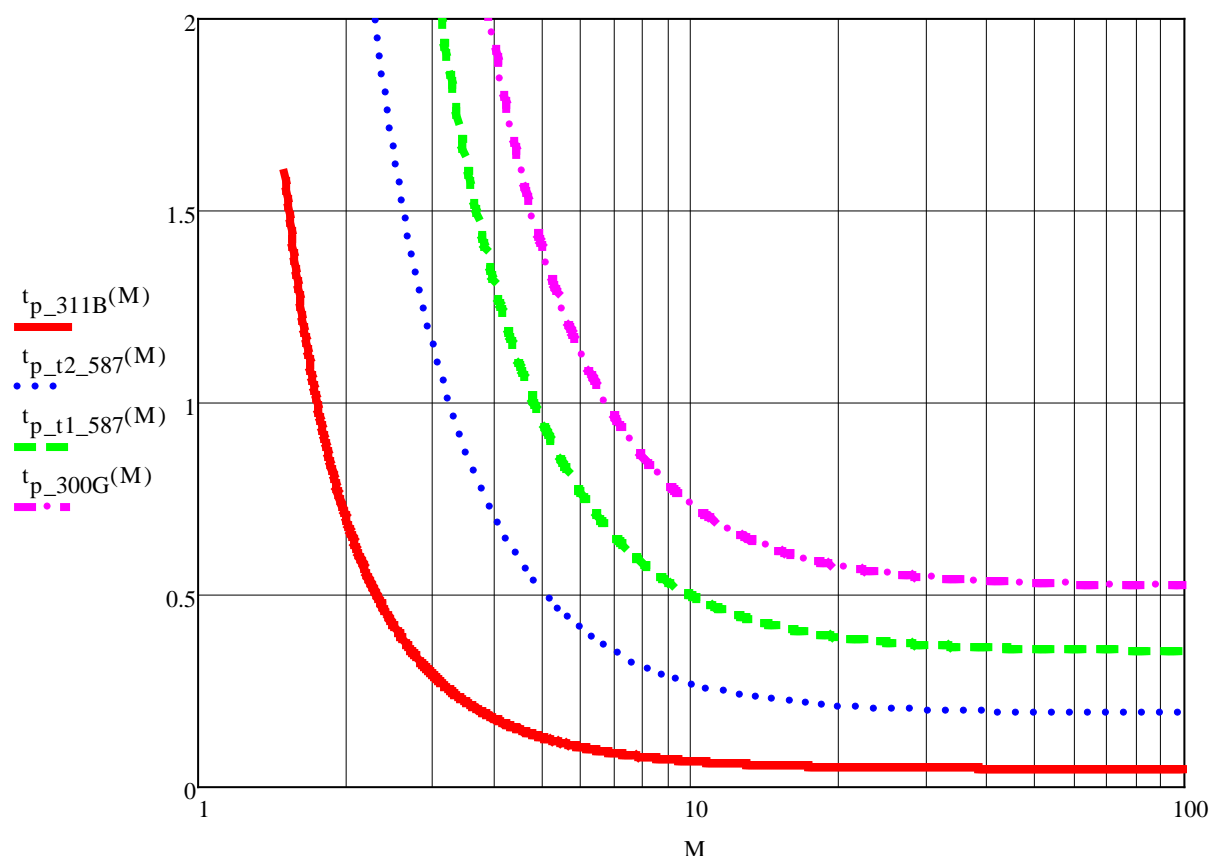
M : ο λόγος του ρεύματος που εισέρχεται στον ηλεκτρονόμο προς το ρεύμα ρύθμισης ( $I/I_{pu}$ ).

Επιπλέον, για τον καθορισμό των TD χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος χρόνος καθυστέρησης με τα στοιχεία υπερέντασης φάσης, δηλαδή  $t_c = 0,2$  sec.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωμένες οι περιγραφικές εξισώσεις των καμπυλών που προέκυψαν από τη μελέτη υπερέντασης και στο σχήμα 4.6, οι γραφικές παραστάσεις τους. Για τον πίνακα 4.15 ισχύουν οι ίδιες σημειώσεις με αυτές του πίνακα 4.12.

Στοιχεία υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας	Ρεύμα ρύθμισης $I_{pu}$ (A)	Χρονική σταθερά TD	Περιγραφική εξίσωση (εφαρμογή σχέσης 4.2)
SEL-311B	1,3	0,5	$t_p = 0,5 \cdot \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{\left(\frac{I}{1,3}\right)^2 - 1} \right]$ (sec)
SEL-587 (t2)	0,3	1,98	$t_p = 1,98 \cdot \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{\left(\frac{I}{0,3}\right)^2 - 1} \right]$ (sec)
SEL-587 (t1)	0,3	3,68	$t_p = 3,68 \cdot \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{\left(\frac{I}{0,3}\right)^2 - 1} \right]$ (sec)
SEL-300G	0,3	5,43	$t_p = 5,43 \cdot \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{\left(\frac{I}{0,3}\right)^2 - 1} \right]$ (sec)

**Πίνακας 4.15:** Περιγραφικές εξισώσεις καμπυλών U3 των στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας



Σχήμα 4.6: Γραφικές παραστάσεις καμπυλών  $U3$  των στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας

Επίσης, πριν κλείσουμε την υποενότητα αυτή, παρουσιάζουμε στον πίνακα 4.16 τους χρόνους λειτουργίας των στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας, κύριας και εφεδρικής προστασίας, για διφασικά σφάλματα χωρίς γη στους ζυγούς του συστήματος αλλά και στο 50% της γραμμής μεταφοράς.

Διφασικά σφάλματα	Κύρια προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.15)	Εφεδρική προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.15)
Ζυγός HV2	SEL-311B	0,068 sec	SEL-587 (t2)	0,267 sec
Ζυγός HV1	SEL-587 (t2)	0,219 sec	SEL-587 (t1)	0,420 sec
Ζυγός MV	SEL-300G	0,551 sec	---	---
50% Γραμμής μεταφοράς	SEL-311B	0,061 sec	SEL-587 (t2)	0,240 sec

Πίνακας 4.16: Χρόνοι απόκρισης στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας για διφασικά σφάλματα χωρίς γη στους ζυγούς του δικτύου και στο 50% της γραμμής μεταφοράς

#### 4.3.3 Υπολογισμός ρυθμίσεων στοιχείων υπερέντασης ουδετέρου (residual overcurrent elements, 50N/51N)

Η ρύθμιση των συγκεκριμένων στοιχείων υπερέντασης γίνεται με βάση τις τιμές των ρευμάτων μηδενικής ακολουθίας που προκύπτουν για σφάλματα γης στους ζυγούς του δικτύου (μονοφασικό και διφασικό). Αυτό συμβαίνει διότι η συγκεκριμένη ομάδα στοιχείων υπερέντασης επιδεικνύει τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε σχέση τις άλλες ομάδες (φάσης και αρνητικής ακολουθίας), κατά την εκδήλωση τέτοιου είδους σφαλμάτων.

<b>1Φ ΣΦΑΛΜΑ ΠΡΟΣ ΓΗ ΣΤΟ ΖΥΓΟ</b>	<b>SEL-300G</b>	<b>SEL-587 (στοιχείο MT)</b>	<b>SEL-587 (στοιχείο YT)</b>	<b>SEL-311B</b>
MV	84,066 kA	----	----	----
HV1	31,864 kA	31,864 kA	4,461 kA	----
HV2	6,300 kA	6,300 kA	0,882 kA	0,882 kA
<b>2Φ ΣΦΑΛΜΑ ΠΡΟΣ ΓΗ ΣΤΟ ΖΥΓΟ</b>	<b>SEL-300G</b>	<b>SEL-587 (στοιχείο MT)</b>	<b>SEL-587 (στοιχείο YT)</b>	<b>SEL-311B</b>
MV	100,975 kA	----	----	----
HV1	26,414 kA	26,414 kA	3,698 kA	----
HV2	7,193 kA	7,193 kA	1,007 kA	1,007 kA

*Πίνακας 4.17: Τιμές 3I<sub>0</sub> για βραχυκυκλώματα γης στους ζυγούς του συστήματος, στα σημεία εγκατάστασης των ηλεκτρονόμων*

Και σε αυτήν την περίπτωση, δέσμευση κατώτατης τιμής που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για ρεύμα ρύθμισης δεν υπάρχει, επειδή είναι ανεπιθύμητη η ύπαρξη ρευμάτων μηδενικής ακολουθίας, σε κανονική λειτουργία, από τυχούσες ασυμμετρίες στο δίκτυο. Συνεπώς, κάναμε χρήση μεγάλων συντελεστών ασφαλείας N (4 για το στοιχείο υπερέντασης του ηλεκτρονόμου SEL-311B και το t<sub>2</sub> του ηλεκτρονόμου SEL-587, 15 για το t<sub>1</sub> του SEL-587 και το στοιχείο του SEL-300G). Στόχος μας ήταν, με τη χρήση μεγάλων συντελεστών ασφαλείας, να εκκαθαρίζονται όλα τα σφάλματα γης στο δίκτυο, μηδενικής ως μεγάλης αντίστασης σφάλματος, καθώς και καταστάσεις λειτουργίας με έντονη ασυμμετρία, που είναι επικίνδυνες για τον εξοπλισμό μας.

Τα στοιχεία υπερέντασης ουδετέρου του ηλεκτρονόμου SEL-587 διαθέτουν στιγμιαία στοιχεία, σε αντίθεση με τα αρνητικής ακολουθίας και είναι ρυθμισμένα να εκκαθαρίζουν ακαριαία σφάλματα με τιμή ίση ή μεγαλύτερη του μεγίστου, μεταξύ μονοφασικού και διφασικού σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα, το στιγμιαίο στοιχείο υπερέντασης του SEL-311B ρυθμίστηκε να “κόβει” σφάλματα με τιμή ίση ή μεγαλύτερη του 1,007 kA (διφασικό σφάλμα προς γη στο ζυγό HV2), ενώ του t<sub>1</sub> (SEL-587) να “κόβει” σφάλματα με τιμή ίση ή μεγαλύτερη του 100,975 kA (διφασικό σφάλμα προς γη λίγο μετά το ζυγό MV). Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τα στοιχεία υπερέντασης φάσης και με τη βοήθεια του προγράμματος Mathcad 15.0, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η πιο αποδοτική οικογένεια καμπυλών, από άποψη επιλογικής συνεργασίας και χρόνων λειτουργίας είναι η C2 (Very Inverse Curve), της οποίας η περιγραφική εξίσωση είναι:

$$t_{p(C2)} = TD \cdot \left[ \frac{13,5}{M - 1} \right] \quad (4.3)$$

t<sub>p</sub> : χρόνος λειτουργίας στοιχείου σε sec (operating time),

TD : χρονική σταθερά (time-dial setting),

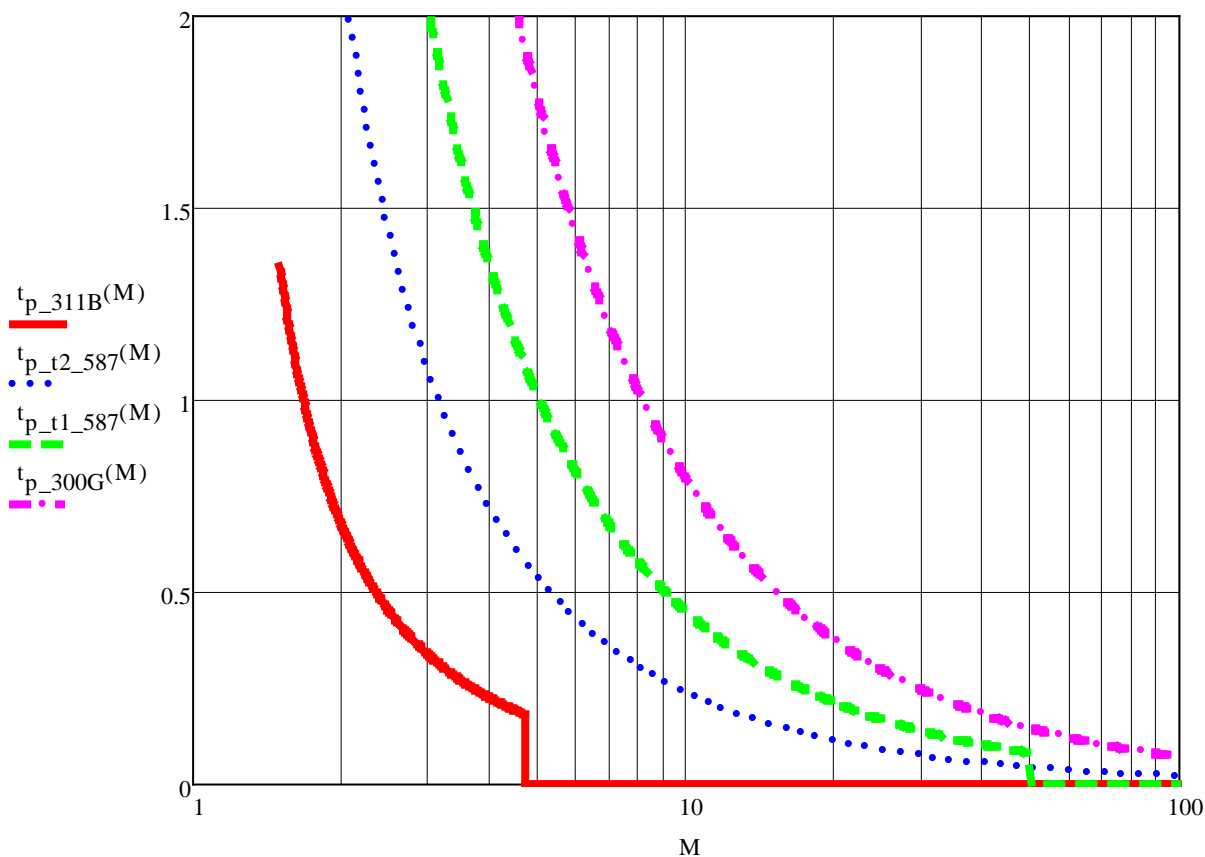
M : ο λόγος του ρεύματος που εισέρχεται στον ηλεκτρονόμο προς το ρεύμα ρύθμισης (I/I<sub>pu</sub>).

Επιπλέον, για τον καθορισμό των TD χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος χρόνος καθυστέρησης με τα στοιχεία υπερέντασης φάσης και αρνητικής ακολουθίας, δηλαδή t<sub>c</sub> = 0,2 sec.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωμένες οι περιγραφικές εξισώσεις των καμπυλών που προέκυψαν από τη μελέτη υπερέντασης και στο σχήμα 4.7, οι γραφικές παραστάσεις τους. Για τον πίνακα 4.18 ισχύουν οι ίδιες σημειώσεις με αυτές του πίνακα 4.12.

Στοιχεία υπερέντασης ουδετέρου	Ρεύμα ρύθμισης $I_{pu}$ (A)	Χρονική σταθερά TD	Περιγραφική εξίσωση (εφαρμογή σχέσης 4.3)
SEL-311B	0,7	0,05	$t_p = 0,05 \cdot \left[ \frac{13,5}{\frac{I}{0,7} - 1} \right]$ (sec), για $I < 3,3$ A $t_p = 0$ , για $I \geq 3,3$ A
SEL-587 (t2)	0,1	0,16	$t_p = 0,16 \cdot \left[ \frac{13,5}{\frac{I}{0,1} - 1} \right]$ (sec)
SEL-587 (t1)	0,2	0,30	$t_p = 0,30 \cdot \left[ \frac{13,5}{\frac{I}{0,2} - 1} \right]$ (sec), για $I < 10$ A $t_p = 0$ , για $I \geq 10$ A
SEL-300G	0,2	0,53	$t_p = 0,53 \cdot \left[ \frac{13,5}{\frac{I}{0,2} - 1} \right]$ (sec)

Πίνακας 4.18: Περιγραφικές εξισώσεις καμπυλών C2 των στοιχείων υπερέντασης ουδετέρου



Σχήμα 4.7: Γραφικές παραστάσεις καμπυλών C2 των στοιχείων υπερέντασης ουδετέρου



Τέλος, παρουσιάζουμε στον πίνακα 4.19 τους χρόνους λειτουργίας των στοιχείων υπερέντασης ουδέτερου, κύριας και εφεδρικής προστασίας, για μονοφασικά και διφασικά σφάλματα προς γη στους ζυγούς του συστήματος αλλά και στο 50% της γραμμής μεταφοράς.

Μονοφασικά σφάλματα προς γη	Κύρια προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.18)	Εφεδρική προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.18)
Ζυγός HV2	SEL-311B	0,211 sec	SEL-587 (t2)	0,443 sec
Ζυγός HV1	SEL-587 (t2)	0,075 sec	SEL-587 (t1)	0,271 sec
Ζυγός MV	SEL-300G	0,174 sec	----	----
50% Γραμμής μεταφοράς	SEL-311B	0 sec	SEL-587 (t2)	0,132 sec
Διφασικά σφάλματα προς γη	Κύρια προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.18)	Εφεδρική προστασία	Χρόνος απόκρισης (σχέσεις πιν. 4.18)
Ζυγός HV2	SEL-311B	0 sec	SEL-587 (t2)	0,378 sec
Ζυγός HV1	SEL-587 (t2)	0,091 sec	SEL-587 (t1)	0,332 sec
Ζυγός MV	SEL-300G	0,145 sec	----	----
50% Γραμμής μεταφοράς	SEL-311B	0 sec	SEL-587 (t2)	0,169 sec

**Πίνακας 4.19:** Χρόνοι απόκρισης στοιχείων υπερέντασης ουδέτερου για σφάλματα προς γη στους ζυγούς του δικτύου και στο 50% της γραμμής μεταφοράς

#### 4.4 Ρυθμίσεις ηλεκτρονόμου SEL-587 (βάσει του setting sheet)

Στην ενότητα αυτή θα καταγράψουμε όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις του ηλεκτρονόμου SEL-587 του εργαστηριακού μας συστήματος προστασίας, βάσει των πληροφοριών που δίνουμε στο κεφάλαιο 3 και των μελετών υπερέντασης που υλοποιήσαμε στην προηγούμενη ενότητα, με τη σειρά που αυτές παρουσιάζονται στο setting sheet του συγκεκριμένου ηλεκτρονόμου (βλ. Παράρτημα Γ). Όπου είναι απαραίτητο, αναφέρουμε επιπλέον στοιχεία και πληροφορίες για τις αντίστοιχες ρυθμίσεις. Οι ρυθμίσεις που αφορούν το τύλιγμα 1 (Winding 1) σχετίζονται με το στοιχείο t2, ενώ αυτές που αναφέρονται στο τύλιγμα 2 (Winding 2), αφορούν το στοιχείο t1 (βλ. σχήμα 4.4). Επίσης, τα δεδομένα του μετασχηματιστή που εισάγουμε στις ρυθμίσεις είναι αυτά που δίνονται στον πίνακα 4.2.

##### 4.4.1 Περιοχή SET Command

###### 4.4.1.1 Πεδίο General Data

- Relay Identifier: **RID = SEL-587-1**
- Terminal Identifier: **TID = PANEL**
- Maximum Power Transformer Capacity: **MVA = 360,0** (MVA)
- Winding 1 Line-to-Line Voltage: **VWDG1 = 150,00** (kV)
- Winding 2 Line-to-Line Voltage: **VWDG2 = 21,00** (kV)
- Transformer Connection: **TRCON = YY**
- CT Connection: **CTCON = YY**
- Remove I0 from Wye Connection Compensation: **παίρνει αυτόματα την τιμή N**
- Winding 1 CT Ratio: **CTR1 = 1500**
- Winding 2 CT Ratio: **CTR2 = 10000**
- Demand Ammeter Time Constant: **DATC = OFF**
- **PDEM, QDEM, NDEM απενεργοποιημένα**

#### 4.4.1.2 Πεδίο Current TAPs

Οι παράμετροι TAP1, TAP2 υπολογίζονται αυτόματα από τον ηλεκτρονόμο, μέσω των παραμέτρων του πεδίου General Data. Στην περίπτωση μας προκύπτουν:

- **TAP1 = 0,92**
- **TAP2 = 0,99**

#### 4.4.1.3 Πεδίο Input Assignment

Επειδή στην εφαρμογή μας δε χρησιμοποιούμε κάποια εξωτερική μονάδα ελέγχου για τα στοιχεία του ηλεκτρονόμου μας, έχουμε:

- **IN1, IN2 = NA**

#### 4.4.1.4 Πεδίο Differential Elements

- Restrained Element Operating Current Pickup: Όπως αναφέρουμε στην ενότητα 3.2.4, πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη

$$O87P \geq 0,1 \cdot \frac{I_N}{TAP_{MIN}} \Rightarrow O87P \geq 0,1 \cdot \frac{1}{0,92} \Rightarrow O87P \geq 0,109$$

Εμείς επιλέγουμε: **O87P = 0,3**.

- Restraint Slope 1 Percentage: **SLP1 = 25 (%)**
- Restraint Slope 2 Percentage: **SLP2 = 60 (%)**
- Restraint Current Slope 1 Limit: **IRS1 = 3,0**
- Unrestrained Operating Current Pickup: Όπως αναφέρουμε στην ενότητα 3.2.4, πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη

$$U87P \leq 32 \cdot \frac{I_N}{TAP_{MAX}} \Rightarrow U87P \leq 32 \cdot \frac{1}{0,99} \Rightarrow U87P \leq 32,3$$

Η συνθήκη αυτή ισχύει πάντα, μιας και η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει η παράμετρος U87P είναι 16. Εμείς επιλέγουμε: **U87P = 8,0**

- Second-Harmonic Blocking Percentage: **PCT2 = 15 (%)**
- Fourth-Harmonic Blocking Percentage: **PCT4 = 15 (%)**
- Fifth-Harmonic Blocking Percentage: **PCT5 = 35 (%)**
- Fifth-Harmonic Alarm Threshold: Σύμφωνα με την ενότητα 3.2.4 πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη:

$$TAP_{MIN} \cdot TH5 \geq 0,1 \cdot I_N \Rightarrow TH5 \geq \frac{0,1 \cdot 1}{0,92} \Rightarrow TH5 \geq 0,109$$

Επιλέγουμε: **TH5 = 0,3**

- Fifth-Harmonic Alarm Time-Delay Pickup: **TH5D = 30,00 (cycles)**
- DC Ratio Blocking: **DCRB = N**
- Harmonic Restraint: **HRSTR = Y**
- Independent Harmonic Blocking: Παίρνει αυτόματα την τιμή **IHBL = Y**, λόγω της σχέσης **HRSTR = Y**.

#### 4.4.1.5 Πεδίο Winding 1 Phase Overcurrent Elements

- Phase Definite-Time Overcurrent Pickup: **50P1P = OFF**
- **50P1D, 50P1TC ανενεργά**
- Phase Instantaneous Overcurrent Pickup: **50P1H = OFF**

- **50P1HC ανενεργό**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup: **51P1P = 1,2** (A)
- Phase Inverse-Time Overcurrent Curve: **51P1C = U1**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial: **51P1TD = 0,73**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset: **51P1RS = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control: **51P1TC = N (ανενεργό)**

#### 4.4.1.6 Πεδίο Winding 1 Negative-Sequence Overcurrent Elements

- Phase Definite-Time Overcurrent Pickup: **50Q1P = OFF**
- **50Q1D, 50Q1TC ανενεργά**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup: **51Q1P = 0,3** (A)
- Phase Inverse-Time Overcurrent Curve: **51Q1C = U3**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial: **51Q1TD = 1,98**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset: **51Q1RS = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control: **51Q1TC = N (ανενεργό)**

#### 4.4.1.7 Πεδίο Winding 1 Residual Overcurrent Elements

- Phase Definite-Time Overcurrent Pickup: **50N1P = OFF**
- **50N1D, 50N1TC ανενεργά**
- Phase Instantaneous Overcurrent Pickup: **50N1H = OFF**
- **50N1HC ανενεργό**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup: **51N1P = 0,1** (A)
- Phase Inverse-Time Overcurrent Curve: **51N1C = C2**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial: **51N1TD = 0,16**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset: **51N1RS = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control: **51N1TC = N (ανενεργό)**

#### 4.4.1.8 Πεδίο Winding 2 Phase Overcurrent Elements

- Phase Definite-Time Overcurrent Pickup: **50P2P = OFF**
- **50P2D, 50P2TC ανενεργά**
- Phase Instantaneous Overcurrent Pickup: **50P2H = 4** (A)
- Phase Instantaneous Overcurrent External Torque-Control: **50P2HC = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup: **51P2P = 1,3** (A)
- Phase Inverse-Time Overcurrent Curve: **51P2C = U1**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial: **51P2TD = 1,06**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset: **51P2RS = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control: **51P2TC = N (ανενεργό)**

#### 4.4.1.9 Πεδίο Winding 2 Negative-Sequence Overcurrent Elements

- Phase Definite-Time Overcurrent Pickup: **50Q2P = OFF**
- **50Q2D, 50Q2TC ανενεργά**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup: **51Q2P = 0,3** (A)
- Phase Inverse-Time Overcurrent Curve: **51Q2C = U3**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial: **51Q2TD = 3,68**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset: **51Q2RS = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control: **51Q2TC = N (ανενεργό)**

#### 4.4.1.10 Πεδίο Winding 2 Residual Overcurrent Elements

- Phase Definite-Time Overcurrent Pickup: **50N2P = OFF**
- **50N2D, 50N2TC ανενεργά**
- Phase Instantaneous Overcurrent Pickup: **50N2H = 10 (A)**
- Residual Instantaneous Overcurrent External Torque-Control: **50N2HC = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup: **51N2P = 0,2 (A)**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Curve: **51N2C = C2**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial: **51N2TD = 0,30**
- Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset: **51N2RS = N**
- Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control: **51N2TC = N (ανενεργό)**

#### 4.4.1.11 Πεδίο Miscellaneous Timers

- Latch Trips: **LTRP = NL**
- Minimum Trip Duration Time: **TDURD = 10,000 (cycles)**
- **TXPU, TXDO, TYPU, TYDO = 0,000**

#### 4.4.1.12 Πεδίο Power System Data

- Nominal Frequency: **NFREQ = 50 (Hz)**
- Phase Rotation: **PHROT = ABC**

### 4.4.2 Περιοχή SET L Command (Logic)

#### 4.4.2.1 Πεδίο Logic Variables

- **X = NA**
- **Y = NA**

#### 4.4.2.2 Πεδίο Tripping Logic

- MTU1: Η εξίσωση αυτή θα αποτελείται από Relay Word Bits, τα οποία αφορούν τις συνθήκες ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου (tripping), που προκύπτουν από τα στοιχεία υπερέντασης του τυλίγματος 1 του μετασχηματιστή. Πιο συγκεκριμένα,  
**MTU1 = 51P1T + 51Q1T + 51N1T.**
- MTU2: Η εξίσωση αυτή θα αποτελείται από Relay Word Bits, τα οποία αφορούν τις συνθήκες ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου (tripping), που προκύπτουν από τα στοιχεία υπερέντασης του τυλίγματος 2 του μετασχηματιστή. Παίρνουμε δηλαδή,  
**MTU2 = 50P2H + 51P2T + 51Q2T + 50N2H + 51N2T.**
- MTU3: Η εξίσωση αυτή θα αποτελείται από Relay Word Bits, τα οποία αφορούν τις συνθήκες ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου (tripping), που προκύπτουν από τα διαφορικά στοιχεία του. Συνεπώς,  
**MTU3 = 87U + 87R.**

#### 4.4.2.3 Πεδίο Event Report Trigger Condition Logic

- MER: Στην εξίσωση αυτή χρησιμοποιούμε ως μεταβλητές τα Relay Word Bits εκείνα, που όταν παίρνουν την τιμή 1 θέλουμε να παράγεται μια αναφορά γεγονότος (event report). Στην περίπτωση μας, όλα τα Relay Word Bits που χρησιμοποιήσαμε στις εξισώσεις MTU1-3, είναι επιθυμητό να προκαλούν την παραγωγή αναφοράς γεγονότος, συνεπώς έχουμε  
**MER = 51P1T + 51Q1T + 51N1T + 50P2H + 51P2T + 51Q2T + 50N2H + 51N2T + 87U + 87R.**

#### 4.4.2.4 Πεδίο Output Contact Logic

Το περιεχόμενο των μεταβλητών OUT1-4 διοχετεύεται στις 4 εξόδους του ηλεκτρονόμου, συνεπώς η ρύθμισή τους έχει άμεση σχέση με το ποιες συνιστώσες του δικτύου μας είναι συνδεδεμένες και ελέγχονται από τις εξόδους του ηλεκτρονόμου. Ανατρέχοντας στο παράρτημα Β και παρατηρώντας το σχέδιο των καλωδιώσεών του, συμπεραίνουμε ότι:

- ✓ Η έξοδος OUT1 επιτηρεί το διακόπτη ισχύος CB2, άρα σχετίζεται με τα στοιχεία υπερέντασης του τυλίγματος 1 (YT) και τα διαφορικά στοιχεία.
- ✓ Η έξοδος OUT2 επιτηρεί το διακόπτη ισχύος CB1, άρα σχετίζεται με τα στοιχεία υπερέντασης του τυλίγματος 2 (MT) και τα διαφορικά στοιχεία.
- ✓ Η έξοδος OUT3 μπορεί να συνδεθεί οπουδήποτε μέσω των ακροδεκτών TRIP της μπροστινής όψης του συστήματος και ελέγχει και τους δύο διακόπτες ισχύος CB1, CB2. Άρα, σχετίζεται με όλα τα στοιχεία προστασίας.
- ✓ Η έξοδος OUT4 δε χρησιμοποιείται.

Συνεπώς, για τις μεταβλητές OUT1-4 παίρνουμε:

- **OUT1 = TRP1 + TRP3**
- **OUT2 = TRP2 + TRP3**
- **OUT3 = TRP1 + TRP2 + TRP3**
- **OUT4 = NA**

#### 4.4.3 Περιοχή SET P Command (Port Settings)

##### 4.4.3.1 Πεδίο Protocol and Communications Settings

- Serial Port Protocol: **PROTO = SEL**
- Serial Port Baud Rate: **SPEED = 19200**
- Serial Port Data Bits: **D\_BITS = 8**
- Serial Port Parity: **PARITY = N**
- Serial Port Stop Bits: **STOP = 1**
- Serial Port Time Out: **TIMEOUT = 5** (min)
- Send Auto Message to Port: **AUTO = Y**
- Enable RTS/CTS Handshaking: **RTS\_CTS = N**
- Fast Operate Enable: **FAST\_OP = N**

### 4.5 Περιγραφή του προγράμματος AcSELarator® Quickset

Στην εν λόγω ενότητα περιγράφουμε το ελεύθερο λογισμικό AcSELarator® QuickSet, που παρέχει δωρεάν η εταιρεία SEL, μέσω της ιστοσελίδας της [38]. Με τη βοήθεια του λογισμικού αυτού περάσαμε τις ρυθμίσεις, που υπολογίσαμε στην προηγούμενη ενότητα, στον ηλεκτρονόμο SEL-587, προτού εξετάσουμε τα διάφορα σενάρια δοκιμών, που αναλύουμε στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο της εργασίας μας.

#### 4.5.1 Εισαγωγή

Το AcSELarator® QuickSet είναι ένα εύκολο στη χρήση πρόγραμμα, το οποίο μας βοηθάει να αξιοποιούμε πλήρως τις SEL συσκευές μας. Οι βασικότερες δυνατότητες που παρέχει το εν λόγω λογισμικό στο χρήστη είναι:

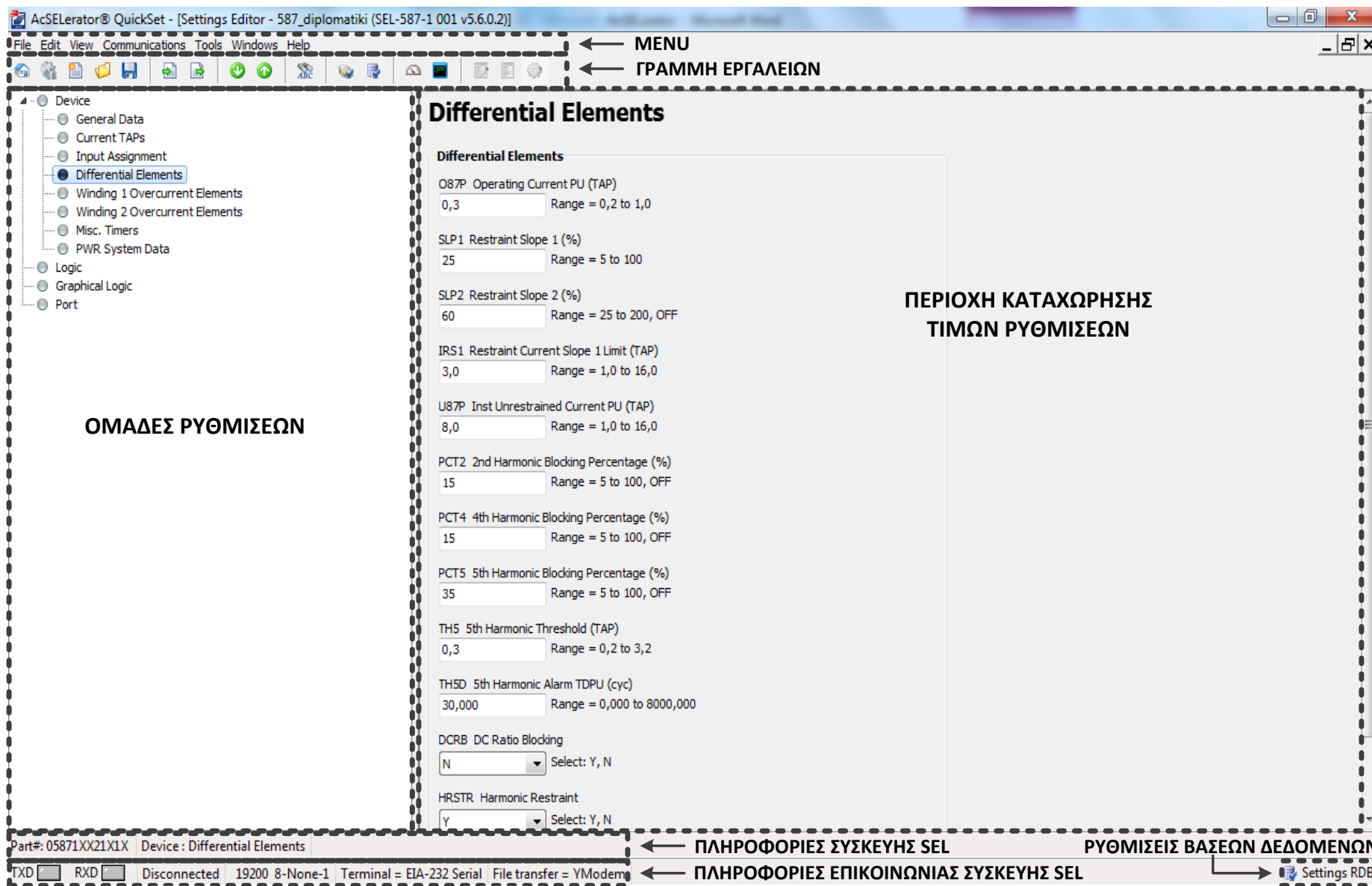
- δημιουργία, έλεγχος και οργάνωση ρυθμίσεων των συσκευών SEL, σε περιβάλλον Windows,
- δημιουργία, συγχώνευση, οργάνωση και ανάγνωση βάσεων δεδομένων με ρυθμίσεις συσκευών (database manager),
- σχηματισμός SELlogic εξισώσεων ελέγχου και δυνατότητα γραφικής απεικόνισής τους μέσω του Graphical Logic,
- εύκολη λήψη αναφορών γεγονότων (event reports) από συσκευές SEL,
- γρήγορη ανάγνωση και μεταφορά (read, send) ρυθμίσεων σε συσκευές SEL.

#### **4.5.2 Περιβάλλον εργασίας**

Η κεντρική οθόνη του AcSELerator® QuickSet αποτελείται από τις εξής περιοχές:

- μενού,
- γραμμή εργαλείων,
- κατηγορίες (ομάδες) ρυθμίσεων,
- περιοχή καταχώρησης τιμών ρυθμίσεων,
- πληροφορίες συσκευής SEL (part number),
- πληροφορίες σύνδεσης – επικοινωνίας συσκευής SEL
- ρυθμίσεις βάσεων δεδομένων με παραμέτρους συσκευών SEL.

Όλα όσα αναφέραμε φαίνονται στην εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1: Περιβάλλον εργασίας προγράμματος AcSElarator® QuickSet

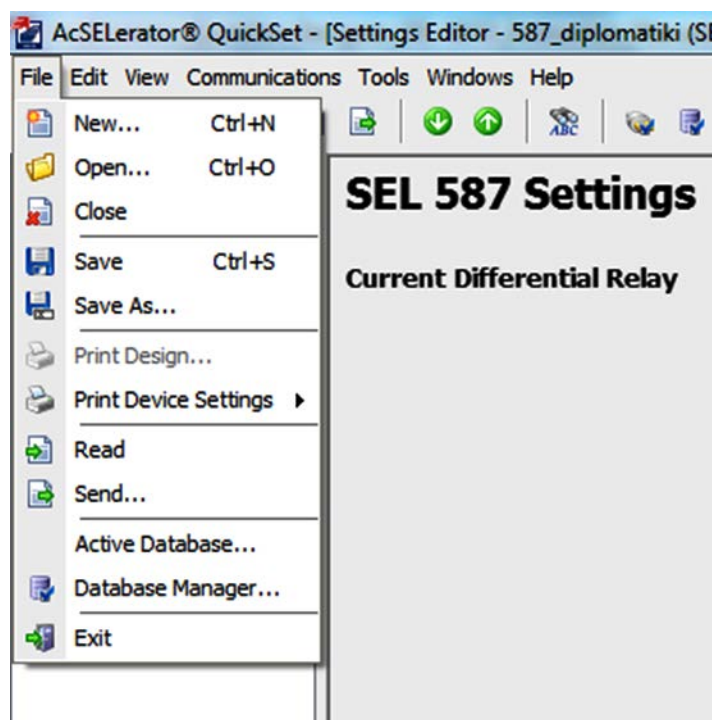
### 4.5.3 Μενού προγράμματος

Στην ενότητα 4.5.3 αναφέρουμε τα περιεχόμενα και τις λειτουργίες των μενού του AcSElarator® QuickSet. Δίνουμε ιδιαίτερη βαρύτητα και αναλύουμε εκείνες τις λειτουργίες, που είναι απαραίτητες στο χρήστη, ώστε να είναι σε θέση να καταχωρήσει και να οργανώσει συστηματικά τις ρυθμίσεις των συσκευών SEL, που απαιτεί η εκάστοτε εφαρμογή. Δεν κάνουμε καμία αναφορά σε λειτουργίες και μενού, όμοια με αυτά των περισσότερων προγραμμάτων που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας, όπως π.χ. το μενού Help.

Τα μενού του AcSElarator® QuickSet είναι τα ακόλουθα:

- File
- Edit
- View
- Communications
- Tools
- Windows
- Help

#### 4.5.3.1 File menu (μενού αρχείου)

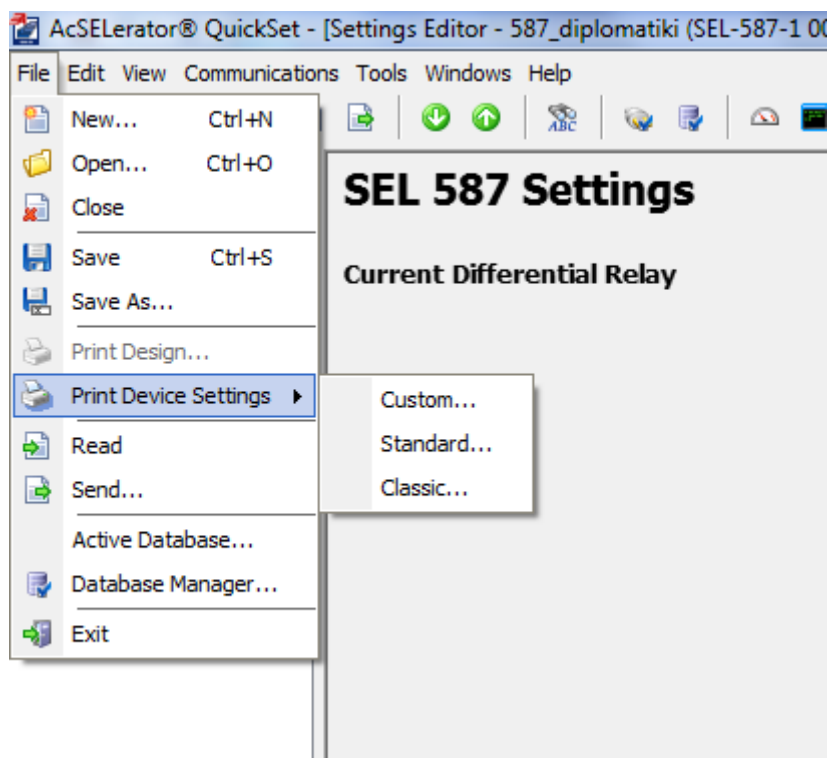


*Εικόνα 4.2: Μενού αρχείου*

Το συγκεκριμένο μενού διαθέτει τις παρακάτω λειτουργίες:

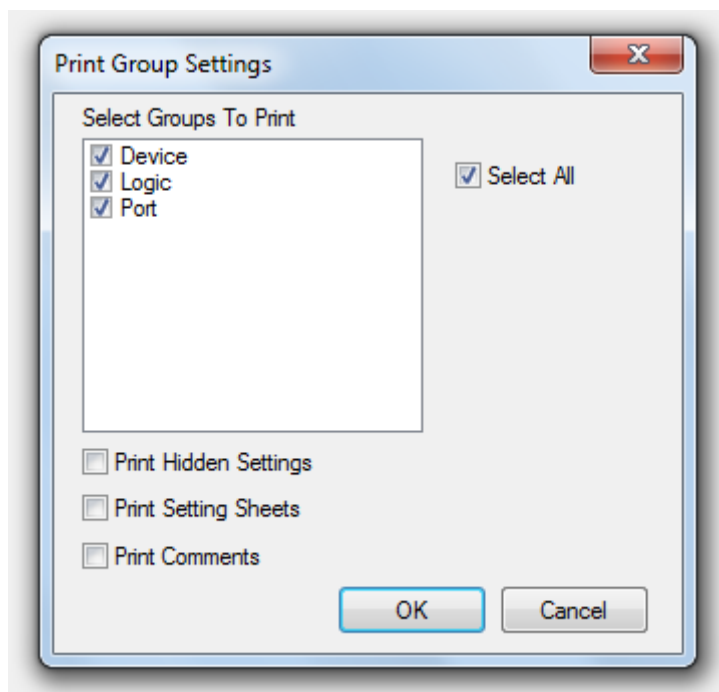
- **New, open, close, save, save as:** Κοινές λειτουργίες σε όλα τα προγράμματα όμοιου περιβάλλοντος.
- **Print Device Settings:** Κάνοντας χρήση της εν λόγω λειτουργίας, παράγεται και εκτυπώνεται μια αναφορά των ρυθμίσεων που έχουμε καταχωρήσει για τη συσκευή SEL που μας ενδιαφέρει. Υπάρχουν τρία διαθέσιμα στυλ εμφάνισης για την αναφορά που θέλουμε να εκτυπώσουμε, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3.





*Εικόνα 4.3: Στυλ εκτύπωσης*

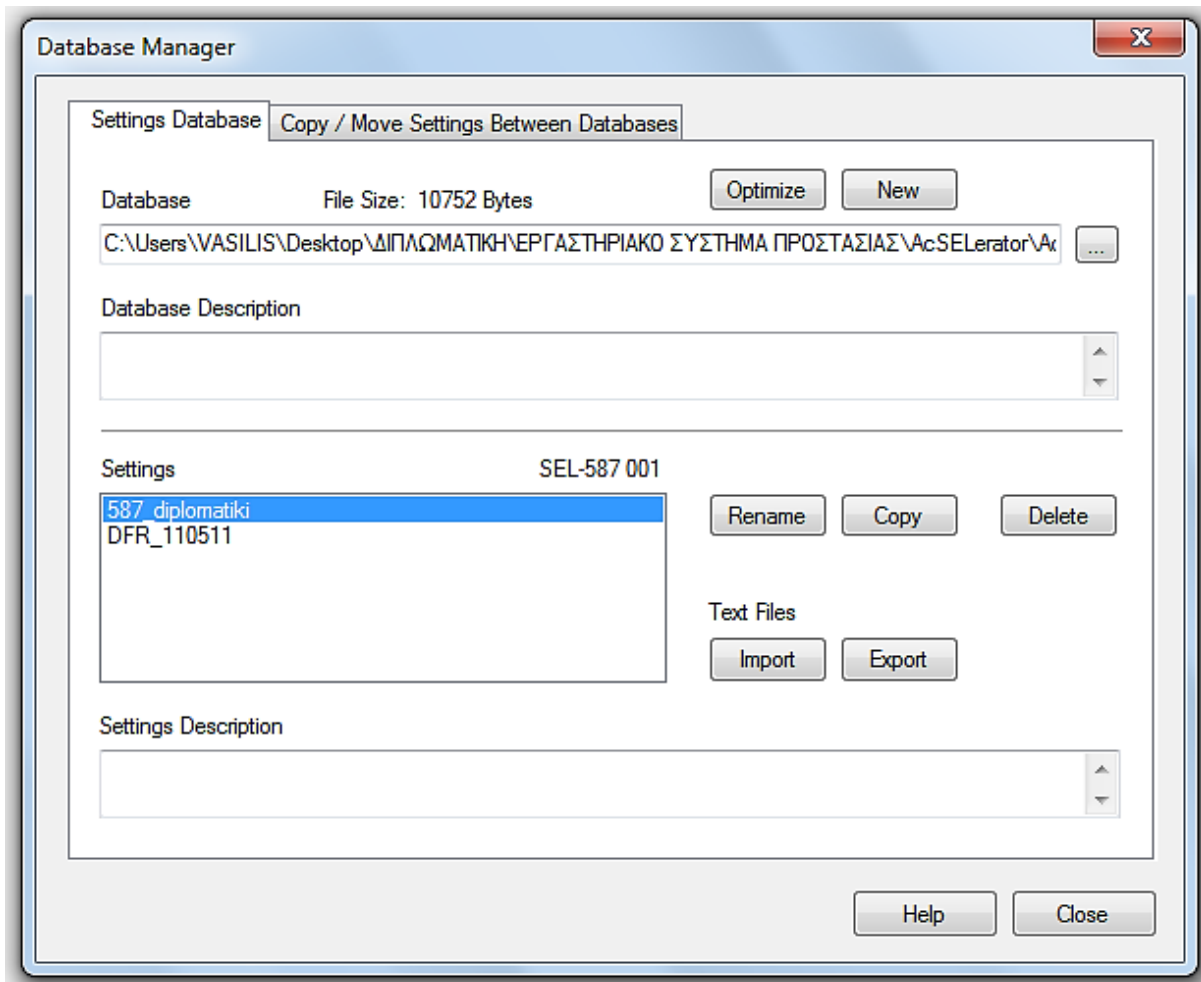
Επιλέγοντας οποιοδήποτε στυλ, μας δίνεται επιπλέον η δυνατότητα να ρυθμίσουμε αρκετές παραμέτρους που αφορούν την εκτύπωση, όπως π.χ. τις διαστάσεις των σελίδων στις οποίες θα εκτυπωθεί η αναφορά (page setup), την προεπισκόπηση εκτύπωσης (print preview) κτλ. Αν επιλέξουμε την classic απεικόνιση, μας εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο επιλογών.



*Εικόνα 4.4: Πλαίσιο διαλόγου της Classic μορφής εκτύπωσης*

Μέσω του παραθύρου αυτού, μπορούμε να επιλέξουμε ποιες κατηγορίες (ομάδες) ρυθμίσεων θέλουμε να εκτυπωθούν, να εκτυπώσουμε τις ανενεργές ρυθμίσεις, να εκτυπώσουμε κενό το φύλλο ρυθμίσεων ή ακόμα και να εκτυπώσουμε ενσωματωμένα σχόλια επί των ρυθμίσεων.

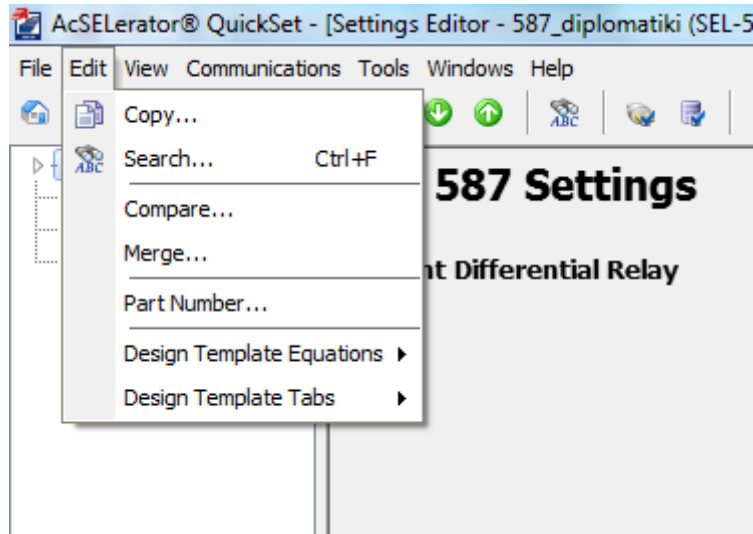
- **Read:** Με τη λειτουργία αυτή, μπορούμε να αποκτήσουμε και να αναγνώσουμε τις ρυθμίσεις που έχουν περαστεί στη SEL συσκευή μας, αρκεί πρώτα να έχει επιτευχθεί επικοινωνία με τη συσκευή αυτή. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα επιλεκτικής ανάγνωσης στο χρήστη, να διαβάσει, δηλαδή, μόνο τις κατηγορίες ρυθμίσεων που επιθυμεί.
- **Send:** Επιλέγοντας τη λειτουργία Send, μεταφέρουμε τις ρυθμίσεις που έχουμε υπολογίσει και καταχωρήσει στον setting editor, στη SEL συσκευή μας, με προϋπόθεση, όπως και για τη λειτουργία Read, την ύπαρξη επικοινωνίας μεταξύ της μονάδας που είναι εγκατεστημένο το AcSElarator® QuickSet και της SEL συσκευής. Και σε αυτήν την περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να μεταφέρει επιλεκτικά όσες κατηγορίες ρυθμίσεων επιθυμεί στη SEL συσκευή του.
- **Active Database:** Με τη λειτουργία αυτή, επιλέγουμε σε ποια βάση δεδομένων, από τις υπάρχουσες, επιθυμούμε να εργαστούμε και να αποθηκεύσουμε τις ρυθμίσεις μας.
- **Database Manager:** Ο Database Manager μας δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε νέες βάσεις δεδομένων, να επεξεργαστούμε ήδη υπάρχουσες καθώς και τα αρχεία ρυθμίσεων που περιέχουν, καθώς και να ανταλλάξουμε αρχεία μεταξύ διαφορετικών βάσεων δεδομένων. Το παράθυρο διαλόγου του φαίνεται στην εικόνα 4.5.



*Εικόνα 4.5: Πλαίσιο διαλόγου Database Manager*

- **Exit:** Κλείσιμο προγράμματος (κοινή λειτουργία σε όλα τα προγράμματα, όμοιου περιβάλλοντος).

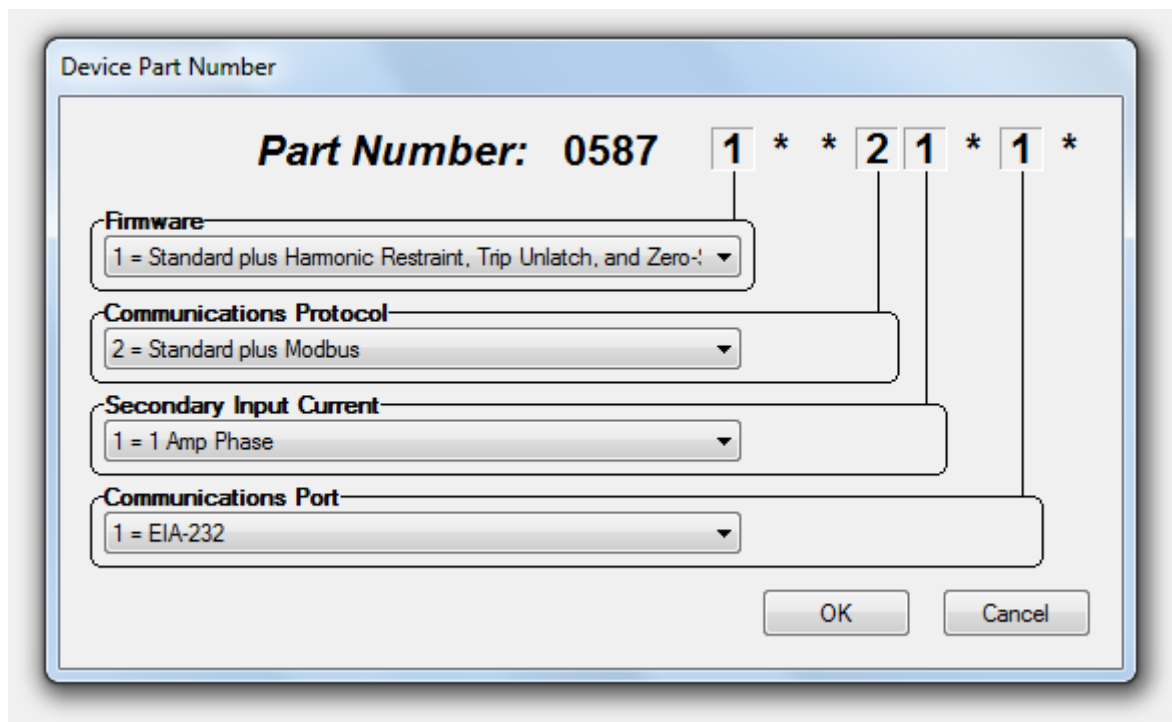
## 4.5.3.2 Edit Menu (μενού επεξεργασίας)



*Εικόνα 4.6: Μενού επεξεργασίας*

Το μενού επεξεργασίας διαθέτει τις ακόλουθες λειτουργίες:

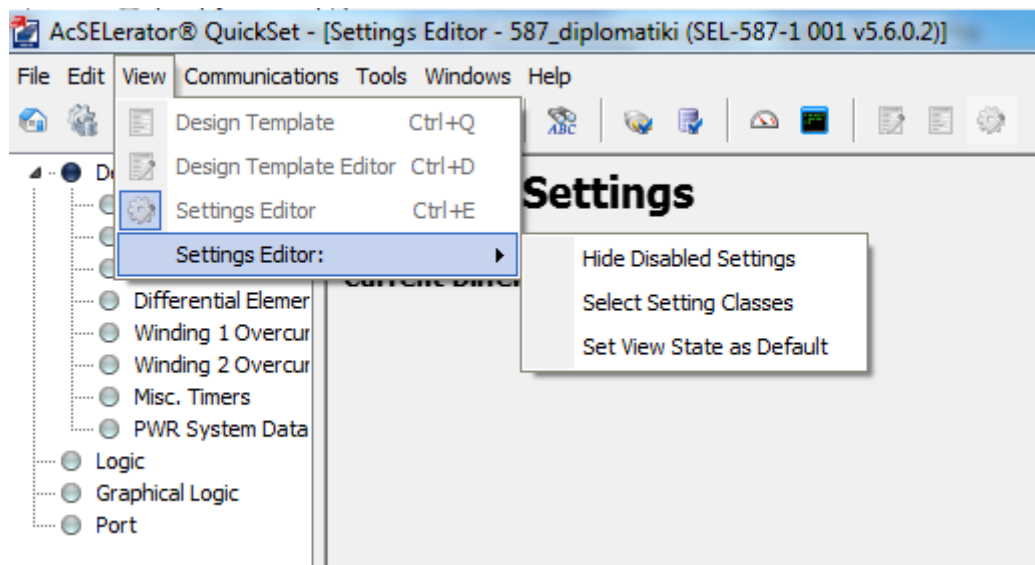
- **Copy:** Μπορούμε να αντιγράψουμε μία ή περισσότερες κατηγορίες ρυθμίσεων από ένα αρχείο σε κάποιο άλλο.
- **Search:** Κοινή λειτουργία σε όλα τα προγράμματα, όμοιου περιβάλλοντος.
- **Compare:** Χρησιμοποιούμε τη λειτουργία αυτή, όταν επιθυμούμε να συγκρίνουμε τις ρυθμίσεις που έχουμε υπολογίσει στο παρόν αρχείο με αυτές ενός παλαιότερου και αποθηκευμένου αρχείου της ίδιας βάσης δεδομένων.
- **Merge:** Η λειτουργία αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να συγχωνεύσουμε όσες ρυθμίσεις επιθυμούμε από ένα αρχείο με αυτές ενός άλλου. Εάν διαθέτουμε ένα αρχείο με ρυθμίσεις ενός συγκεκριμένου ηλεκτρονόμου, μπορούμε μέσω της λειτουργίας αυτής να περάσουμε τις ρυθμίσεις αυτές σε ένα νέο αρχείο που αφορά ρυθμίσεις παρεμφερούς ηλεκτρονόμου, ούτως ώστε να αποτελέσει σημείο αναφοράς, σύμφωνα με το οποίο θα επεξεργαστούμε και θα ρυθμίσουμε τελικώς, το νέο ηλεκτρονόμο (π.χ. συγχώνευση ρυθμίσεων ηλεκτρονόμου SEL-387 σε αρχείο ρυθμίσεων ενός νέου ηλεκτρονόμου SEL-587).
- **Part Number:** Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται από το χρήστη για να δει το ακριβές μοντέλο της SEL συσκευής, την οποία αφορά το παρόν αρχείο ρυθμίσεων ή για να καταχωρήσει ο ίδιος το part number της συσκευής που θέλει να ρυθμίσει. Η συγκεκριμένη λειτουργία χρησιμεύει στη ρύθμιση συσκευών, όταν δεν υπάρχει επικοινωνία με αυτές. Σε αντίθετη περίπτωση, μέσω της λειτουργίας Read, ο χρήστης εκτός από τις εγκατεστημένες ρυθμίσεις στη συσκευή, αποκτά και το part number της.



Εικόνα 4.7: Πλαίσιο διαλόγου Part number

- **Design Template Equations, Design Template Tabs:** Ανενεργές λειτουργίες στο settings editor που αναλύουμε.

#### 4.5.3.3 View menu (μενού όψης)



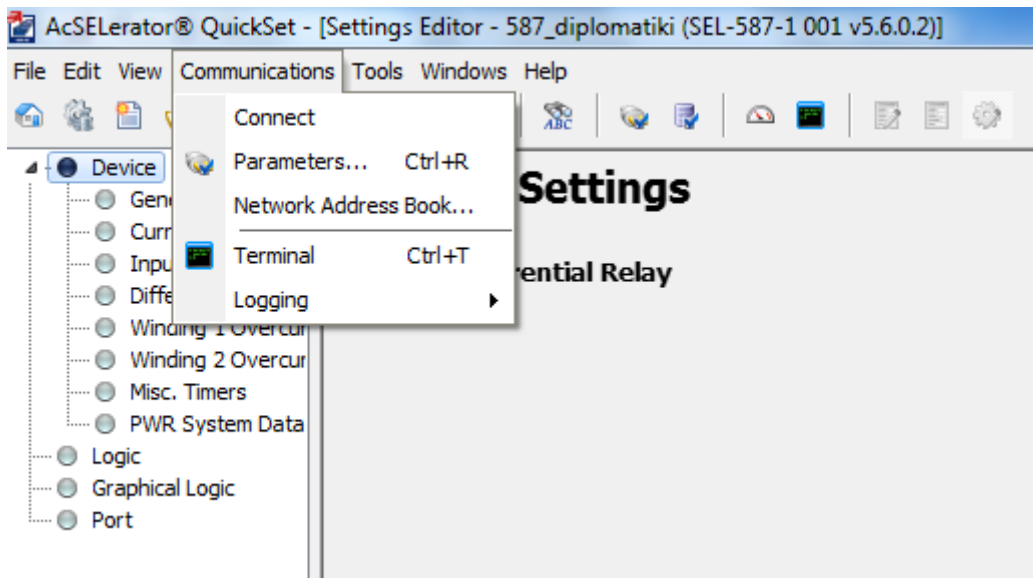
Εικόνα 4.8: Μενού Όψης

Στο μενού όψης είναι ενεργοποιημένη μόνο η λειτουργία Settings Editor. Οι δυνατότητες που παρέχει η εν λόγω λειτουργία είναι οι εξής:

- **Hide Disabled Settings:** Με τη λειτουργία αυτή, αποκρύπτουμε από την περιοχή ρυθμίσεων όσες ρυθμίσεις είναι ανενεργές, λόγω των επιλογών που έχουμε κάνει.
- **Select Setting Classes:** Η συγκεκριμένη λειτουργία δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ποιες ομάδες ρυθμίσεων επιθυμεί να απεικονίζονται.

- **Set View State as Default:** Μέσω της λειτουργίας αυτής, μπορούμε να ορίσουμε την παρούσα όψη ενός αρχείου ρυθμίσεων ως προεπιλογή για το πρόγραμμά μας.

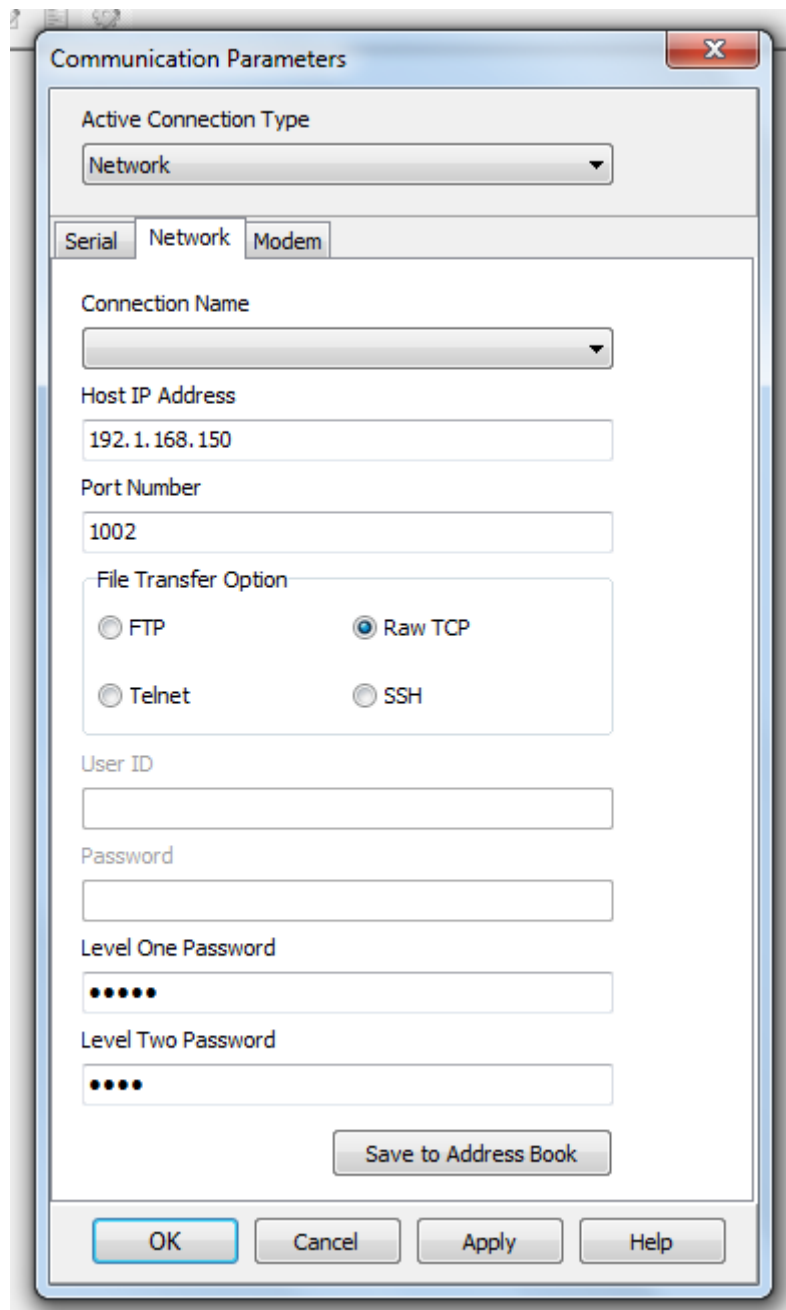
#### 4.5.3.4 Communications Menu (μενού επικοινωνιών)



*Εικόνα 4.9: Μενού επικοινωνιών*

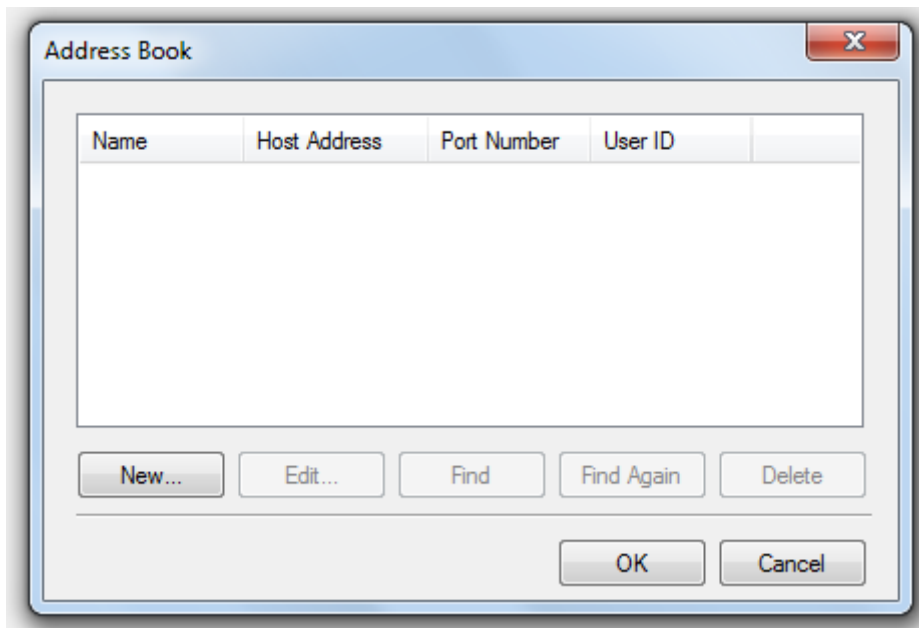
Οι λειτουργίες που διαθέτει το συγκεκριμένο μενού είναι οι εξής:

- **Connect:** Με τη λειτουργία Connect επιχειρούμε να συνδεθούμε με τη SEL συσκευή μας, εφόσον έχουμε ρυθμίσει καταλλήλως τις παραμέτρους επικοινωνίας (επόμενη λειτουργία).
- **Parameters:** Μέσω της λειτουργίας Parameters, επιλέγουμε τον επιθυμητό τρόπο επικοινωνίας με τη SEL συσκευή μας (serial, network, modem) και στη συνέχεια καταχωρούμε μέσω του πλαισίου διαλόγου της, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.10, τις κατάλληλες ρυθμίσεις. Περισσότερα για τον τρόπο και τις ρυθμίσεις επικοινωνίας αναφέρουμε στην επόμενη ενότητα.



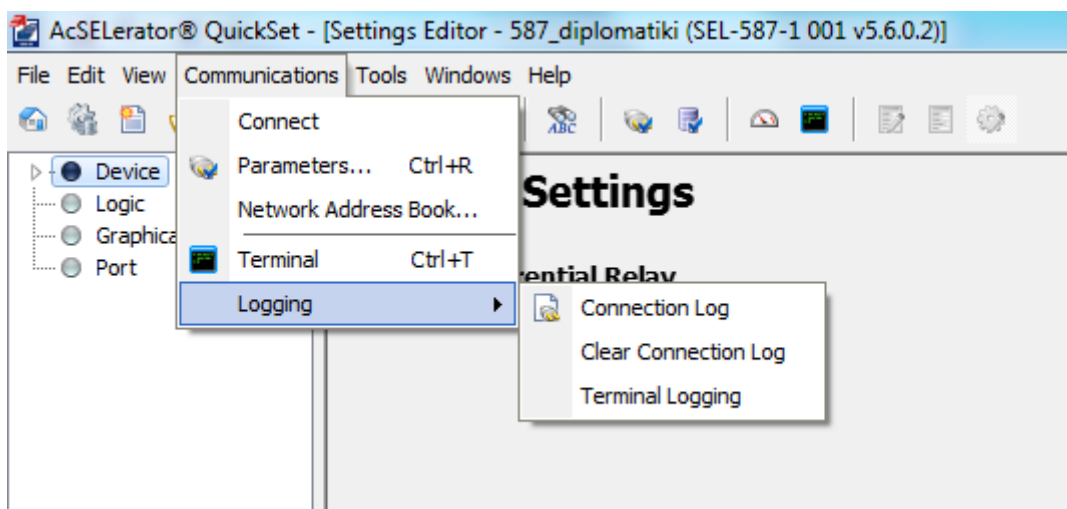
*Εικόνα 4.10: Πλαίσιο διαλόγου Communication Parameters*

- **Network Address Book:** Μέσω της λειτουργίας αυτής, μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν κατάλογο με διευθύνσεις IP συσκευών και μονάδων, με τις οποίες επικοινωνεί συχνά η SEL συσκευή μας.



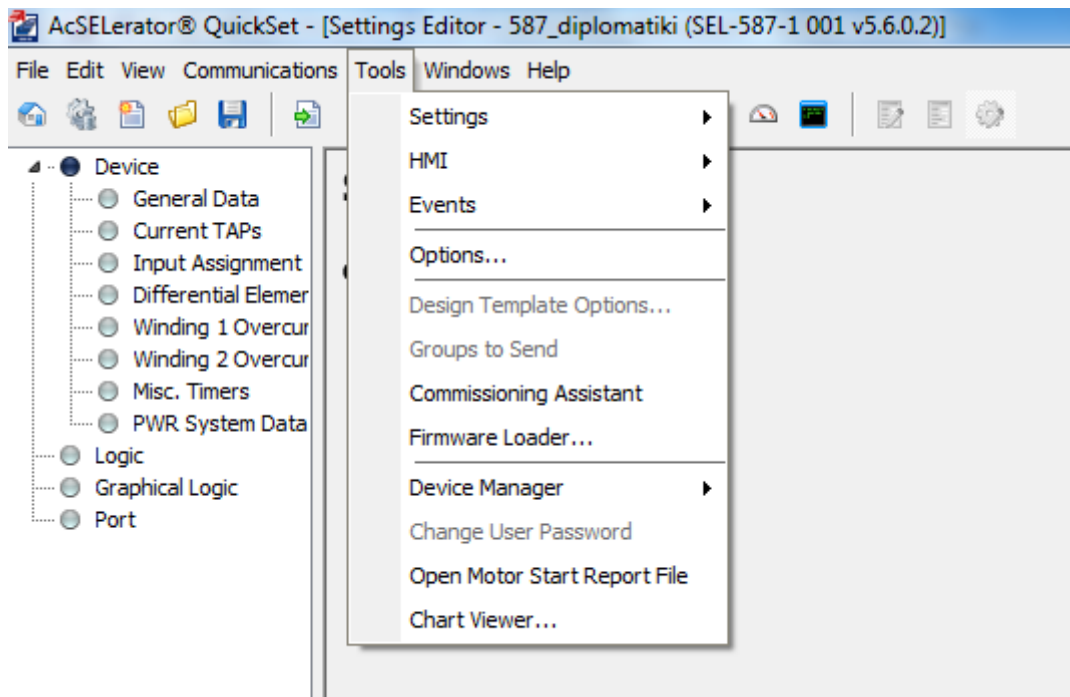
*Εικόνα 4.11: Πλαίσιο διαλόγου Network Address Book*

- **Terminal:** Με τη λειτουργία Terminal, μας ανοίγει μια οθόνη τερματικού, μέσω της οποίας μπορούμε να ελέγχουμε την επικοινωνία της SEL συσκευής μας με τις λοιπές μονάδες και συσκευές, που απαιτεί η εκάστοτε εφαρμογή, καθώς και να δίνουμε εντολές στη συσκευή μας.
- **Logging**
  - ✓ **Connection Log:** Με την επιλογή της λειτουργίας Connection Log καταγράφονται και απεικονίζονται όλες οι συνδέσεις και οι ενέργειες μεταφοράς δεδομένων της SEL συσκευής μας.
  - ✓ **Clear Connection Log:** Η λειτουργία αυτή διαγράφει το αρχείο καταγραφής ενεργειών, που δημιουργεί η προηγούμενη λειτουργία.
  - ✓ **Terminal Logging:** Η λειτουργία Terminal Logging, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εκτελεί τις δύο προηγούμενες λειτουργίες μέσω τερματικού.



*Εικόνα 4.12: Λειτουργία Logging*

## 4.5.3.5 Tools Menu (μενού εργαλείων)

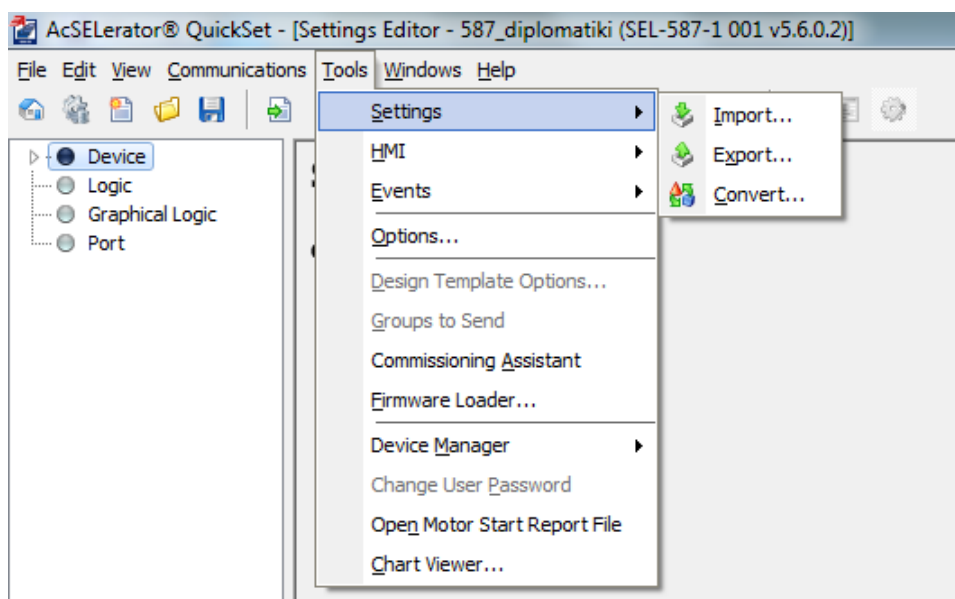


Εικόνα 4.13: Μενού εργαλείων

Το μενού εργαλείων περιέχει τις παρακάτω λειτουργίες:

- **Settings**

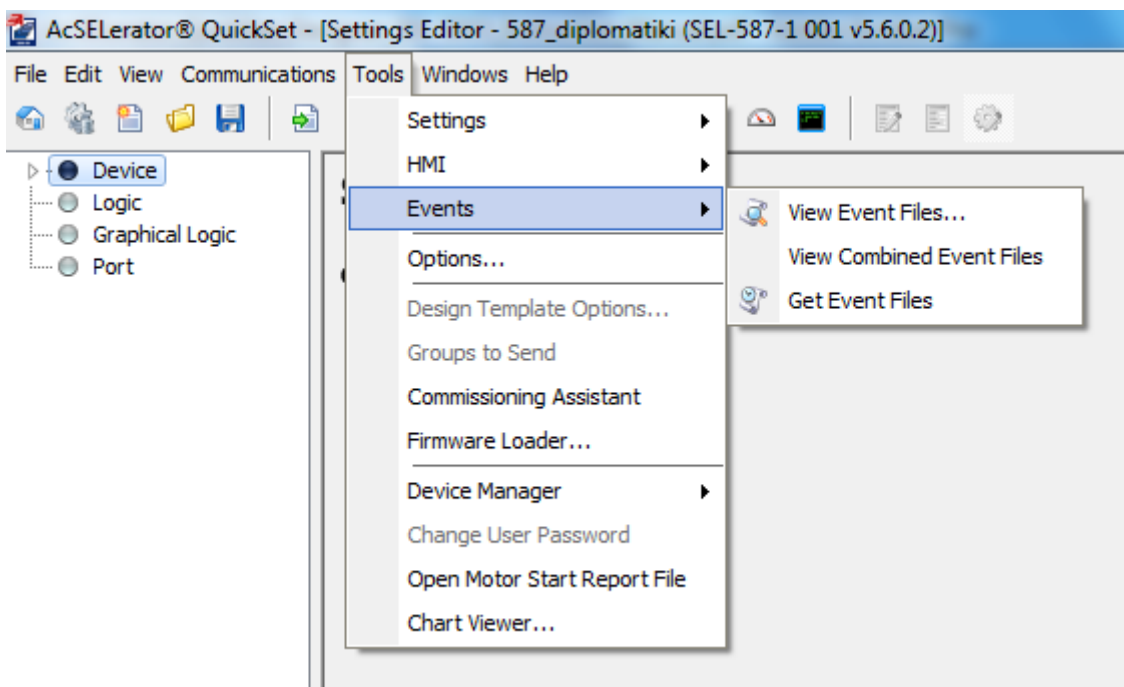
- ✓ **Import:** Με τη λειτουργία αυτή, μπορούμε να εισάγουμε ρυθμίσεις στο αρχείο που επεξεργαζόμαστε από κάποιο άλλο ήδη δημιουργημένο.
- ✓ **Export:** Η λειτουργία αυτή μας δίνει τη δυνατότητα, να μεταφέρουμε τις ρυθμίσεις που έχουμε καταχωρήσει, από το παρόν αρχείο σε κάποιο παλαιότερο.
- ✓ **Convert:** Η λειτουργία convert μετατρέπει τις υπάρχουσες ρυθμίσεις του αρχείου, που προορίζονται για συσκευή SEL με συγκεκριμένο FID, ώστε να είναι πλήρως συμβατές και για ηλεκτρονόμους με διαφορετική τιμή Z του FID (βλ. ενότητα 2.3.4.2).



Εικόνα 4.14: Λειτουργία Settings



- **HMI (Human Machine Interface):** Με τη διεπαφή ανθρώπου μηχανής που παρέχει το AcSELeator® QuickSet μπορούμε να αναλύσουμε και να επιβεβαιώσουμε την επίδοση της SEL συσκευής μας, με γραφική αναπαράσταση αναλογικών και ψηφιακών πληροφοριών. Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία του μηχανικού που εκτελεί ελέγχους σε σχήματα προστασίας, λόγω της ιδανικής απεικόνισης των μεγεθών που μεταβάλλονται, κατά τη διάρκεια των ελέγχων.
- **Events**
  - ✓ **View Event Files:** Επιλέγοντας το View Event Files μπορούμε να δούμε αρχεία αναφορών γεγονότων που έχουμε αποθηκευμένα στο δίσκο μας.
  - ✓ **View Combined Event Files:** Με τη λειτουργία αυτή ο χρήστης μπορεί να δει συνδυασμό πολλών αναφορών γεγονότων ταυτόχρονα, με σκοπό τη σύγκριση και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σε περιπτώσεις που το απαιτούν.
  - ✓ **Get Event Files:** Έχοντας συνδεθεί με τη SEL συσκευή μας, μπορούμε να αποκτήσουμε αναφορές γεγονότων που έχει στη μνήμη της.



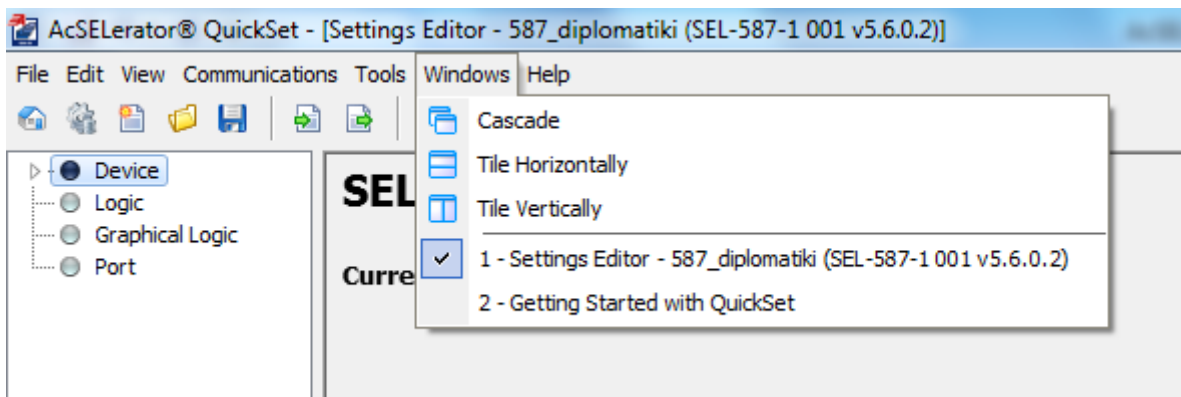
*Εικόνα 4.15: Λειτουργία Events*

- **Options:** Η λειτουργία Options επιτρέπει στο χρήστη να επεξεργαστεί ορισμένες παραμέτρους που αφορούν το ίδιο το λογισμικό, όπως για παράδειγμα τη γραμματοσειρά των τιμών που εισάγουμε στα πεδία ρυθμίσεων, το φόντο για τις ενεργές και τις ανενεργές ρυθμίσεις κτλ.
- **Commissioning Assistant:** Η λειτουργία αυτή διαφέρει μεταξύ των SEL συσκευών. Αναλυτικές οδηγίες χρήσης της λειτουργίας αυτής υπάρχουν στα εγχειρίδιά της εκάστοτε συσκευής (instruction manuals).
- **Firmware Loader:** Αφορά το υλικολογισμικό της SEL συσκευής μας και καθορίζει τις επεμβάσεις που μπορεί να κάνει ο χρήστης σε αυτό (π.χ. αναβάθμιση, υποβάθμιση κτλ.)
- **Device Manager:** Η λειτουργία Device Manager βοηθά το χρήστη να οργανώσει τις ρυθμίσεις, τις αναφορές γεγονότων, τις συνδέσεις και γενικά τις πάσης φύσης πληροφορίες που σχετίζονται με τις εφαρμογές των SEL συσκευών του, σε μια κεντρική τοποθεσία, με σκοπό την ελαχιστοποίηση λαθών, την αύξηση της παραγόμενης εργασίας και τη μεγαλύτερη ευελιξία.

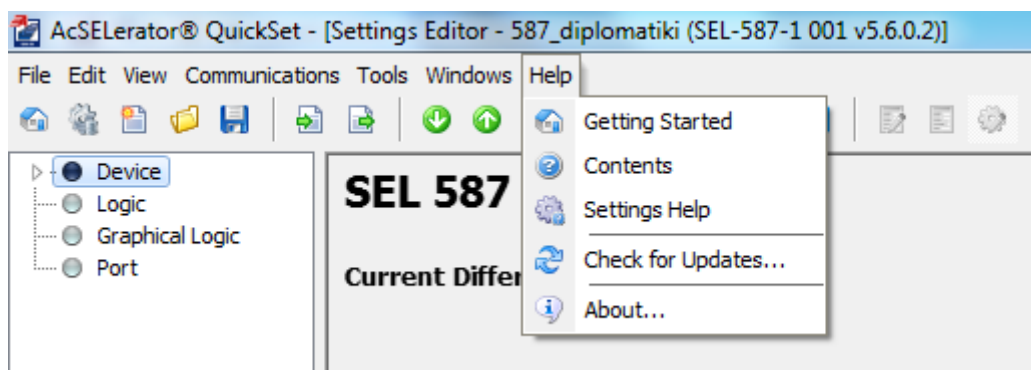
- **Open Motor Start Report File:** Η λειτουργία αυτή αφορά το άνοιγμα αναφοράς εκκίνησης κάποιας μηχανής (γεννήτριας ή κινητήρα), σε περίπτωση που προστατεύεται από SEL συσκευή.
- **Chart Viewer:** Αφορά τη σχηματική απεικόνιση και την αναπαράσταση ηλεκτρικών μεγεθών, τα οποία λαμβάνονται από αναφορές γεγονότων.

#### 4.5.3.6 Windows Menu (μενού παραθύρων), Help menu (μενού βοήθειας)

Αποτελούν τα δύο τελευταία μενού που διαθέτει το AcSElarator® QuickSet. Δε θα αναφερθούμε σε αυτά γιατί είναι απολύτως όμοια με τα αντίστοιχα μενού όλων των προγραμμάτων ίδιου περιβάλλοντος, που χρησιμοποιούμε καθημερινά.



*Εικόνα 4.16: Μενού παραθύρων*



*Εικόνα 4.17: Μενού βοήθειας*

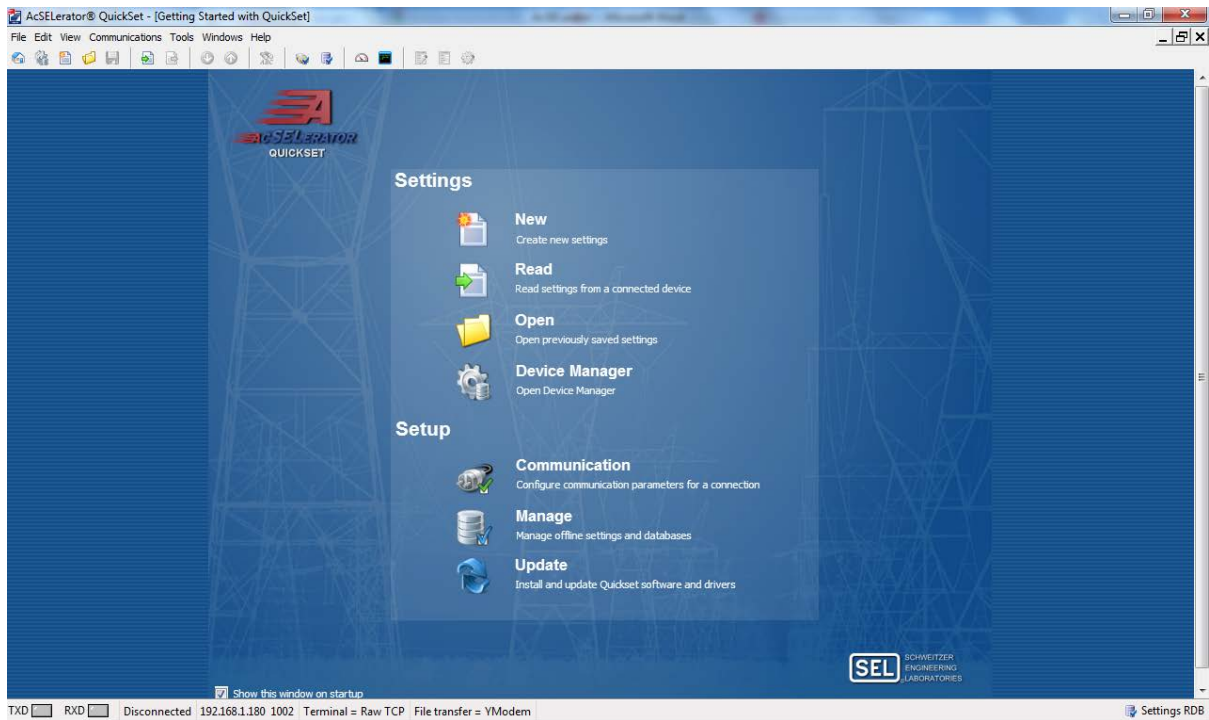
#### 4.5.4 Δημιουργία αρχείου ρύθμισης, επικοινωνία και μεταφορά ρυθμίσεων στον ηλεκτρονόμο SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας, μέσω του AcSElarator® QuickSet

Στην ενότητα αυτή περιγράφουμε αναλυτικά τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης ούτως ώστε να δημιουργήσει ένα αρχείο ρυθμίσεων, να επικοινωνήσει με την αντίστοιχη SEL συσκευή καθώς και να μεταφέρει τις ρυθμίσεις του στη συσκευή, με τη βοήθεια του AcSElarator® QuickSet. Την ίδια ακολουθία βημάτων ακολουθήσαμε κι εμείς, προτού περάσουμε στο στάδιο των δοκιμών.

##### 4.5.4.1 Δημιουργία αρχείου ρύθμισης

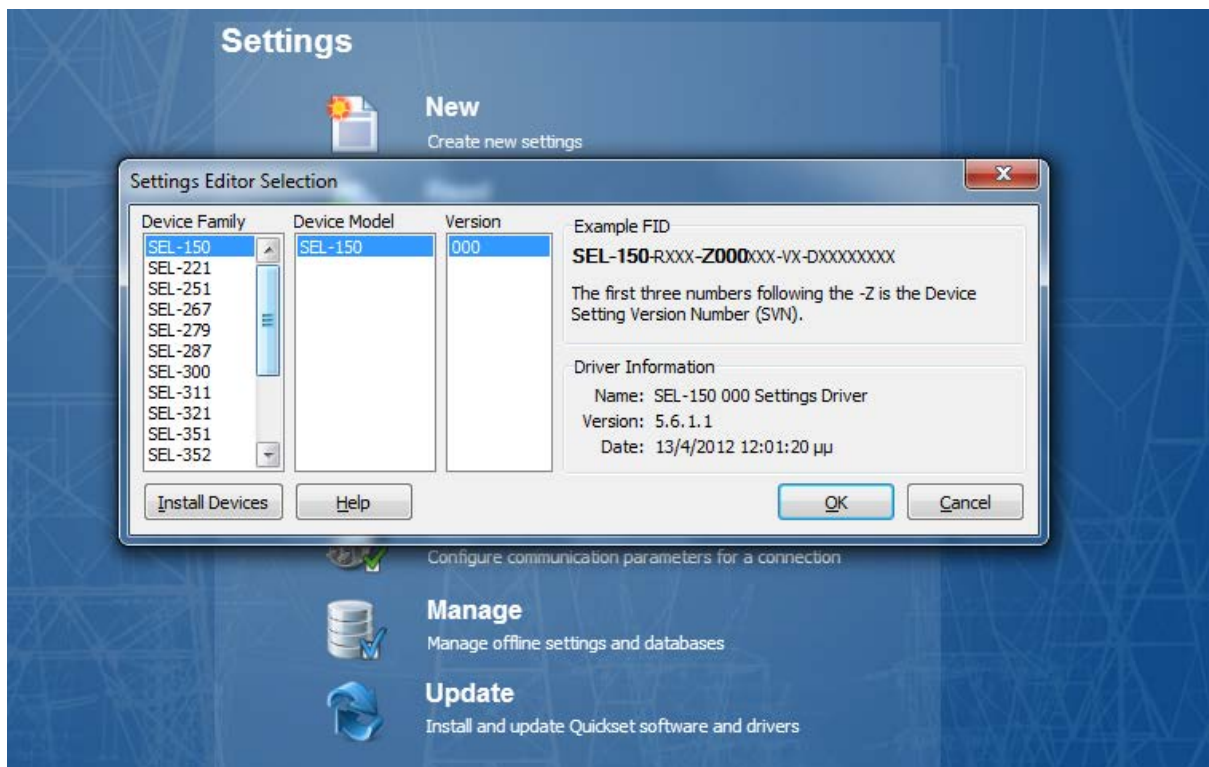
Για να δημιουργήσουμε ένα νέο αρχείο ρύθμισης ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- **ΒΗΜΑ 1:** Ανοίγουμε το πρόγραμμα AcSElarator® QuickSet και εμφανίζεται η οθόνη της εικόνας 4.18.



*Εικόνα 4.18: Αρχική οθόνη AcSElarator® QuickSet*

- **ΒΗΜΑ 2:** Μέσω της λειτουργίας New (File→New ή από την αρχική οθόνη) δημιουργούμε ένα νέο αρχείο ρυθμίσεων στη βάση δεδομένων που έχουμε επεξεργαστεί τελευταία. Πριν ανοίξει η κεντρική οθόνη, που φαίνεται και στην εικόνα 4.1, ζητείται το μοντέλο της συσκευής SEL που επιθυμούμε να ρυθμίσουμε.



*Εικόνα 4.19: Εισαγωγή μοντέλου συσκευής SEL*

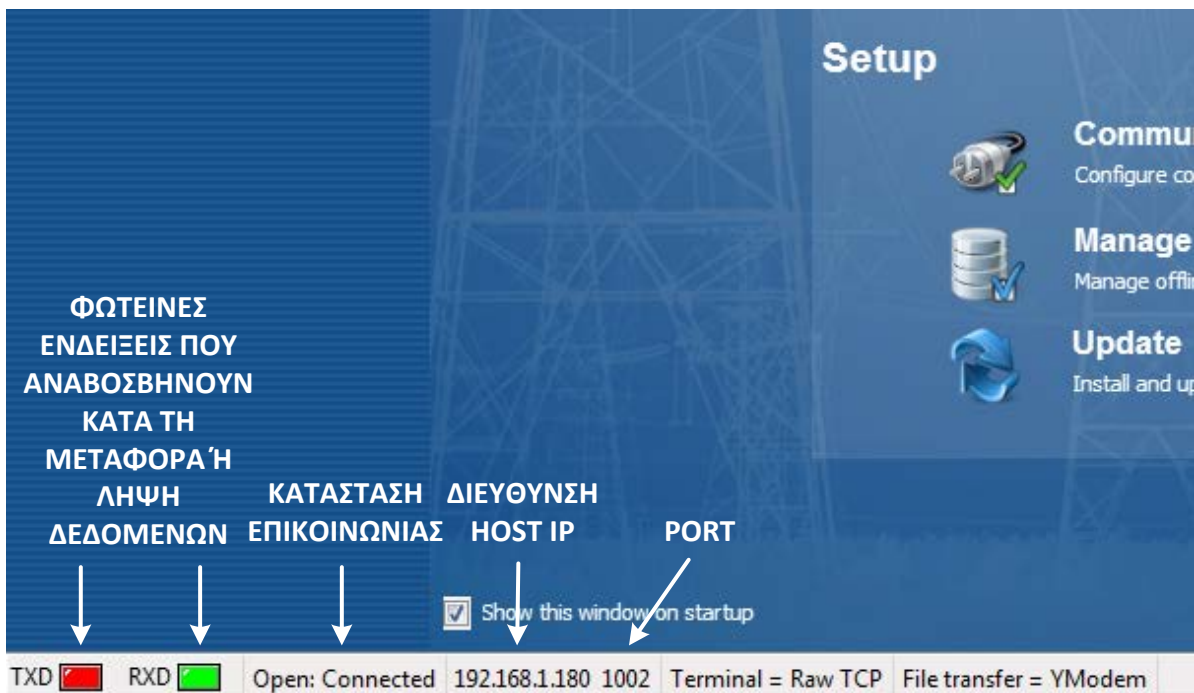
- **ΒΗΜΑ 3:** Ανοίγει η οθόνη του σχήματος 4.1 και συμπληρώνουμε τα πλαίσια της περιοχής καταχώρησης τιμών.

#### 4.5.4.2 Επικοινωνία με τον SEL-587

Μετά την ολοκλήρωση του αρχείου ρυθμίσεων, επιχειρούμε να επικοινωνήσουμε με την αντίστοιχη συσκευή, με σκοπό τη μεταφορά ή την ανάγνωση των ρυθμίσεών της. Για την επίτευξη επικοινωνίας με τον SEL-587, επιλέγουμε τη λειτουργία Parameters από το Communications Menu (βλ. εικόνα 4.10), όπου και καταχωρούμε τα ακόλουθα.

- Την IP διεύθυνση με την οποία επιθυμούμε να επικοινωνήσουμε. Σε περίπτωση που συνδεόμαστε με υπολογιστή μέσω της δεύτερης θύρας Ethernet (ETH2) στο πίσω μέρος του SEL-3354 (η πρώτη χρησιμοποιείται για επικοινωνία με τη μονάδα PC), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.13, καταχωρούμε την IP 192.168.1.180, όπως αυτή έχει ρυθμιστεί μόνιμα στην τιμή αυτή.
- Την πόρτα επικοινωνίας που αφορά τον SEL-587 και μπορούμε να τη βρούμε μέσω του port server του προγράμματος SSNET (βλ. ενότητα 2.3.1.4 και εικόνα 2.20). Στην περίπτωση μας είναι η τιμή 1002. Προσέχουμε στο πεδίο port server να έχουμε καταχωρήσει τη σωστή IP διεύθυνση, γιατί διαφορετικά δε θα είναι εφικτή η επικοινωνία.
- Την επιλογή Raw TCP στο πλαίσιο File Transfer Option.
- Τους κωδικούς επικοινωνίας επιπέδου 1 και 2 (Level One, Two Passwords). Για τον ηλεκτρονόμο SEL-587 είναι η τιμή 587 και στα δύο επίπεδα.

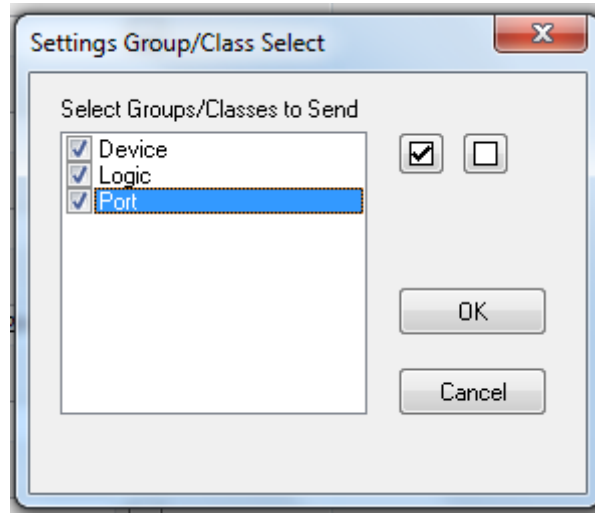
Έχοντας καταχωρήσει τις συγκεκριμένες τιμές στο πλαίσιο διαλόγου των παραμέτρων επικοινωνίας και κάνοντας κλικ στη λειτουργία Connect του Communications Menu, επιτυγχάνουμε την επικοινωνία με τον ηλεκτρονόμο SEL-587, κατά την οποία μεταβάλλονται οι πληροφορίες επικοινωνίας στο κάτω μέρος της οθόνης μας, όπως δείχνει η εικόνα 4.20.



Εικόνα 4.20: Πληροφορίες επικοινωνίας

#### 4.5.4.3 Μεταφορά ρυθμίσεων στον SEL-587

Όταν επιτευχθεί επικοινωνία, όπως περιγράψαμε, με τον SEL-587, μέσω της εντολής Send από το File Menu, μπορούμε να μεταφέρουμε τις ρυθμίσεις του αρχείου που δημιουργήσαμε στον ηλεκτρονόμο. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.21, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των ομάδων ρυθμίσεων που θέλουμε να αποσταλούν. Εν προκειμένω, μπορούμε να επιλέξουμε ποιο ή ποια από τα πεδία Device, Logic και Port θα μεταφερθούν στη συσκευή.



*Εικόνα 4.21: Επιλογή ομάδων ρυθμίσεων για μεταφορά στον SEL-587*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τις δοκιμές που πραγματοποιήσαμε στον ηλεκτρονόμο SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος, με τη βοήθεια της συσκευής OMICRON CMC 356, στοχεύοντας στην εξακρίβωση της ορθής λειτουργίας του ηλεκτρονόμου, και κατά συνέπεια στην καταλληλότητα των ρυθμίσεων που υπολογίσαμε, αλλά και στη σύγκριση των θεωρητικών χρόνων ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου που προκύπτουν από τις καμπύλες υπερέντασης, με τους πραγματικούς χρόνους που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

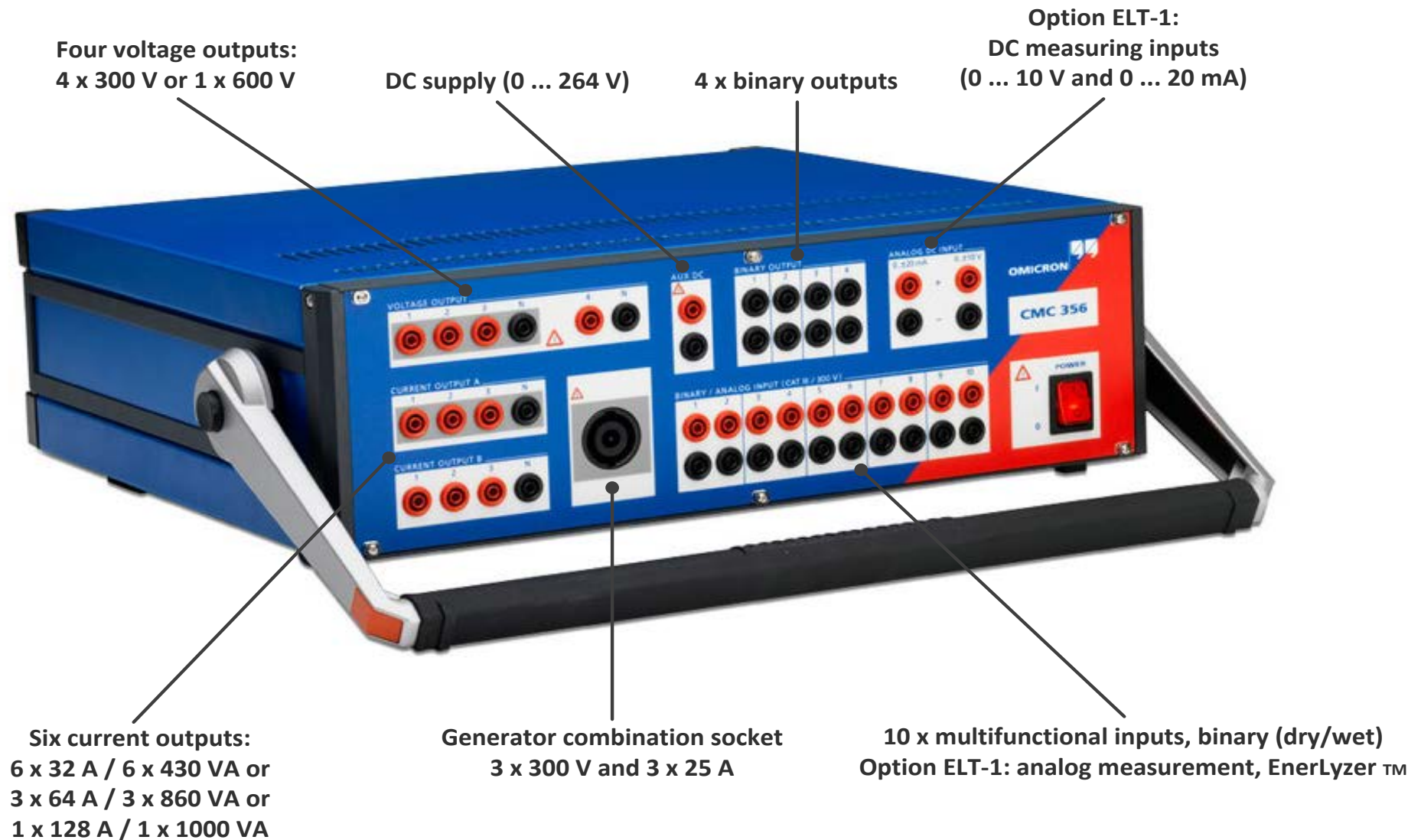
#### **5.1 Συσκευή OMICRON CMC 356**

##### **5.1.1 Γενική περιγραφή**

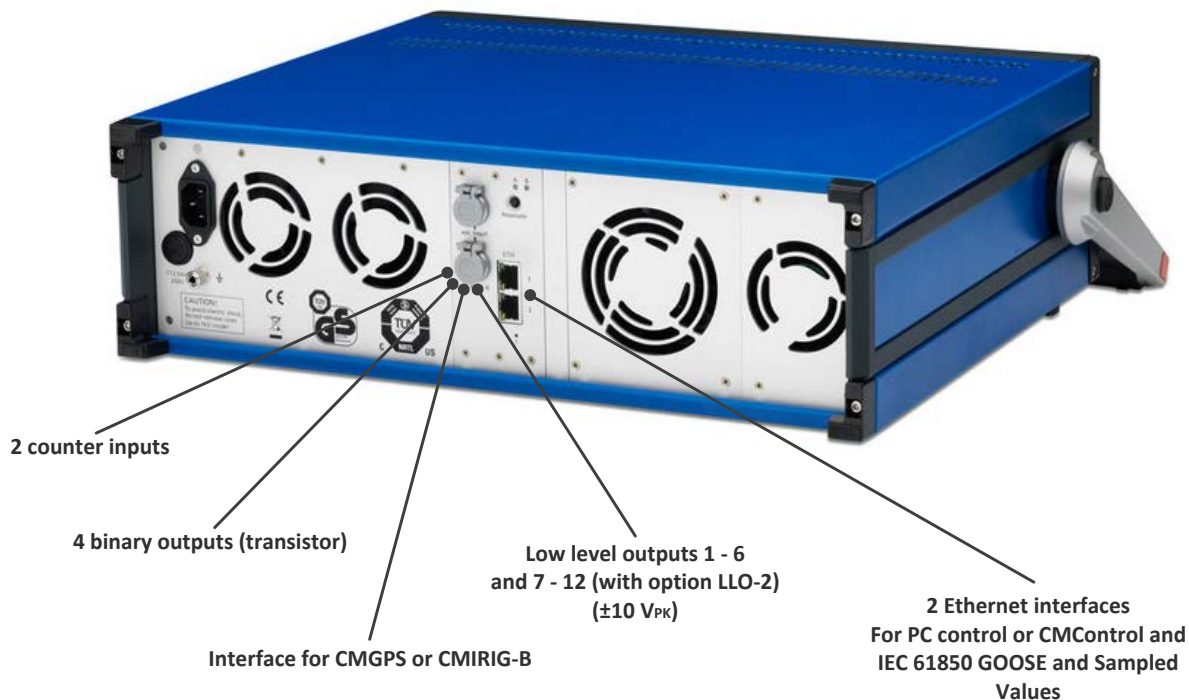
Η συσκευή OMICRON CMC 356 αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για τον έλεγχο όλων των σύγχρονων ψηφιακών ηλεκτρονόμων προστασίας (Relay testing and commissioning) και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές που αφορούν πίνακες προστασίας σε υποσταθμούς, ΚΥΤ ή μονάδες παραγωγής (όπως για παράδειγμα το εργαστηριακό μας σύστημα).

Η εν λόγω συσκευή μας δίνει τη δυνατότητα διενέργειας δευτερογενούς ελέγχου (secondary testing and calibration) στα συστήματα προστασίας, που σημαίνει ότι παρακάμπτονται οι μετασχηματιστές έντασης και τάσης. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια της συσκευής παρέχουμε τα ηλεκτρικά μεγέθη (ρεύματα και τάσης) σε τιμές δευτερεύοντος, απευθείας στον ηλεκτρονόμο, όπως δηλαδή έρχονται από τους μετασχηματιστές οργάνων. Επιπλέον, η εταιρεία OMICRON διαθέτει συσκευές, όπως είναι της σειράς CPC, οι οποίες έχουν ευρεία χρήση σε πρωτογενείς ελέγχους (primary testing and diagnosis), δηλαδή παρέχουν ρεύματα και τάσεις πριν τους μετασχηματιστές οργάνων, προσομοιώνοντας έτσι πραγματικές καταστάσεις σφαλμάτων στο δίκτυο.

Στις επόμενες εικόνες φαίνονται η πρόσθια και οπίσθια όψη της συγκεκριμένης συσκευής. Επί των εικόνων περιγράφεται η λειτουργία και οι δυνατότητες που παρέχει στο χρήστη, μέσω των ακροδεκτών της, όπως αναγράφονται στο εγχειρίδιο χρήσης της συσκευής.



Εικόνα 5.1: Πρόσθια όψη συσκευής OMICRON CMC 356 και λειτουργίες ακροδεκτών [44]



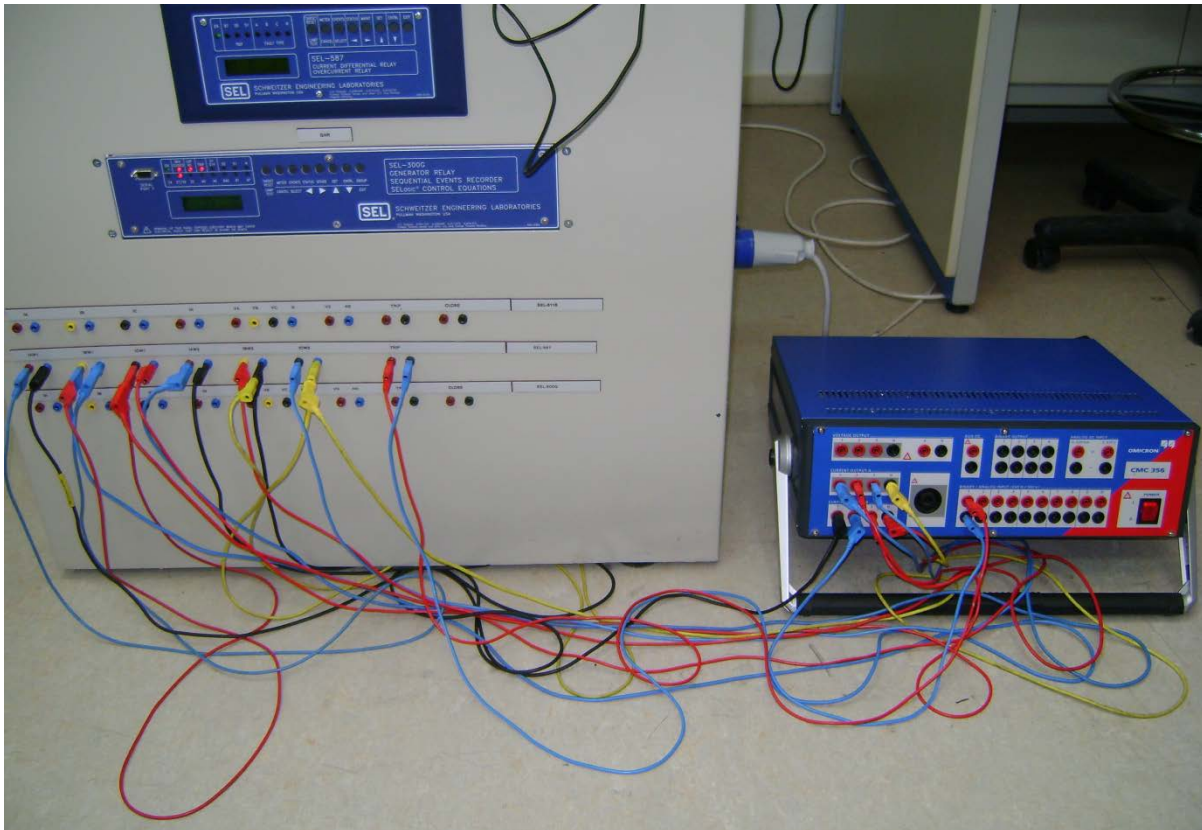
*Εικόνα 5.2: Οπίσθια όψη συσκευής OMICRON CMC 356 και λειτουργίες ακροδεκτών [44]*

### **5.1.2 Συνδεσμολογία συσκευής OMICRON CMC 356 με τους ακροδέκτες του SEL-587**

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία, όσον αφορά τη λήψη σωστών αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια ελέγχων, αλλά και την ασφάλεια του χειριστή, είναι η κατάλληλη συνδεσμολογία της συσκευής OMICRON με τους ακροδέκτες του εκάστοτε ηλεκτρονόμου που επιθυμεί να ελέγξει.

Στη δική μας εφαρμογή, η σύνδεση της OMICRON με τον ηλεκτρονόμο SEL-587 επιτυγχάνεται μέσω των ακροδεκτών στην πρόσθια όψη του εργαστηριακού συστήματος προστασίας (βλ. εικόνα 2.2). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η εν λόγω συνδεσμολογία των δύο συνιστωσών, όπως πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, προτού ξεκινήσουμε τις δοκιμές.





*Εικόνα 5.3: Συνδεσμολογία συσκευής OMICRON CMC 356 με τον SEL-587*

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε (και ακολουθείται γενικά) για να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη συνδεσμολογία των δύο συσκευών. Στη συνέχεια, περιγράφουμε εκτενώς τη μεθοδολογία αυτή, με σκοπό την πλήρη κατανόηση από τον αναγνώστη, της διαδικασίας των πραγματικών δοκιμών και ελέγχων ηλεκτρονόμων προστασίας.

Ο ηλεκτρονόμος SEL-587 που ρυθμίσαμε και ελέγξαμε, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται διαφορική προστασία εξοπλισμού, όπως έχουμε αναφέρει. Στη δική μας εφαρμογή επιτηρεί και προστατεύει το μετασχηματιστή ανύψωσης της μονάδα παραγωγής, που προσομοιώνουμε, οπότε η κατάλληλη συνδεσμολογία της συσκευής OMICRON με τον ηλεκτρονόμο εξαρτάται από τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ισχύος καθώς και από τη συνδεσμολογία των μετασχηματιστών έντασης που τροφοδοτούν τον ηλεκτρονόμο. Στην περίπτωση μας έχουμε,

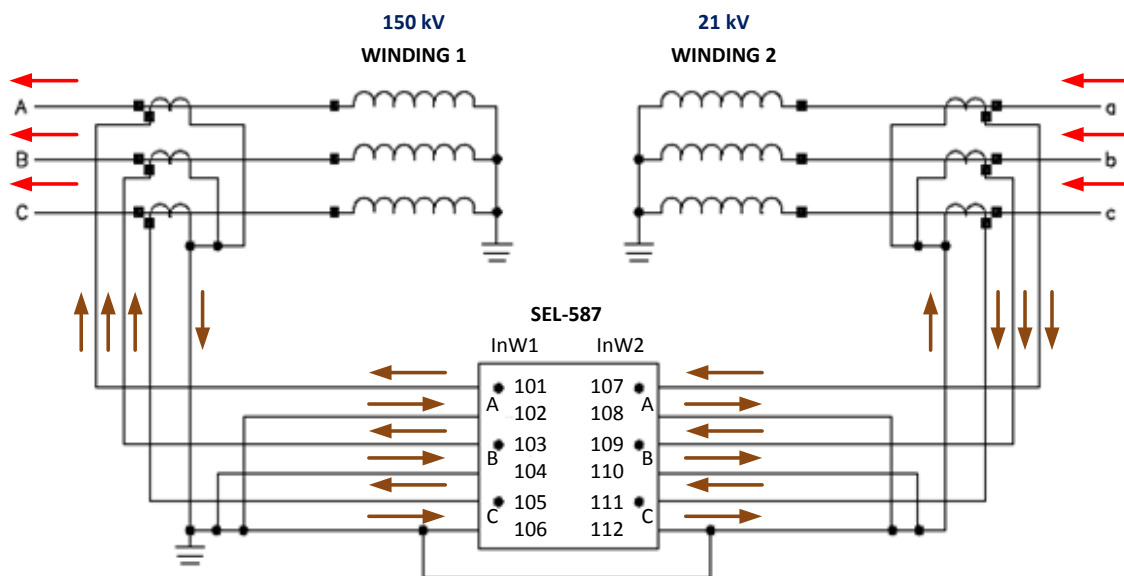
- συνδεσμολογία ΥΥ του μετασχηματιστή ισχύος και
- συνδεσμολογία ΥΥ και των μετασχηματιστών έντασης, στις πλευρές των δύο τυλιγμάτων.

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη συνδεσμολογία της OMICRON με τον SEL-587 είναι ο καθορισμός των τυλιγμάτων 1,2 (Windings 1,2) καθώς και η φορά ροής της ισχύος (άρα και του ρεύματος) διαμέσου του μετασχηματιστή. Στην εφαρμογή μας έχουμε,

- Winding 1: 150 kV
- Winding 2: 21 kV
- Φορά ισχύος: Winding 2 → Winding 1

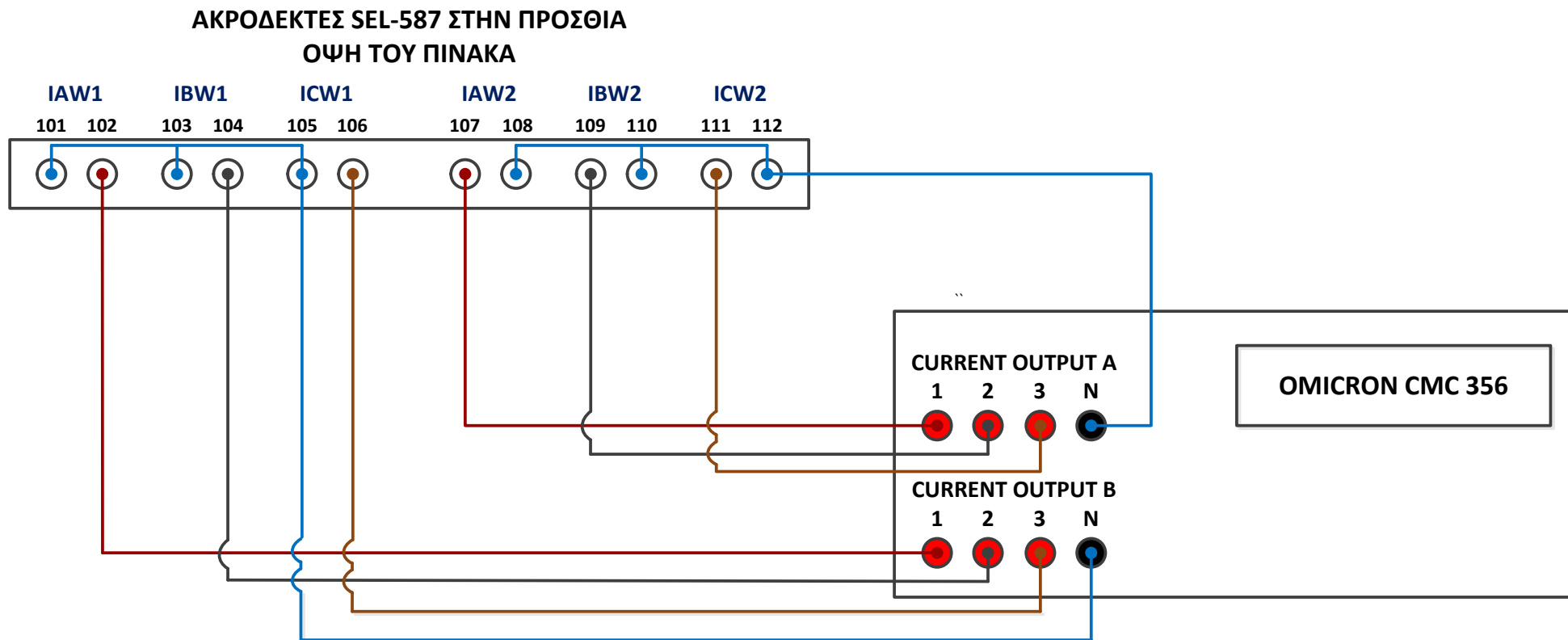
Με όλες τις προηγούμενες πληροφορίες είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε ακριβώς για την περίπτωση μας τις φορές των ρευμάτων που εισέρχονται και εξέρχονται από τον

ηλεκτρονόμο. Τα συγκεκριμένα ρεύματα εγχέονται στον SEL-587 με τη βοήθεια της OMICRON, συνεπώς είμαστε σε θέση να κάνουμε σωστά τη συνδεσμολογία. Ακολουθεί σχήμα στο οποίο απεικονίζονται αναλυτικά οι εν λόγω φορές των ρευμάτων των τριών φάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.



*Σχήμα 5.1: Τροφοδότηση ηλεκτρονόμου SEL-587 και φορές ρευμάτων*

Από το προηγούμενο σχήμα γίνεται σαφής ο τρόπος με τον οποίο θα συνδέσουμε τις γεννήτριες ρευμάτων της OMICRON, ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Τρόπος συνδεσμολογίας ηλεκτρονόμου SEL-587 με τη συσκευή OMICRON CMC 356

Προτού κλείσουμε τη συγκεκριμένη ενότητα, σημειώνουμε ότι εκτός από τους ακροδέκτες εισόδου ρευμάτων του SEL-587, χρησιμοποιήσαμε και τους ακροδέκτες εξόδου TRIP του ηλεκτρονόμου, όπως δείχνει η εικόνα 5.3. Τους ακροδέκτες αυτούς τους συνδέσαμε με το πρώτο ζευγάρι δυαδικών εισόδων της OMICRON και μέσω σύνδεσης Ethernet (οπίσθια όψη OMICRON, εικόνα 5.2) παίρναμε και επεξεργαζόμασταν τα σήματα ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου σε φορητό υπολογιστή.

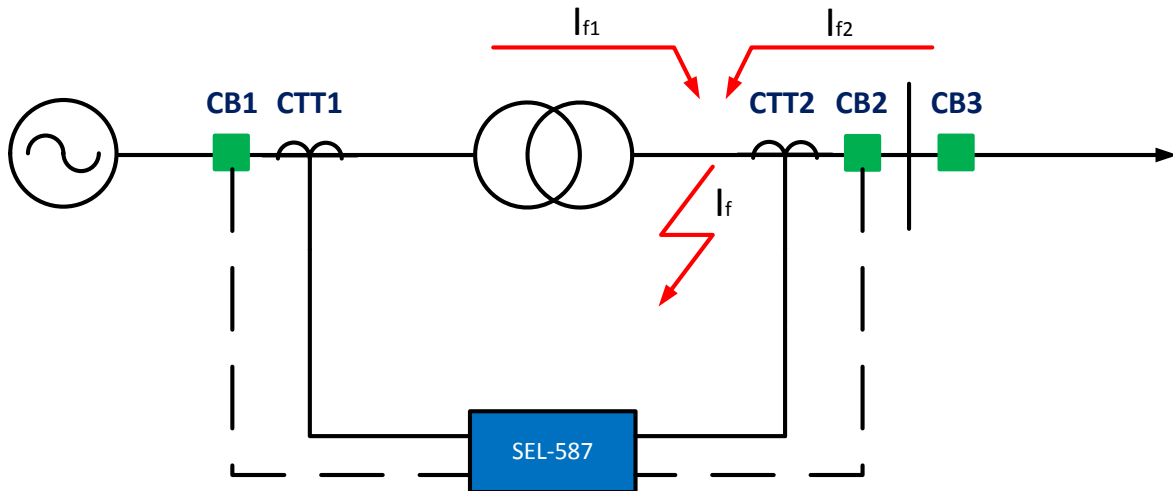
## 5.2 Σενάρια δοκιμών

Οι δοκιμές που πραγματοποιήσαμε στο εργαστηριακό σύστημα προστασίας αφορούν την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας της διαφορικής προστασίας και της προστασίας υπερέντασης που προσφέρει ο SEL-587, βάσει των ρυθμίσεων που καταχωρήσαμε στον ηλεκτρονόμο και αναλύσαμε στο κεφάλαιο 4.

Συγκεντρωτικά, τα σενάρια δοκιμών που εξετάσαμε είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Για τον έλεγχο της διαφορικής προστασίας
  1. τριφασικό βραχυκύκλωμα,
  2. διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη,

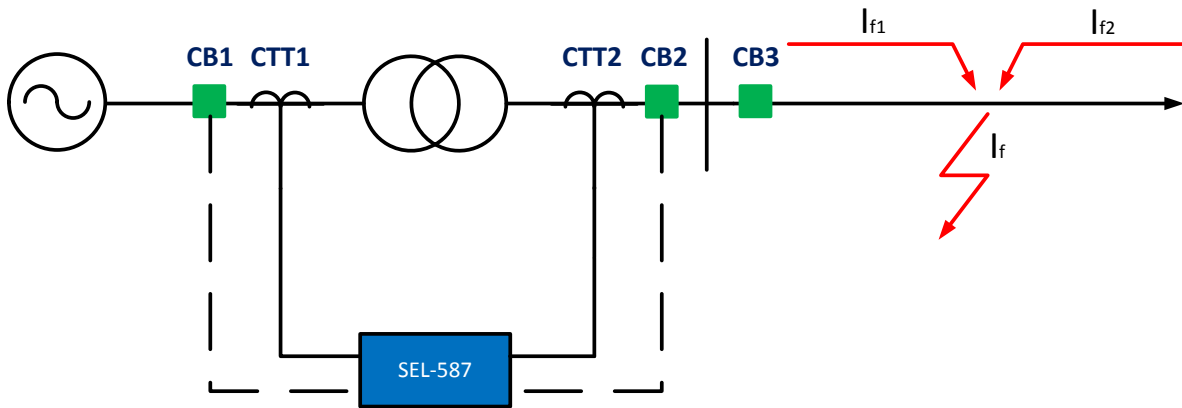
εντός της διαφορικής ζώνης προστασίας του ηλεκτρονόμου και στην πλευρά YT του μετασχηματιστή ανύψωσης. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν, είναι πανομοιότυπες με αυτές που προκύπτουν από τον πίνακα 4.6 που αφορούν σφάλματα στο ζυγό HV1 του δικτύου μας, υιοθετώντας τη ρεαλιστική εκδοχή ότι δε διαφέρουν από τις τιμές των σφαλμάτων στην πλευρά YT του μετασχηματιστή.



Σχήμα 5.3: Σφάλματα εντός της διαφορικής ζώνης του SEL-587

- ✓ Για τον έλεγχο της προστασίας υπερέντασης
  3. τριφασικό βραχυκύκλωμα,
  4. μονοφασικό βραχυκύκλωμα προς γη,
  5. διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη,
  6. διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη,

στο 50% της γραμμής μεταφοράς, με την υπόθεση ότι ο ηλεκτρονόμος SEL-311B, που είναι η κύρια προστασία της γραμμής, δεν αποκρίνεται. Συνεπώς, κάνουμε έλεγχο στη λειτουργία και το χρόνο απόκρισης των στοιχείων υπερέντασης τυλίγματος 1 (150 kV), ως εφεδρική προστασία υπερέντασης για τη γραμμή μεταφοράς. Οι τιμές που χρησιμοποιήσαμε είναι πανομοιότυπες (με διαφοροποιήσεις μόνο όσον αφορά τις γωνίες) με αυτές που περιέχει ο πίνακας 4.8.



Σχήμα 5.4: Σφάλματα στο 50% της γραμμής μεταφοράς

Στο σημείο αυτό, προχωρούμε στην αναλυτική περιγραφή των 6 δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν.

### 5.2.1 Τριφασικό βραχυκύκλωμα εντός της διαφορικής ζώνης προστασίας του SEL-587

#### A. Εισερχόμενα ρεύματα στον ηλεκτρονόμο SEL-587

Τα ρεύματα των φάσεων που προκύπτουν από τριφασικό βραχυκύκλωμα στους ακροδέκτες YT του μετασχηματιστή ανύψωσης, δίνονται από τον πίνακα 4.6 σε τιμές πρωτεύοντος. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές ρευμάτων που δώσαμε με τη βοήθεια της συσκευής OMICRON στους ακροδέκτες εισόδου του SEL-587, υποβιβασμένες σε τιμές δευτερεύοντος των μετασχηματιστών έντασης που έχουμε επιλέξει.

Υπενθυμίζουμε ότι το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας του SEL-587 είναι 1 A και ότι οι λόγοι μετασχηματισμού που έχουμε επιλέξει είναι

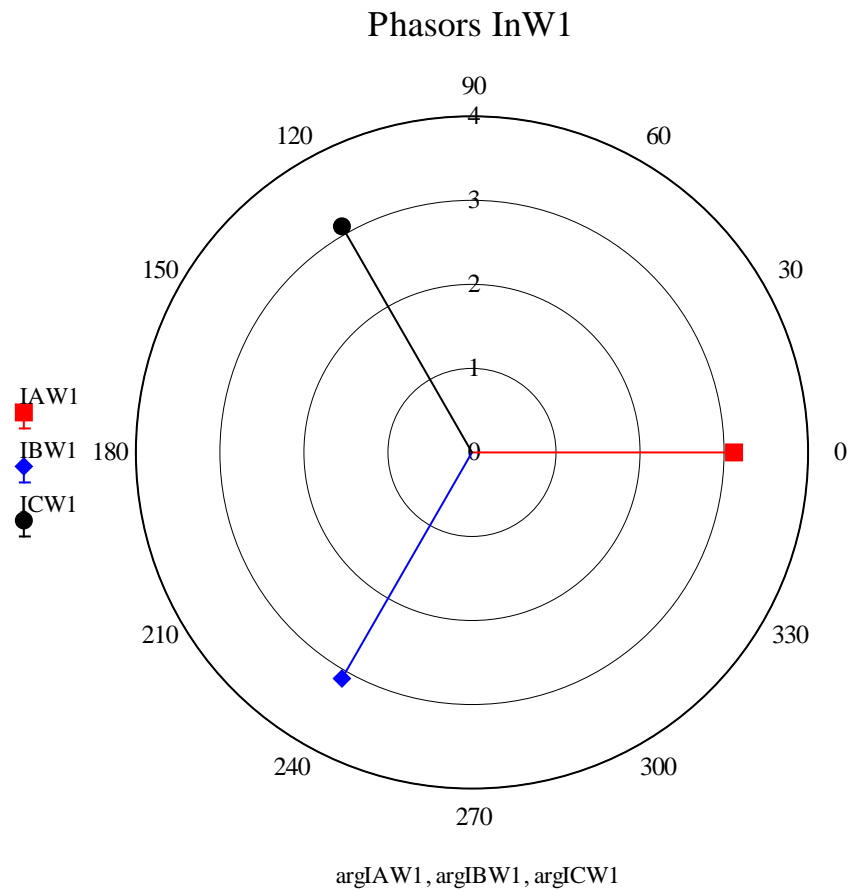
- **CTR1 = 1500/1,**
- **CTR2 = 10000/1.**

Currents	Magnitude (A)	Argument (°)
<b>I<sub>AW1</sub></b>	3,109	0,0
<b>I<sub>BW1</sub></b>	3,109	-120,0
<b>I<sub>CW1</sub></b>	3,109	120,0
<b>I<sub>AW2</sub></b>	3,224	180,0
<b>I<sub>BW2</sub></b>	3,224	60,0
<b>I<sub>CW2</sub></b>	3,224	300,0

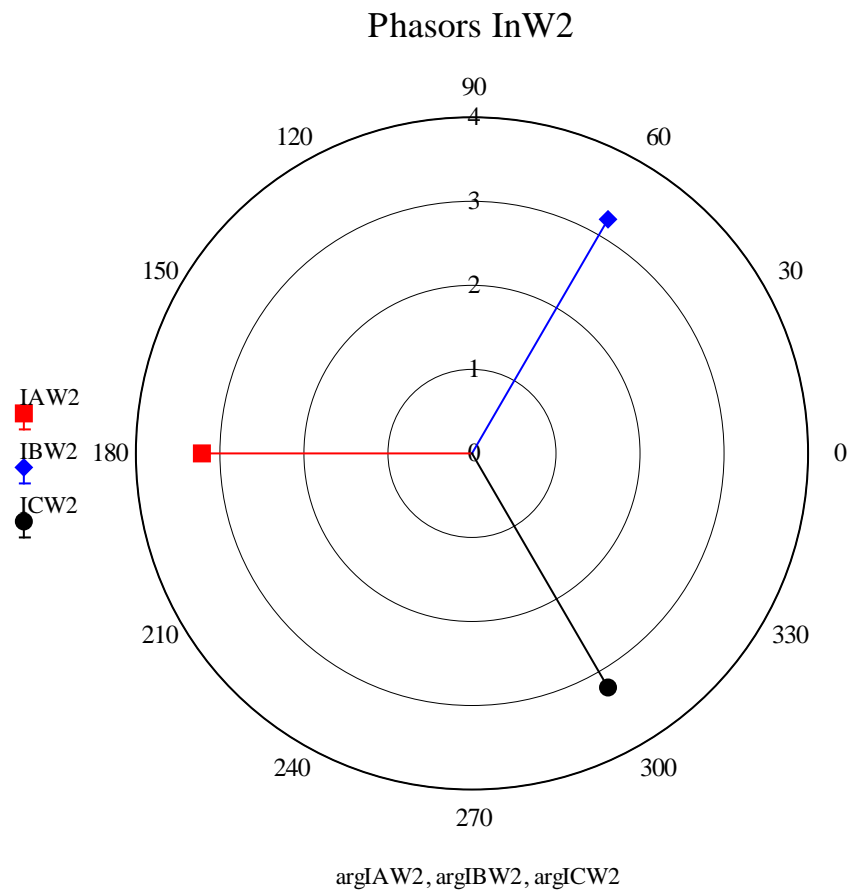
Πίνακας 5.1: Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση τριφασικού σφάλματος στην πλευρά YT του μετασχηματιστή ανύψωσης

#### B. Διαγράμματα φασιθετών (phasor diagrams)

Στα επόμενα σχήματα βλέπουμε το πολικό διάγραμμα των φασιθετών (phasors) των ρευμάτων σφάλματος του πίνακα 5.1, που εισέρχονται στον SEL-587.



*Σχήμα 5.5: Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 1, διαφορική προστασία)*



*Σχήμα 5.6: Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 2, διαφορική προστασία)*

Γ. Στοιχείο προστασίας που ενεργοποιήθηκε και χρόνος απόκρισης

Μόλις δώσαμε μέσω της συσκευής OMICRON τα ρεύματα που αναφέραμε προηγουμένως, ο SEL-587 ενεργοποιήθηκε και μέσω σήματος άνοιξε τους διακόπτες CB1, CB2 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Τα βήματα που προηγήθηκαν είναι τα εξής:

1. Το Relay Word Bit 87R πήρε την τιμή 1, συνεπώς ενεργοποιήθηκε το διαφορικό στοιχείο με αναστολή (Restrained differential element).
2. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί event report και το Relay Word Bit TRP3 να πάρει και αυτό την τιμή 1.
3. Τέλος, επειδή TRP3 =1, ενεργοποιήθηκαν και οι τρεις έξοδοι OUT1, OUT2, OUT3 του ηλεκτρονόμου, που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να ανοίξουν οι Δ/Ι CB1 (OUT2), CB2 (OUT1) και να δοθεί σήμα trip από τους αντίστοιχους ακροδέκτες στην πρόσθια όψη του εργαστηριακού συστήματος (OUT3), προς την OMICRON και κατά συνέπεια στο φορητό υπολογιστή που συλλέγαμε τα αποτελέσματα.

Ο χρόνος που μεσολάβησε μέχρι να ανοίξουν οι Δ/Ι ήταν

$$t_{op} = 0,051 \text{ sec}$$

,όπως καταγράφηκε από το ειδικό λογισμικό της συσκευής OMICRON.

Στο σημείο αυτό κρίνουμε ενδιαφέρον να αποδείξουμε γιατί ενεργοποιήθηκε το διαφορικό στοιχείο αναστολής και όχι κάποιο άλλο στοιχείο προστασίας. Αρχικά, όλα τα στοιχεία υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου που χρησιμοποιούμε στον ηλεκτρονόμο απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας, λόγω επιλογικότητας, αλλά και λόγω του γεγονότος ότι τα διαφορικά στοιχεία λειτουργούν ταχύτατα, μόλις αντιλαμβάνονται σφάλματα εντός διαφορικής ζώνης. Τα στιγμιαία στοιχεία υπερέντασης έχουν χρόνο λειτουργίας ίδιας τάξης με τα διαφορικά στοιχεία, αλλά οι τιμές ρεύματος, για το συγκεκριμένο σφάλμα, που προκύπτουν, δεν ξεπερνούν το κατώφλι τους, ώστε να ενεργοποιηθούν.

Για να αντιληφθούμε το λόγο που λειτούργησε το διαφορικό στοιχείο αναστολής και όχι αυτό χωρίς αναστολή (Unrestrained differential element, 87U), πρέπει να βρούμε το σημείο (IRT, IOP) που προκύπτει σε σχέση με τη χαρακτηριστική λειτουργίας της διαφορικής προστασίας, όπως αυτή ρυθμίστηκε (βλ. ενότητα 4.4).

Στο σχήμα 2.9 παρατηρούμε ότι πριν υπολογίσει ο ηλεκτρονόμος τις ποσότητες IOP1,2,3, IRT1,2,3, κάνει δύο αντισταθμίσεις: μία λόγω της ποσότητας TAP στα δύο τυλίγματα και μία λόγω της συνδεσμολογίας του μετασχηματιστή ανύψωσης και των μετασχηματιστών έντασης. Για τα δικά μας δεδομένα προκύπτουν οι εξής ποσότητες (π.χ. για τη φάση A):

$$I1W1F1C = \frac{IAW1}{TAP1} = \frac{3,109 \angle 0^0}{0,92} = 3,379 \angle 0^0$$

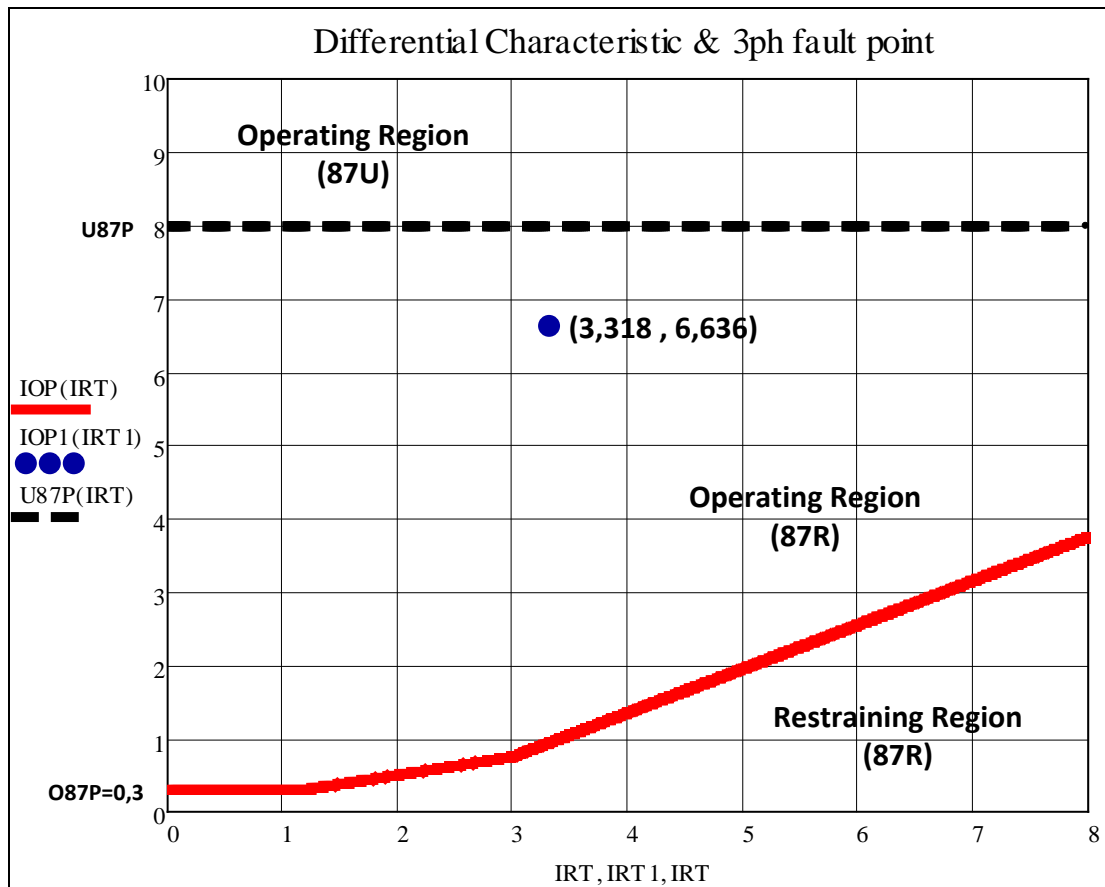
$$I1W2F1C = \frac{IAW2}{TAP2} = \frac{3,224 \angle 0^0}{0,99} = 3,257 \angle 0^0$$

Στο σχήμα 3.3 φαίνεται ο τρόπος που υπολογίζονται οι ποσότητες IOP, IRT. Στη δική μας περίπτωση έχουμε:

$$IOP1 = |I1W1F1C + I1W2F1C| = 6,636$$

$$IRT1 = \frac{|I1W1F1C| + |I1W2F1C|}{2} = 3,318$$

Συνεπώς, το σημείο που προκύπτει είναι το (IRT1, IOP1) = (3,318, 6,636) και η θέση του στο καρτεσιανό επίπεδο ως προς τη χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικής προστασίας φάσης A του ηλεκτρονόμου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.7: Χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικών στοιχείων φάσης A και σημείο τριφασικού σφάλματος

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ξεκάθαρα ότι το σημείο που προκύπτει από το τριφασικό σφάλμα στους ακροδέκτες YT του μετασχηματιστή ανύψωσης βρίσκεται στην περιοχή λειτουργίας του διαφορικού στοιχείου με αναστολή (87R), όπως αναμέναμε.

5.2.2 Διφασικό βραχυκύκλωμα εντός στους διαφορικής ζώνης προστασίας του SEL-587

A. Εισερχόμενα ρεύματα στον ηλεκτρονόμο SEL-587

Τα ρεύματα των φάσεων που προκύπτουν από διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη στους ακροδέκτες YT του μετασχηματιστή ανύψωσης, δίνονται από τον πίνακα 4.6 σε τιμές πρωτεύοντος. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές ρευμάτων που δώσαμε με τη βοήθεια της συσκευής OMICRON στους ακροδέκτες εισόδου του SEL-587, υποβιβασμένες σε τιμές δευτερεύοντος των μετασχηματιστών έντασης που έχουμε επιλέξει.

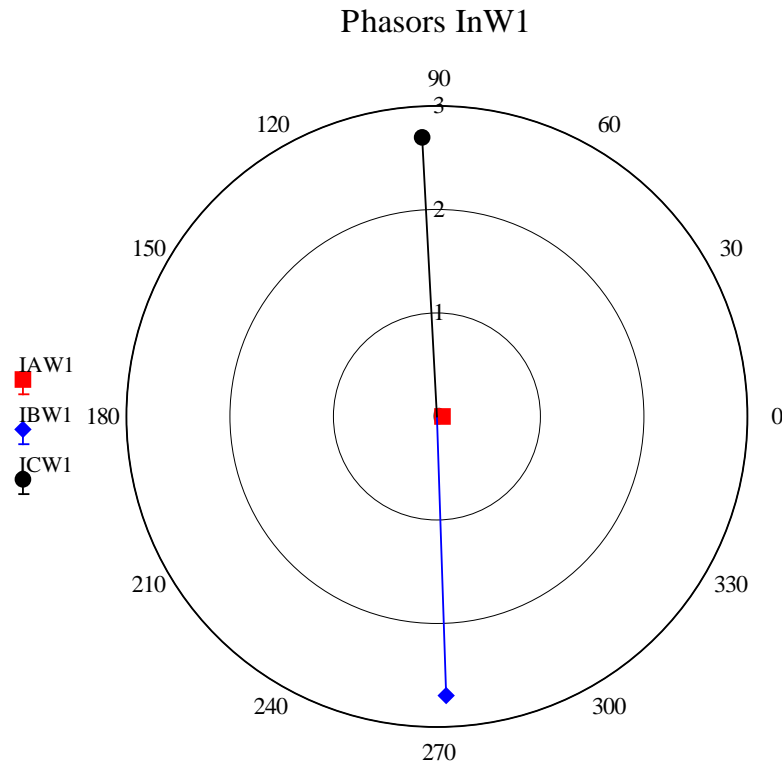
Currents	Magnitude (A)	Argument (°)
I <sub>AW1</sub>	0,051	9,3
I <sub>BW1</sub>	2,693	-88,2
I <sub>CW1</sub>	2,691	92,9
I <sub>AW2</sub>	0,055	9,3
I <sub>BW2</sub>	2,703	102,3
I <sub>CW2</sub>	2,696	-78,8

Πίνακας 5.2: Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση διφασικού σφάλματος στην πλευρά YT του μετασχηματιστή ανύψωσης



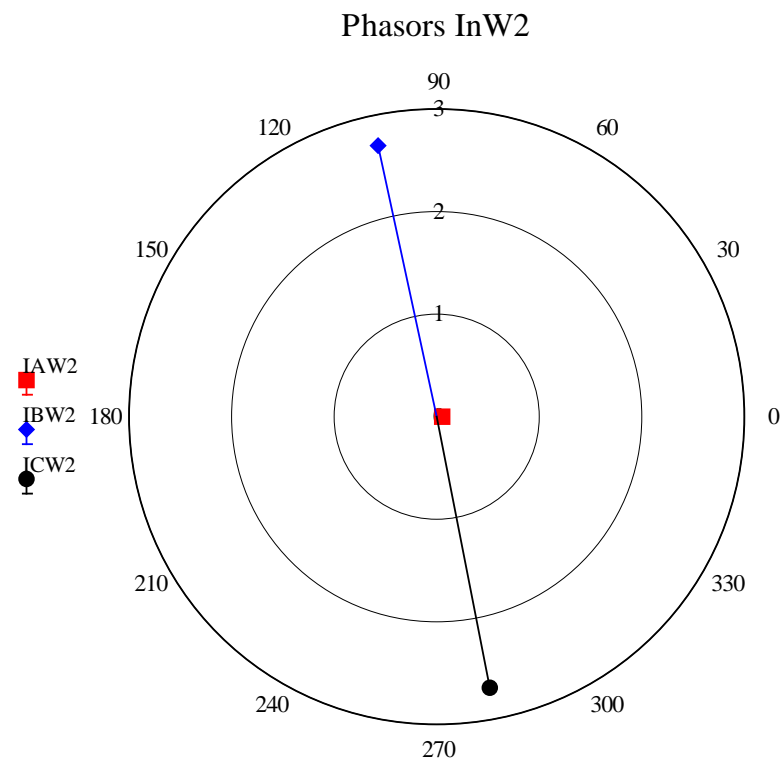
B. Διαγράμματα φασιθετών (phasor diagrams)

Στα επόμενα σχήματα βλέπουμε το πολικό διάγραμμα των φασιθετών (phasors) των ρευμάτων σφάλματος του πίνακα 5.2, που εισέρχονται στον SEL-587.



$\text{argIAW1}, \text{argIBW1}, \text{argICW1}$

*Σχήμα 5.8: Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 1, διαφορική προστασία)*



$\text{argIAW2}, \text{argIBW2}, \text{argICW2}$

*Σχήμα 5.9: Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 2, διαφορική προστασία)*

Γ. Στοιχείο προστασίας που ενεργοποιήθηκε και χρόνος απόκρισης

Μόλις δώσαμε μέσω της OMICRON τα ρεύματα που αναφέραμε προηγουμένως, ο SEL-587 ενεργοποιήθηκε και μέσω σήματος άνοιξε τους διακόπτες CB1, CB2 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Τα βήματα που προηγήθηκαν είναι τα ίδια με την προηγούμενη περίπτωση:

1. Το Relay Word Bit 87R πήρε την τιμή 1, συνεπώς ενεργοποιήθηκε το διαφορικό στοιχείο με αναστολή (Restrained differential element).
2. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί event report και το Relay Word Bit TRP3 να πάρει και αυτό την τιμή 1.
3. Τέλος, επειδή TRP3 =1, ενεργοποιήθηκαν και οι τρεις έξοδοι OUT1, OUT2, OUT3 του ηλεκτρονόμου, που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να ανοίξουν οι Δ/Ι CB1 (OUT2), CB2 (OUT1) και να δοθεί σήμα trip από τους αντίστοιχους ακροδέκτες στην πρόσθια όψη του εργαστηριακού συστήματος (OUT3) προς την OMICRON και κατά συνέπεια στο φορητό υπολογιστή που συλλέγαμε τα αποτελέσματα.

Ο χρόνος που μεσολάβησε μέχρι να ανοίξουν οι Δ/Ι ήταν

$$t_{op} = 0,052 \text{ sec}$$

,όπως καταγράφηκε από το ειδικό λογισμικό της συσκευής OMICRON.

Στο σημείο αυτό θα υπολογίσουμε, όπως προηγουμένως, το σημείο λειτουργίας του διαφορικού στοιχείου της φάσης Β.

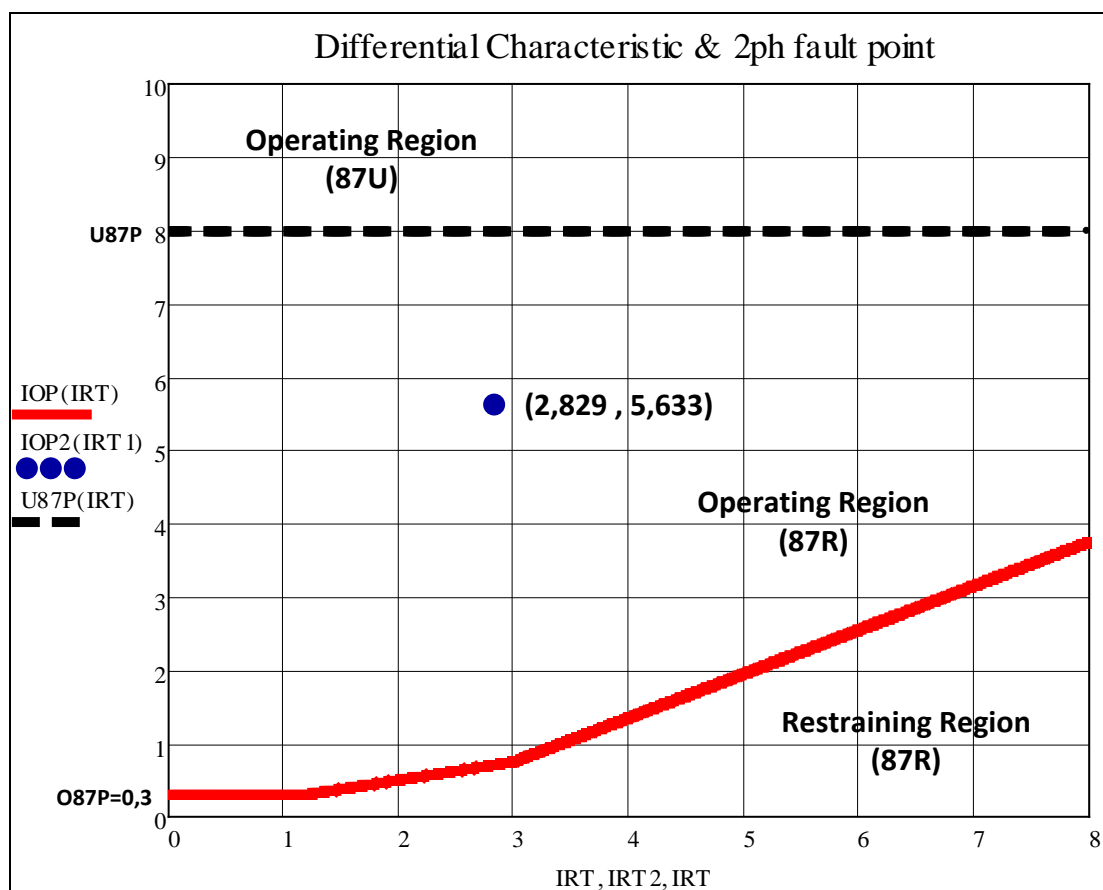
$$I2W1F1C = \frac{IBW1}{TAP1} = \frac{2,693 \angle -88,2^{\circ}}{0,92} = 2,927 \angle -88,2^{\circ}$$

$$I2W2F1C = \frac{IBW2}{TAP2} = \frac{2,703 \angle -77,7^{\circ}}{0,99} = 2,730 \angle -77,7^{\circ}$$

$$IOP2 = |I2W1F1C + I2W2F1C| = 5,633$$

$$IRT2 = \frac{|I2W1F1C| + |I2W2F1C|}{2} = 2,829$$

Συνεπώς, το σημείο που προκύπτει είναι το (IRT2, IOP2) = (2,829 , 5,633) και η θέση του στο καρτεσιανό επίπεδο ως προς τη χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικής προστασίας φάσης Β του ηλεκτρονόμου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.10: Χαρακτηριστική λειτουργίας διαφορικών στοιχείων φάσης Β και σημείο διαφασικού σφάλματος

Και σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται ξεκάθαρα ότι το σημείο που προκύπτει από το διαφασικό σφάλμα στους ακροδέκτες ΥΤ του μετασχηματιστή ανύψωσης βρίσκεται στην περιοχή λειτουργίας του διαφορικού στοιχείου με λειτουργία αναστολής (87R), όπως αναμέναμε.

### 5.2.3 Τριφασικό βραχυκύκλωμα στο 50% της γραμμής μεταφοράς

#### Α. Εισερχόμενα ρεύματα στον ηλεκτρονόμο SEL-587

Με την προσομοίωση του τριφασικού σφάλματος στο 50% της γραμμής μεταφοράς περιμένουμε τη λειτουργία του στοιχείου υπερέντασης φάσης. Αυτό συμβαίνει διότι, το σφάλμα είναι εκτός της διαφορικής ζώνης προστασίας του SEL-587, άρα αναμένουμε αναισθησία των διαφορικών στοιχείων. Επιπλέον, τα υπόλοιπα στοιχεία υπερέντασης μένουν αδρανή σε ένα τέτοιο βραχυκύκλωμα, επειδή δεν προκύπτουν ρεύματα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας (συμμετρικό σφάλμα).

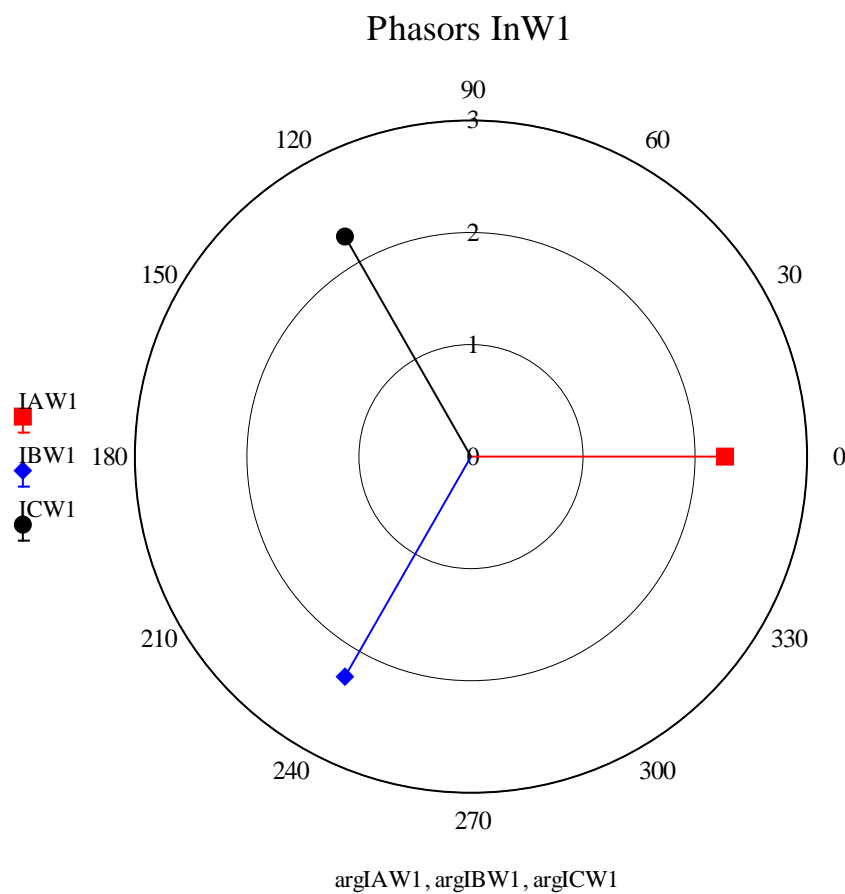
Οι τιμές ρευμάτων που δώσαμε με τη βοήθεια της συσκευής OMICRON στον ηλεκτρονόμο, αναγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Currents	Magnitude (A)	Argument (°)
<b>I<sub>A</sub>W1</b>	2,263	0,0
<b>I<sub>B</sub>W1</b>	2,263	-120,0
<b>I<sub>C</sub>W1</b>	2,263	120,0
<b>I<sub>A</sub>W2</b>	2,425	0,0
<b>I<sub>B</sub>W2</b>	2,425	-120,0
<b>I<sub>C</sub>W2</b>	2,425	120,0

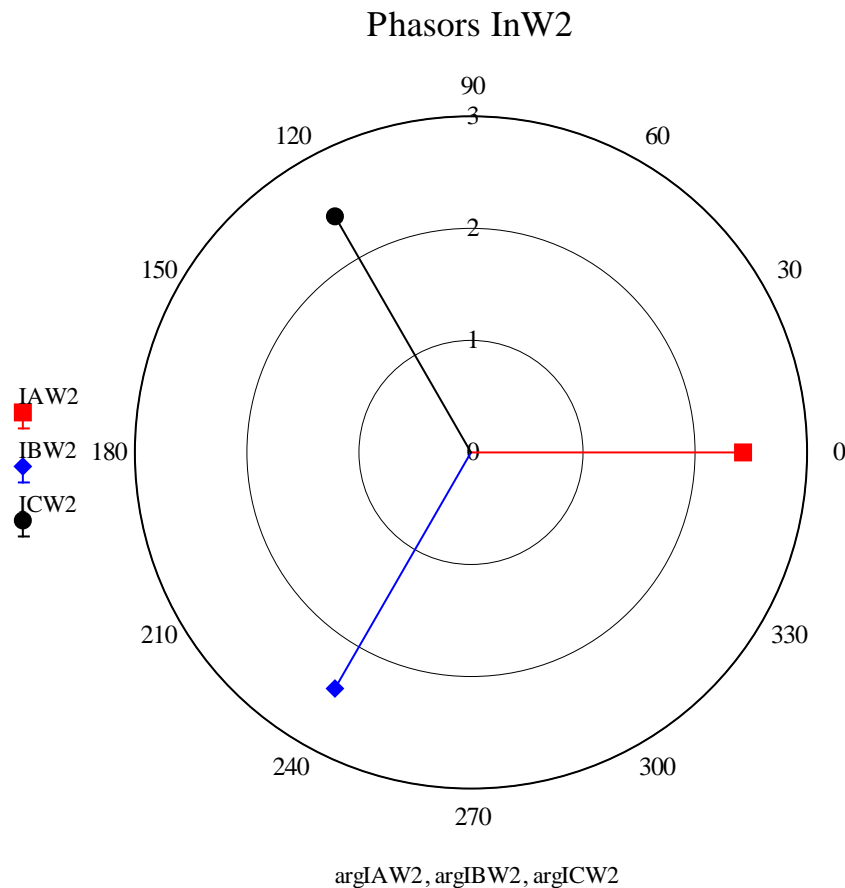
*Πίνακας 5.3: Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση τριφασικού σφάλματος στο 50% της γραμμής μεταφοράς*

**Β. Διαγράμματα φασιθετών (phasor diagrams)**

Στα επόμενα σχήματα βλέπουμε το πολικό διάγραμμα των φασιθετών (phasors) των ρευμάτων σφάλματος του πίνακα 5.3, που εισέρχονται στον SEL-587.



*Σχήμα 5.11: Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)*



**Σχήμα 5.12:** Διάγραμμα φασιθετών (3φ σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)

Γ. Στοιχείο προστασίας που ενεργοποιήθηκε και χρόνος απόκρισης

Μόλις δώσαμε μέσω της OMICRON τα ρεύματα που αναφέραμε προηγουμένως, ο SEL-587 ενεργοποιήθηκε και μέσω σήματος άνοιξε το διακόπτη CB2 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Τα βήματα που προηγήθηκαν είναι τα εξής:

1. Το Relay Word Bit 51P1T πήρε την τιμή 1, συνεπώς ενεργοποιήθηκε το στοιχείο υπερέντασης φάσης του τυλίγματος 1 (YT).
2. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί event report και το Relay Word Bit TRP1 να πάρει και αυτό την τιμή 1.
3. Τέλος, επειδή TRP3 =1, ενεργοποιήθηκαν και οι δύο έξοδοι OUT1, OUT3 του ηλεκτρονόμου, που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να ανοίξει ο Δ/Ι CB2 (OUT1) και να δοθεί σήμα trip από τους αντίστοιχους ακροδέκτες στην πρόσθια όψη του εργαστηριακού συστήματος (OUT3) προς την OMICRON και κατά συνέπεια στο φορητό υπολογιστή που συλλέγαμε τα αποτελέσματα.

Ο χρόνος που μεσολάβησε μέχρι να ανοίξει ο Δ/Ι CB2 ήταν

$$t_{op} = 0,610 \text{ sec}$$

,όπως καταγράφηκε από το ειδικό λογισμικό της συσκευής OMICRON.

**5.2.4 Μονοφασικό βραχυκύκλωμα προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς**

A. Εισερχόμενα ρεύματα στον ηλεκτρονόμο SEL-587

Στη δοκιμή του ηλεκτρονόμου SEL-587 υπό συνθήκες μονοφασικού σφάλματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς επιβεβαιώσαμε τη λειτουργία του στοιχείου υπερέντασης

ουδετέρου, το οποίο ρυθμίστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευαίσθητο σε σφάλματα γης, με μικρή ή μεγάλη αντίσταση σφάλματος, αλλά και σε έντονα ασύμμετρες καταστάσεις.

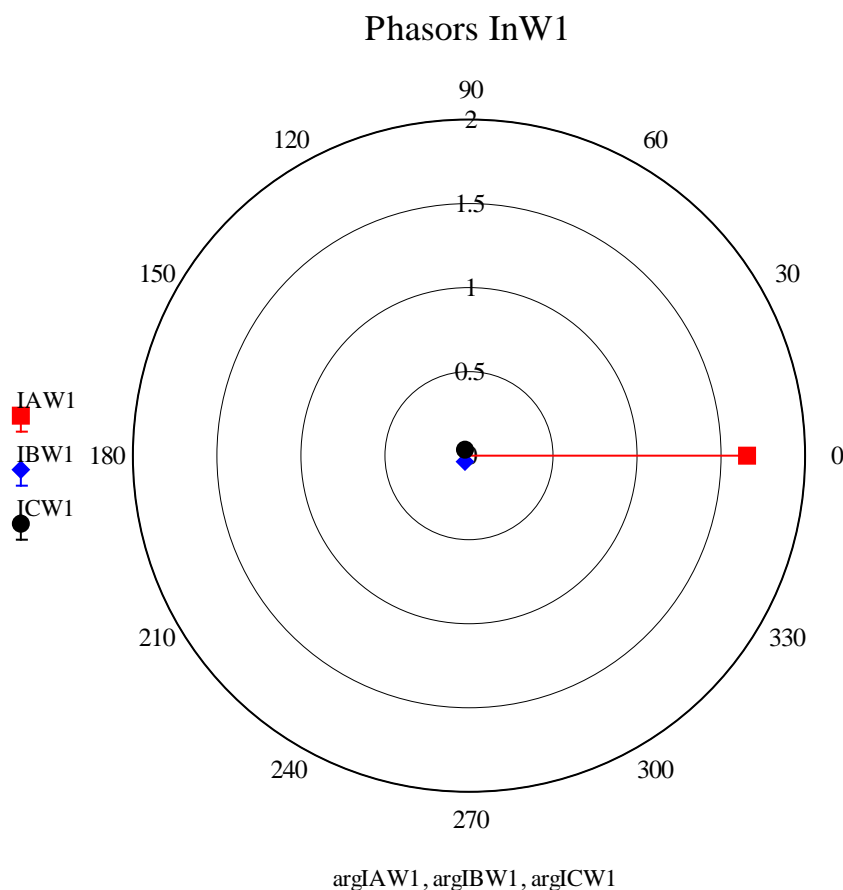
Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές ρεύματος που δόθηκαν μέσω της συσκευής OMICRON και αντιστοιχούν στο μονοφασικό βραχυκύκλωμα προς γη.

Currents	Magnitude (A)	Argument (°)
<b>I<sub>AW1</sub></b>	1,652	0,0
<b>I<sub>BW1</sub></b>	0,044	-120,0
<b>I<sub>CW1</sub></b>	0,047	120,0
<b>I<sub>AW2</sub></b>	1,770	0,0
<b>I<sub>BW2</sub></b>	0,047	-120,0
<b>I<sub>CW2</sub></b>	0,051	120,0

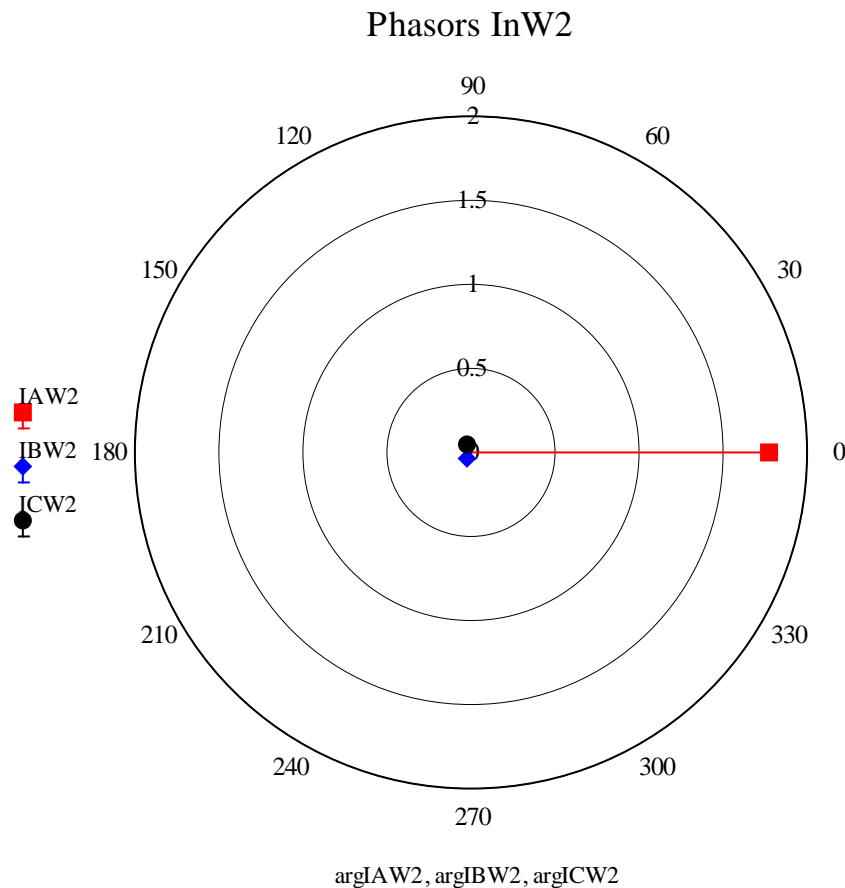
**Πίνακας 5.4:** Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση μονοφασικού σφάλματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς

**B. Διαγράμματα φασιθετών (phasor diagrams)**

Στα επόμενα σχήματα βλέπουμε το πολικό διάγραμμα των φασιθετών (phasors) των ρευμάτων σφάλματος του πίνακα 5.4, που εισέρχονται στον SEL-587.



**Σχήμα 5.13:** Διάγραμμα φασιθετών (1φ σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)



**Σχήμα 5.14:** Διάγραμμα φασιθετών (1φ σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)

Μόλις δόσαμε μέσω της OMICRON τα ρεύματα που αναφέραμε προηγουμένως, ο SEL-587 ενεργοποιήθηκε και μέσω σήματος άνοιξε το διακόπτη CB2 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Τα βήματα που προηγήθηκαν είναι τα εξής:

1. Το Relay Word Bit 51N1T πήρε την τιμή 1, συνεπώς ενεργοποιήθηκε το στοιχείο υπερέντασης ουδετέρου του τυλίγματος 1 (YT).
2. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί event report και το Relay Word Bit TRP1 να πάρει και αυτό την τιμή 1.
3. Τέλος, επειδή TRP3 =1, ενεργοποιήθηκαν και οι δύο έξοδοι OUT1, OUT3 του ηλεκτρονόμου, που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να ανοίξει ο Δ/I CB2 (OUT1) και να δοθεί σήμα trip από τους αντίστοιχους ακροδέκτες στην πρόσθια όψη του εργαστηριακού συστήματος (OUT3) προς την OMICRON και κατά συνέπεια στο φορητό υπολογιστή που συλλέγαμε τα αποτελέσματα.

Ο χρόνος που μεσολάβησε μέχρι να ανοίξει ο Δ/I CB2 ήταν

$$t_{op} = 0,151 \text{ sec}$$

,όπως καταγράφηκε από το ειδικό λογισμικό της συσκευής OMICRON.

### 5.2.5 Διφασικό βραχυκύκλωμα στο 50% της γραμμής μεταφοράς

#### A. Εισερχόμενα ρεύματα στον ηλεκτρονόμο SEL-587

Στην περίπτωση του διφασικού σφάλματος επαληθεύσαμε τη λειτουργία του στοιχείου υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας. Υπενθυμίζουμε ότι το εν λόγω στοιχείο έχει ρυθμιστεί να είναι το πιο ευαίσθητο στοιχείο προστασίας, κατά τη διάρκεια εκδήλωσης διφασικού βραχυκυκλώματος.

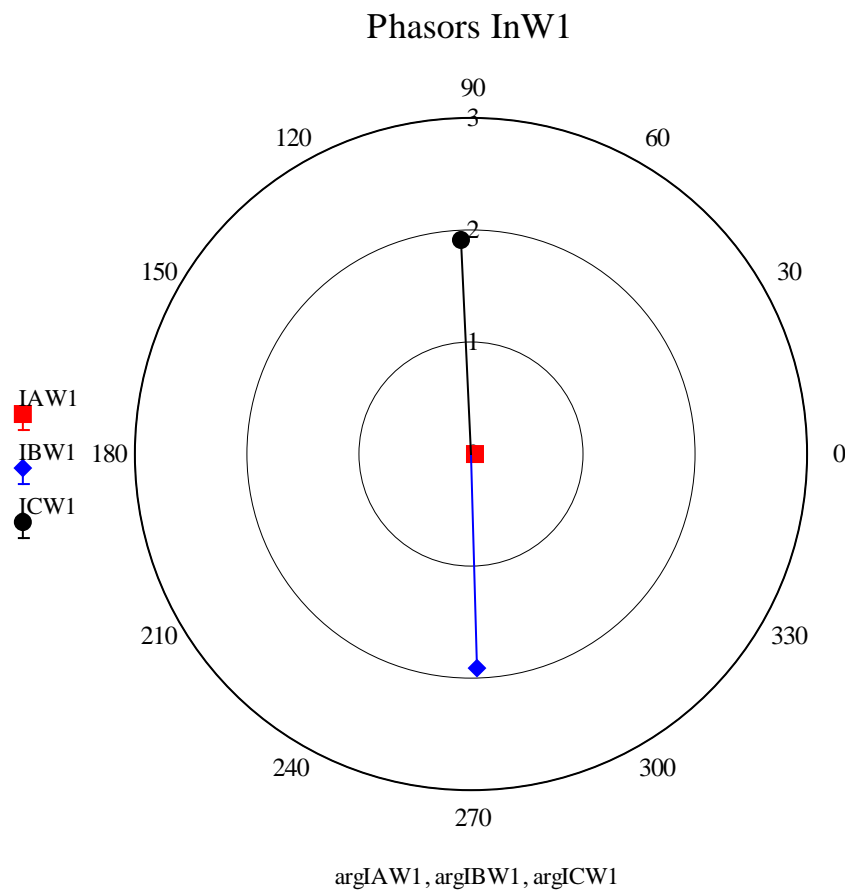
Οι τιμές ρεύματος που δόθηκαν μέσω της συσκευής OMICRON και αντιστοιχούν στο διφασικό σφάλμα χωρίς γη αναγράφονται στον επόμενο πίνακα.

Currents	Magnitude (A)	Argument (°)
<b>I<sub>AW1</sub></b>	0,039	9,3
<b>I<sub>BW1</sub></b>	1,913	-88,2
<b>I<sub>CW1</sub></b>	1,909	92,9
<b>I<sub>AW2</sub></b>	0,041	9,3
<b>I<sub>BW2</sub></b>	2,050	-88,2
<b>I<sub>CW2</sub></b>	2,045	92,9

*Πίνακας 5.5: Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση διφασικού σφάλματος χωρίς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς*

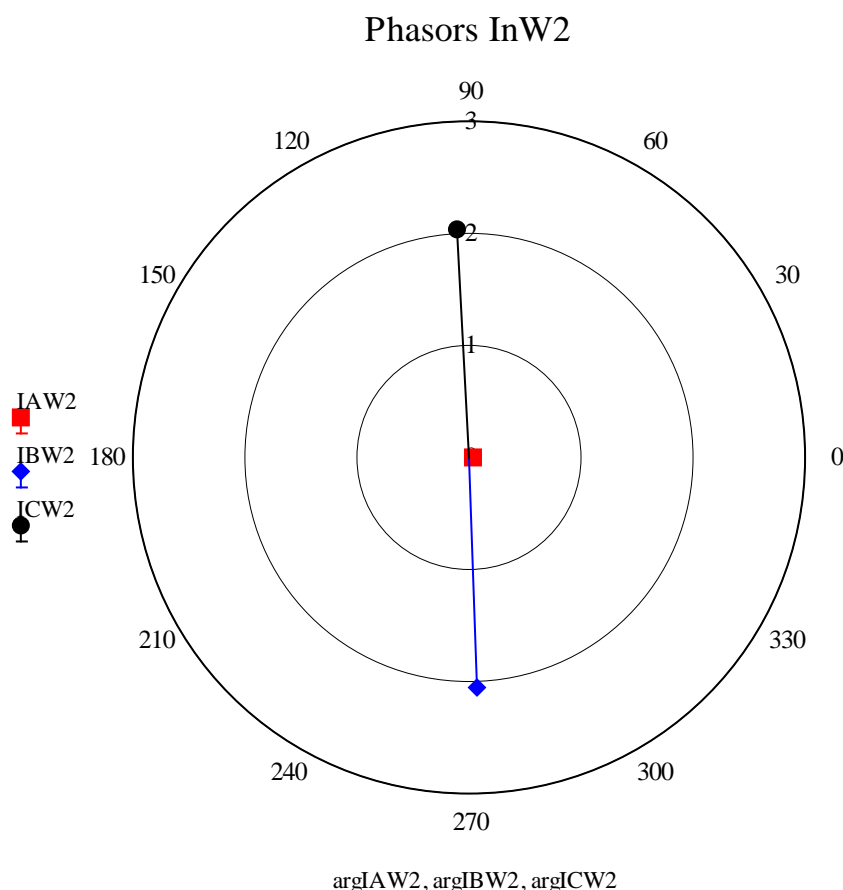
**Β. Διαγράμματα φασιθετών (phasor diagrams)**

Στα επόμενα σχήματα βλέπουμε το πολικό διάγραμμα των φασιθετών (phasors) των ρευμάτων σφάλματος του πίνακα 5.5, που εισέρχονται στον SEL-587.



*Σχήμα 5.15: Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)*





**Σχήμα 5.16:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)

#### Γ. Στοιχείο προστασίας που ενεργοποιήθηκε και χρόνος απόκρισης

Μόλις δώσαμε μέσω της OMICRON τα ρεύματα που αναφέραμε προηγουμένως, ο SEL-587 ενεργοποιήθηκε και μέσω σήματος άνοιξε το διακόπτη CB2 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Τα βήματα που προηγήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

1. Το Relay Word Bit 51Q1T πήρε την τιμή 1, συνεπώς ενεργοποιήθηκε το στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας του τυλίγματος 1 (YT).
2. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί event report και το Relay Word Bit TRP1 να πάρει και αυτό την τιμή 1.
3. Τέλος, επειδή TRP3 =1, ενεργοποιήθηκαν και οι δύο έξοδοι OUT1, OUT3 του ηλεκτρονόμου, που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να ανοίξει ο Δ/I CB2 (OUT1) και να δοθεί σήμα trip από τους αντίστοιχους ακροδέκτες στην πρόσθια όψη του εργαστηριακού συστήματος (OUT3) προς την OMICRON και κατά συνέπεια στο φορητό υπολογιστή που συλλέγαμε τα αποτελέσματα.

Ο χρόνος που μεσολάβησε μέχρι να ανοίξει ο Δ/I CB2 ήταν

$$t_{op} = 0,261 \text{ sec}$$

,όπως καταγράφηκε από το ειδικό λογισμικό της συσκευής OMICRON.

#### 5.2.6 Διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς

##### A. Εισερχόμενα ρεύματα στον ηλεκτρονόμο SEL-587

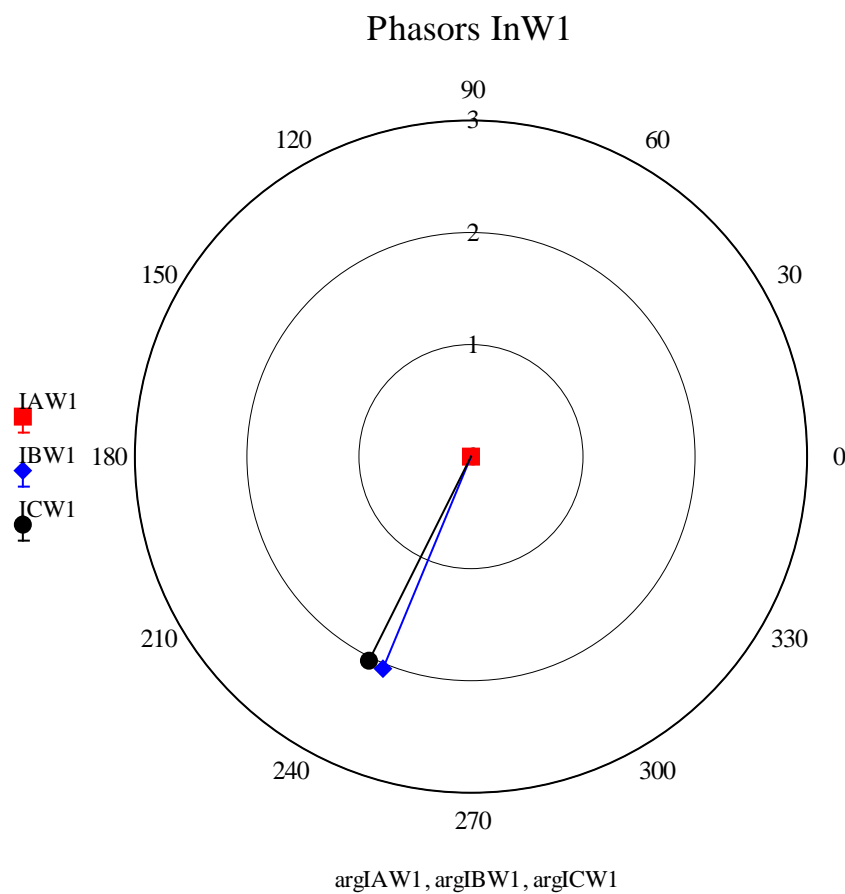
Στη δοκιμή του SEL-587 υπό συνθήκες διφασικού βραχυκυκλώματος προς γη επιβεβαιώσαμε την ενεργοποίηση του στοιχείου υπερέντασης ουδετέρου. Τα ρεύματα που δόθηκαν μέσω της OMICRON στον ηλεκτρονόμο βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Currents	Magnitude (A)	Argument (°)
<b>I<sub>AW1</sub></b>	0,007	0,0
<b>I<sub>BW1</sub></b>	2,051	-112,3
<b>I<sub>CW1</sub></b>	2,031	-116,8
<b>I<sub>AW2</sub></b>	0,007	0,0
<b>I<sub>BW2</sub></b>	2,197	-112,3
<b>I<sub>CW2</sub></b>	2,176	-116,8

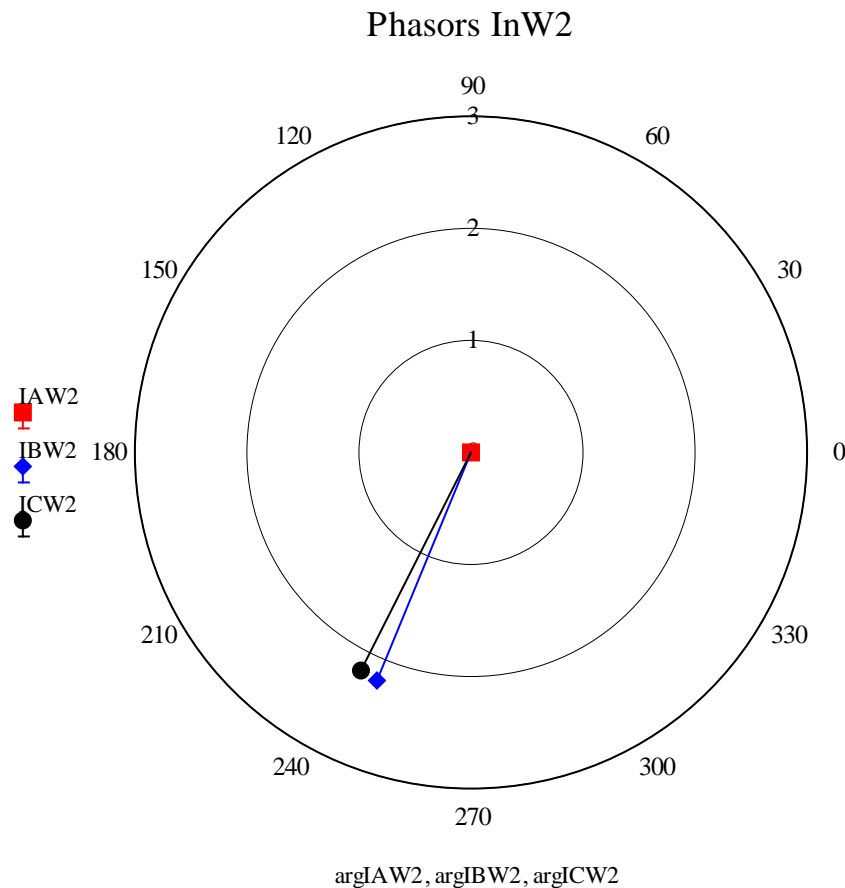
*Πίνακας 5.6: Ρεύματα ρύθμισης συσκευής OMICRON, για προσομοίωση διφασικού σφάλματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς*

**Β. Διαγράμματα φασιθετών (phasor diagrams)**

Στα επόμενα σχήματα βλέπουμε το πολικό διάγραμμα των φασιθετών (phasors) των ρευμάτων σφάλματος του πίνακα 5.6, που εισέρχονται στον SEL-587.



*Σχήμα 5.17: Διάγραμμα φασιθετών (2φ προς γη σφάλμα, τύλιγμα 1, προστασία υπερέντασης)*



**Σχήμα 5.18:** Διάγραμμα φασιθετών (2φ προς γη σφάλμα, τύλιγμα 2, προστασία υπερέντασης)

Γ. Στοιχείο προστασίας που ενεργοποιήθηκε και χρόνος απόκρισης

Μόλις δώσαμε μέσω της OMICRON τα ρεύματα που αναφέραμε προηγουμένως, ο SEL-587 ενεργοποιήθηκε και μέσω σήματος άνοιξε το διακόπτη CB2 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Τα βήματα που προηγήθηκαν είναι όμοια με το 4<sup>ο</sup> σενάριο.

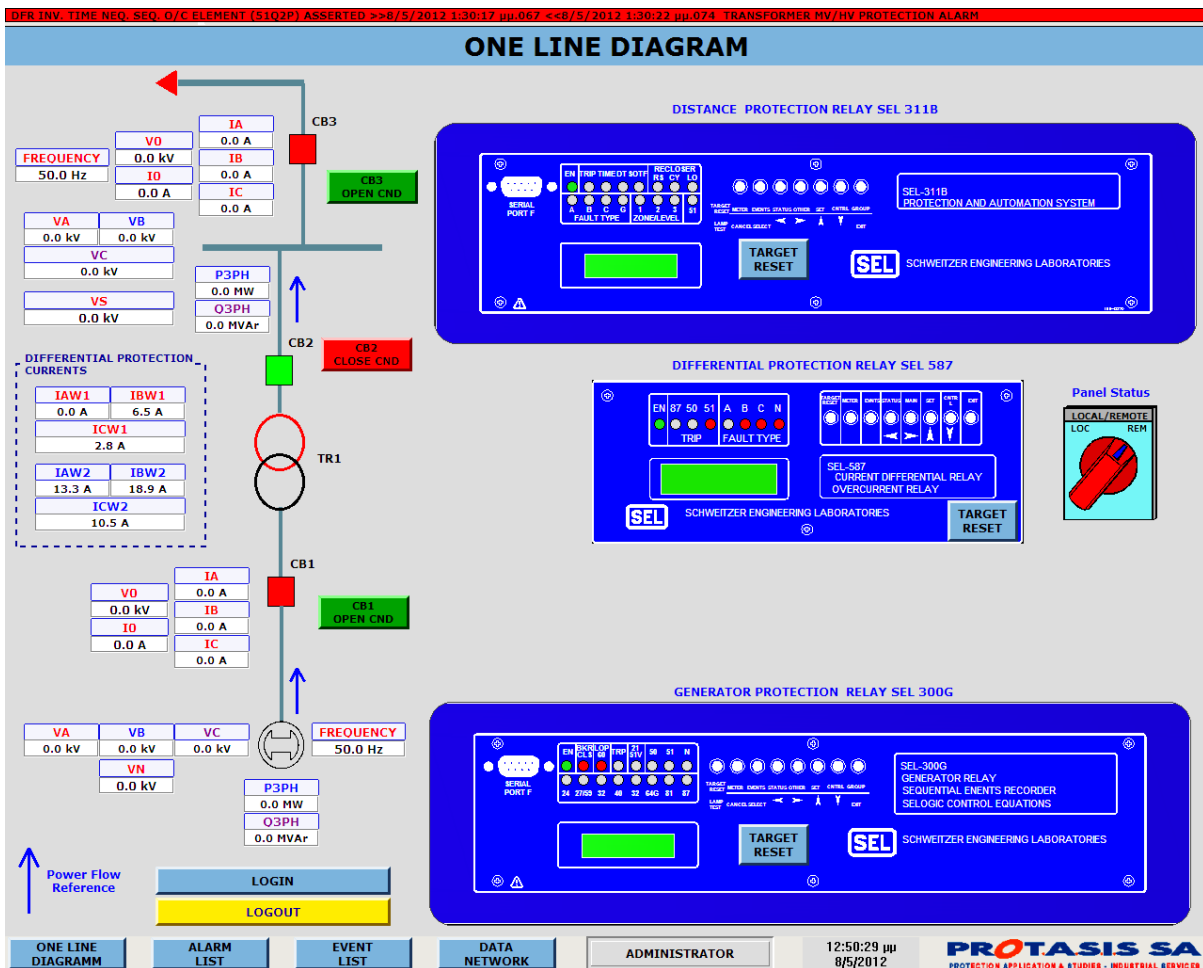
1. Το Relay Word Bit 51N1T πήρε την τιμή 1, συνεπώς ενεργοποιήθηκε το στοιχείο υπερέντασης ουδετέρου του τυλίγματος 1 (YT).
2. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί event report και το Relay Word Bit TRP1 να πάρει και αυτό την τιμή 1.
3. Τέλος, επειδή TRP3 =1, ενεργοποιήθηκαν και οι δύο έξοδοι OUT1, OUT3 του ηλεκτρονόμου, που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να ανοίξει ο Δ/Ι CB2 (OUT1) και να δοθεί σήμα trip από τους αντίστοιχους ακροδέκτες στην πρόσθια όψη του εργαστηριακού συστήματος (OUT3) προς την OMICRON και κατά συνέπεια στο φορητό υπολογιστή που συλλέγαμε τα αποτελέσματα.

Ο χρόνος που μεσολάβησε μέχρι να ανοίξει ο Δ/Ι CB2 ήταν

$$t_{op} = 0,076 \text{ sec}$$

,όπως καταγράφηκε από το ειδικό λογισμικό της συσκευής OMICRON.

Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνεται η οθόνη του SCADA, αμέσως μετά την ενεργοποίηση του SEL-587 λόγω της δοκιμής διαφασικού σφάλματος προς γη. Παρατηρούμε ότι ο Δ/Ι CB2 είναι ανοικτός (πράσινο χρώμα), λόγω εντολής του ηλεκτρονόμου και οι λυχνίες 51 (είδος προστασίας), B,C,N (φάσεις που εμπλέκονται στο σφάλμα) του SEL-587 έχουν κόκκινη ένδειξη, οι οποίες δείχνουν την κατάσταση που ενεργοποίησε τον ηλεκτρονόμο.



Εικόνα 5.4: Οθόνη SCADA έπειτα από λειτουργία του SEL-587, λόγω διαφασικού σφάλματος προς γη

### 5.3 Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών χρόνων λειτουργίας του ηλεκτρονόμου SEL-587

Στην ενότητα αυτή, θα υπολογίσουμε τους αναμενόμενους χρόνους λειτουργίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του SEL-587 για τη διαφορική προστασία και με τις καμπύλες που ορίσαμε για την προστασία υπερέντασης και θα τους συγκρίνουμε με τους χρόνους που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών στο εργαστηριακό σύστημα.

#### 5.3.1 Σενάρια λειτουργίας διαφορική προστασίας (δοκιμές 1,2)

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ηλεκτρονόμου SEL-587, ο χρόνος απόκρισης των διαφορικών στοιχείων με λειτουργία αναστολής που διαθέτει, είναι

$$t_{op,87R} = 2,2 - 2,8 \text{ cycles} = 0,044 - 0,056 \text{ sec}$$

με τυπική τιμή

$$t_{op,87R(typ)} = 2,6 \text{ cycles} = 0,052 \text{ sec}$$

#### 5.3.2 Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης φάσης σε τριφασικό βραχυκύκλωμα (δοκιμή 3)

Υπενθυμίζουμε ότι η καμπύλη που έχουμε ορίσει για το στοιχείο υπερέντασης φάσης του τυλίγματος 1 δίνεται από τη σχέση:

$$t_{op,51P} = 0,73 \cdot \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{\left(\frac{I}{1,2}\right)^{0,02} - 1} \right], \text{ σε sec (5.1)}$$

Για τιμή ρεύματος σφάλματος ίση με  $I_{3\phi} = 2,263 \text{ A}$ , προκύπτει από την εξίσωση (5.1) ο ακόλουθος χρόνος λειτουργίας:

$$t_{op,51P} = 0,73 \cdot \left[ 0,0226 + \frac{0,0104}{\left(\frac{2,263}{1,2}\right)^{0,02} - 1} \right] = 0,611 \text{ sec}$$

### 5.3.3 Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης ουδετέρου σε μονοφασικό βραχυκύκλωμα προς γη (δοκιμή 4)

Η καμπύλη που έχουμε ορίσει για το στοιχείο υπερέντασης ουδετέρου του τυλίγματος 1 δίνεται από τη σχέση:

$$t_{op,51N} = 0,16 \cdot \left[ \frac{13,5}{\frac{I}{0,1} - 1} \right], \text{ σε sec (5.2)}$$

Το ρεύμα κατωφλίου ( $I_{pu}$ ) που χρησιμοποιούμε στη σχέση (5.2) είναι η τιμή  $3I_0$ , που προκύπτει από τα ρεύματα των φάσεων κατά τη διάρκεια του σφάλματος. Στην περίπτωσή μας έχουμε:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_A = 1,652 \angle 0,0^\circ \\ I_B = 0,044 \angle -120,0^\circ \\ I_C = 0,047 \angle 120,0^\circ \end{array} \right\} \xrightarrow{3I_0 = I_A + I_B + I_C} 3I_0 = 1,607 \text{ A}$$

Για την τιμή κατωφλίου  $3I_0 = 1,607 \text{ A}$ , προκύπτει από την εξίσωση (5.2) ο ακόλουθος χρόνος λειτουργίας:

$$t_{op,51N} = 0,16 \cdot \left[ \frac{13,5}{\frac{1,607}{0,1} - 1} \right] = 0,143 \text{ sec}$$

### 5.3.4 Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας σε διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη (δοκιμή 5)

Η καμπύλη που έχουμε ορίσει για το στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας του τυλίγματος 1 δίνεται από τη σχέση:

$$t_{op,51Q} = 1,98 \cdot \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{\left(\frac{I}{0,3}\right)^2 - 1} \right], \text{ σε sec (5.3)}$$

Το ρεύμα κατωφλίου ( $I_{pu}$ ) που χρησιμοποιούμε στη σχέση (5.3) είναι η τιμή  $3I_2$ , που προκύπτει από τα ρεύματα των φάσεων κατά τη διάρκεια του σφάλματος. Στην περίπτωσή μας έχουμε:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_A = 0,039 \angle 9,3^\circ \\ I_B = 1,913 \angle -88,2^\circ \\ I_C = 1,909 \angle 92,9^\circ \end{array} \right\} \xrightarrow{3I_2 = I_A + a^2 I_B + a I_C} 3I_2 = 3,253 \text{ A}$$

Για την τιμή κατωφλίου  $3I_2 = 3,253 \text{ A}$ , προκύπτει από την εξίσωση (5.3) ο ακόλουθος χρόνος λειτουργίας:

$$t_{op,51Q} = 1,98 \cdot \left[ 0,0963 + \frac{3,88}{\left(\frac{3,253}{0,3}\right)^2 - 1} \right] = 0,257 \text{ sec}$$

### 5.3.5 Σενάριο λειτουργίας στοιχείου υπερέντασης ουδετέρου σε διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη (δοκιμή 6)

Η καμπύλη που έχουμε ορίσει για το στοιχείο υπερέντασης ουδετέρου του τυλίγματος 1, όπως προείπαμε, δίνεται από τη σχέση (5.2).

Το ρεύμα κατωφλίου ( $I_{pu}$ ) που χρησιμοποιούμε στη σχέση (5.2) είναι η τιμή  $3I_0$ , που προκύπτει από τα ρεύματα των φάσεων κατά τη διάρκεια του σφάλματος. Στην περίπτωση μας έχουμε:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_A = 0,007 \angle 0,0^\circ \\ I_B = 2,051 \angle -112,3^\circ \\ I_C = 2,031 \angle -116,8^\circ \end{array} \right\} \xrightarrow{3I_0 = I_A + I_B + I_C} 3I_0 = 4,076 \text{ A}$$

Για την τιμή κατωφλίου  $3I_0 = 4,076 \text{ A}$ , προκύπτει από την εξίσωση (5.2) ο ακόλουθος χρόνος λειτουργίας:

$$t_{op,51N} = 0,16 \cdot \left[ \frac{13,5}{\frac{4,076}{0,1} - 1} \right] = 0,054 \text{ sec}$$

### 5.3.6 Πίνακας αποτελεσμάτων

Στον πίνακα που ακολουθεί, έχουμε καταγράψει τους αναμενόμενους (θεωρητικούς) χρόνους λειτουργίας του ηλεκτρονόμου SEL-587 καθώς και αυτούς που προέκυψαν κατά τη διαδικασία των δοκιμών στο εργαστηριακό σύστημα, τους οποίους αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα.

A/A Δοκιμών	Είδος σφάλματος	Είδος προστασίας (στοιχείο που ενεργοποιείται)	Πραγματικός χρόνος λειτουργίας (sec)	Θεωρητικός χρόνος λειτουργίας (sec)
1.	Τριφασικό	Διαφορική (87R)	0,051	0,052
2.	Διφασικό χωρίς γη	Διαφορική (87R)	0,052	0,052
3.	Τριφασικό	Υπερέντασης (51P)	0,610	0,611
4.	Μονοφασικό προς γη	Υπερέντασης (51N)	0,151	0,143
5.	Διφασικό χωρίς γη	Υπερέντασης (51Q)	0,261	0,257
6.	Διφασικό προς γη	Υπερέντασης (51N)	0,076	0,054

**Πίνακας 5.7:** Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών χρόνων λειτουργίας του SEL-587

Παρατηρώντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα, συμπεραίνουμε ότι οι πραγματικοί χρόνοι στην ουσία ταυτίζονται με τους θεωρητικούς, όσον αφορά το διαφορικό στοιχείο 87R και το

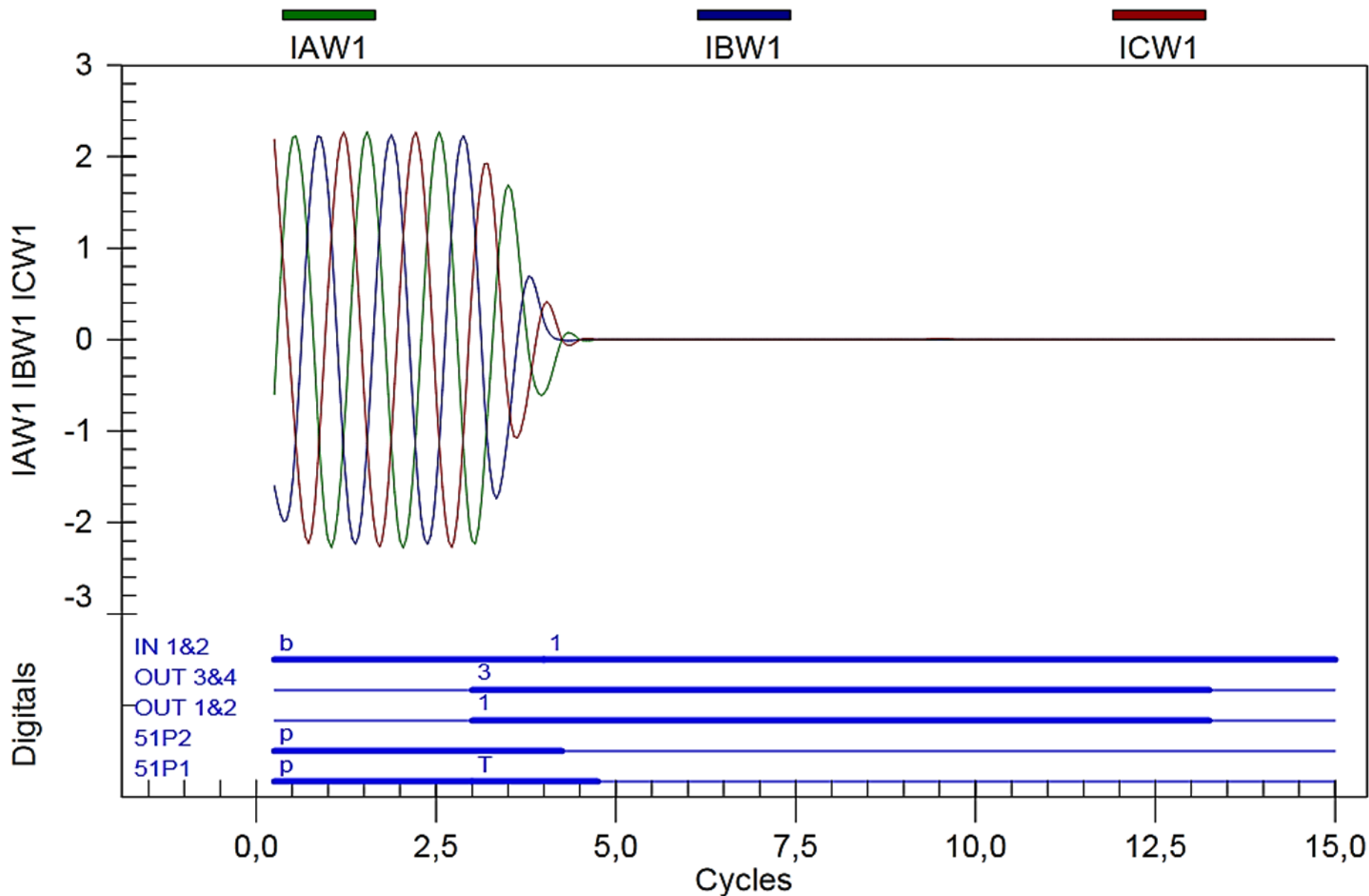
στοιχείο υπερέντασης φάσης. Στα στοιχεία υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας και ουδετέρου παρατηρούμε πολύ μικρές αποκλίσεις, οι οποίες μάλιστα αυξάνουν, όσο ο χρόνος λειτουργίας μειώνεται. Αυτό οφείλεται στην ακρίβεια των χρονικών που διαθέτουν τα στοιχεία υπερέντασης, η οποία μειώνεται όσο μειώνεται ο χρόνος λειτουργίας τους, καθώς και στο χρόνο μετάδοσης του σήματος ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου προς τη συσκευή OMICRON.

#### **5.4 Παρουσίαση και περιγραφή παραδειγμάτων *Event Report* του ηλεκτρονόμου SEL-587**

Σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που έχουμε κάνει στον SEL-587, μόλις ενεργοποιείται ένα στοιχείο προστασίας (διαφορικό ή υπερέντασης), το Relay Word Bit TRP3 παίρνει την τιμή 1, όπως περιγράψαμε στην ενότητα 5.2, με αποτέλεσμα την αποστολή σήματος για δημιουργία αναφοράς γεγονότος (*Event Report*) 15 κύκλων. Με τη βοήθεια του προγράμματος AcSELarator® QuickSet μπορούμε να αποκτήσουμε την αναφορά αυτή, εφόσον υπάρχει επικοινωνία με τον ηλεκτρονόμο, μέσω τερματικού. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση της λειτουργίας *Get Event Files*, που διαθέτει το συγκεκριμένο λογισμικό. Με αυτόν τον τρόπο αποκτούμε το παλμογράφημα (*oscillograph*) των ρευμάτων σφάλματος, καθώς και πληροφορίες για την κατάσταση των Relay Word Bits, που σχετίζονται με τα αντίστοιχα στοιχεία προστασίας.

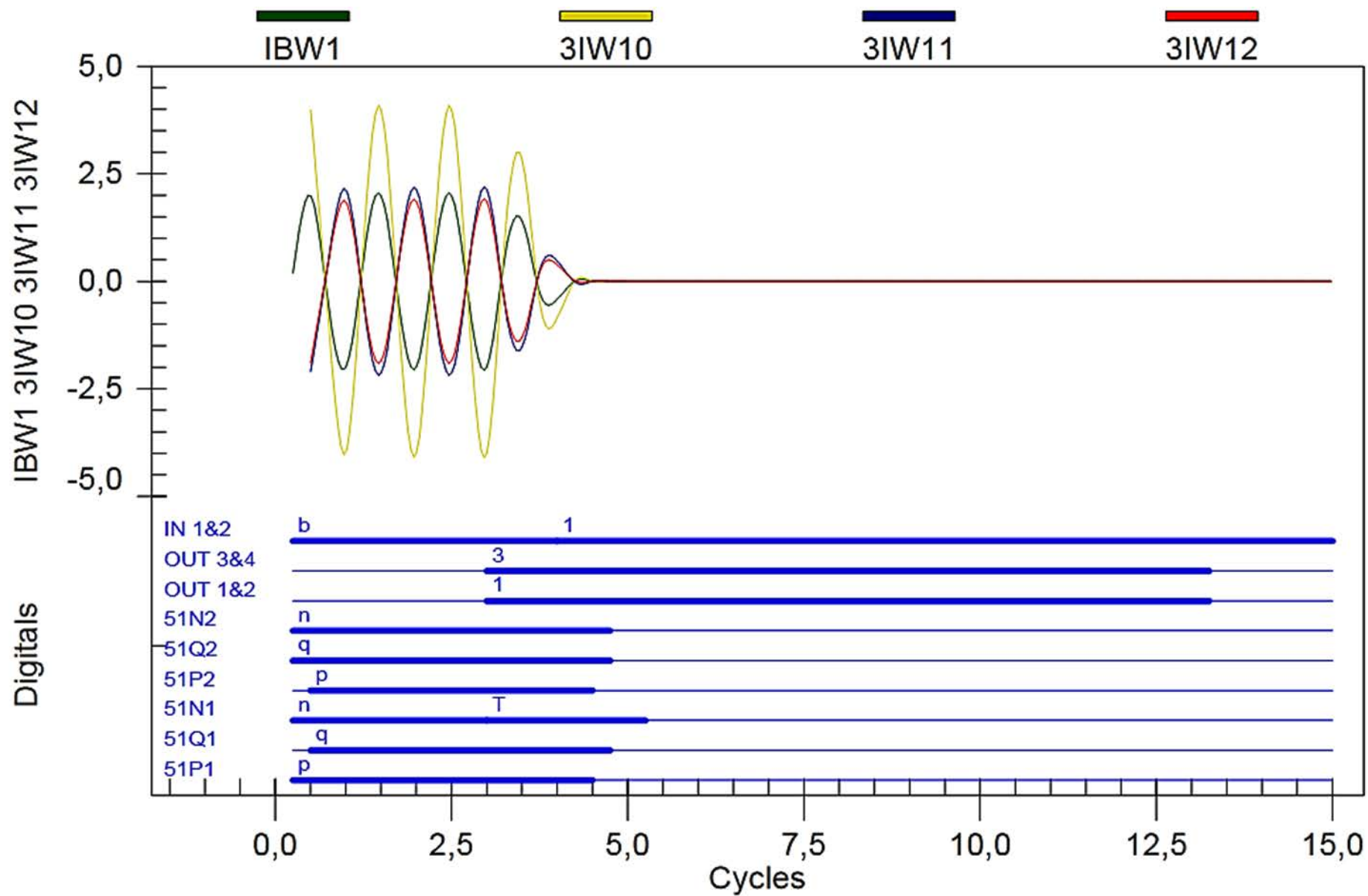
##### **5.4.1 Παλμογραφήματα (*oscillographs*)**

Στη συνέχεια, δείχνουμε τις εικόνες των παλμογραφημάτων που λάβαμε κατά τη διάρκεια των δοκιμών τριφασικού και διφασικού προς γη σφάλματος στο 50% της γραμμής μεταφοράς και περιγράφουμε τις πληροφορίες που μας δίνονται. Σημειώνουμε ότι η απεικόνιση και η επεξεργασία τέτοιου είδους παλμογραφημάτων γίνεται με τη βοήθεια του λογισμικού AcSELarator® Analytic Assistant, το οποίο παρέχεται δωρεάν, όπως και το AcSELarator® QuickSet, στο site της εταιρείας SEL [38].



Εικόνα 5.5: Παλμογράφημα 15 κύκλων τριφασικού σφάλματος στο 50% της γραμμής μεταφοράς





Εικόνα 5.6: Παλμογράφημα 15 κύκλων διαστικού σφάλματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς

Παλμογράφημα τριφασικού σφάλματος

Στην εικόνα 5.5 φαίνεται το παλμογράφημα των ρευμάτων κατά τη διάρκεια του τριφασικού σφάλματος στο 50% της γραμμής μεταφοράς. Έχουμε απεικονίσει τα ρεύματα των τριών φάσεων του τυλίγματος 1 (YT), καθώς και της ψηφιακές ποσότητες που αφορούν τα Relay Word Bits των στοιχείων που ενεργοποιούνται. Πιο συγκεκριμένα:

- Στην αρχή του παλμογραφήματος βλέπουμε ότι ενεργοποιούνται ταυτόχρονα (σύμβολο p) τα στοιχεία 51P1, 51P2 και οι είσοδοι IN1&2 έχουν την τιμή 1 (σύμβολο b), μιας και οι Δ/Ι CB1, CB2 είναι κλειστοί.
- Μετά από 3 κύκλους περίπου, το στοιχείο 51P1, λόγω επιλογικότητας, δίνει σήμα για άνοιγμα (trip) του διακόπτη CB2 (σύμβολο T). Στην ουσία το Relay Word Bit TRP1 παίρνει την τιμή 1 και ενεργοποιεί τις επαφές εξόδου OUT1, OUT3 (για το λόγο αυτό εμφανίζονται οι τιμές 1 και 3 πάνω από τις ψηφιακές ποσότητες OUT1&2 και OUT3&4 αντίστοιχα).
- Έπειτα από 1,5 κύκλο περίπου ο Δ/Ι CB2 έχει ανοίξει και η τιμή της ποσότητας IN1&2 γίνεται 1, που σημαίνει ότι μόνο ο Δ/Ι CB1 είναι κλειστός.
- Επιπλέον, επισημαίνουμε ότι οι γραμμές των ψηφιακών ποσοτήτων είναι έντονες όταν έχουν την τιμή 1 και λεπτές, όταν η τιμή τους είναι 0.

Παλμογράφημα διφασικού σφάλματος προς γη

Η εικόνα 5.6 δείχνει το παλμογράφημα των ρευμάτων κατά τη διάρκεια διφασικού βραχυκυκλώματος προς γη στο 50% της γραμμής μεταφοράς. Έχουμε απεικονίσει το ρεύμα της φάσης B, τα ρεύματα ακολουθίας (μηδενικής, θετικής, αρνητικής) που προκύπτουν και αφορούν το τυλίγμα 1 (YT), καθώς και τις ψηφιακές ποσότητες που σχετίζονται με τα Relay Word Bits των στοιχείων που ενεργοποιούνται. Πιο αναλυτικά:

- Στην αρχή του παλμογραφήματος βλέπουμε ότι ενεργοποιούνται σχεδόν ταυτόχρονα (σύμβολα p, q, n) όλα τα στοιχεία υπερέντασης των δύο τυλιγμάτων 51P1, 51P2 και οι είσοδοι IN1&2 έχουν την τιμή 1 (σύμβολο b), μιας και οι Δ/Ι CB1, CB2 είναι κλειστοί.
- Έπειτα από περίπου 3 κύκλους, το στοιχείο 51N1, λόγω επιλογικότητας, δίνει σήμα για άνοιγμα (trip) του διακόπτη CB2 (σύμβολο T). Και σε αυτήν την περίπτωση, το Relay Word Bit TRP1 παίρνει την τιμή 1 και ενεργοποιεί τις επαφές εξόδου OUT1, OUT3 (για το λόγο αυτό εμφανίζονται οι τιμές 1 και 3 πάνω από τις ψηφιακές ποσότητες OUT1&2 και OUT3&4 αντίστοιχα).
- Έπειτα από 2 κύκλους περίπου ο Δ/Ι CB2 έχει ανοίξει και η τιμή της ποσότητας IN1&2 γίνεται 1, που σημαίνει ότι μόνο ο Δ/Ι CB1 είναι κλειστός.

**5.4.2 Αναλυτικές αναφορές γεγονότος**

Κλείνοντας το κεφάλαιο των δοκιμών, παραθέτουμε τις αναφορές γεγονότων των δύο περιπτώσεων που εξετάσαμε, σε μορφή κειμένου αναλυτικών πληροφοριών, όπως τις αποκτήσαμε μέσω της εντολής EVE n, που δώσαμε στον ηλεκτρονόμο SEL-587 με τη βοήθεια τερματικού. Αναλυτικές πληροφορίες, που αφορούν τη δομή και τη σημασία των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στις ακόλουθες αναφορές, υπάρχουν στην ενότητα 3.5.

**Event Report τριφασικού σφάλματος**

SEL-587-1  
PANEL

Date: 05/08/12 Time: 12:58:12.764

FID=SEL-587-1-R703-V1b-Z001001-D20061005

								Relay Elements			OUT	IN	
Winding 1				Winding 2				555555	555555	888	A		
Amps Sec				Amps Sec				111000	111000	777	13L	1	
IRW1	IAW1	IBW1	ICW1	IRW2	IAW2	IBW2	ICW2	PQNPNQ	PQNPNQ	URB	&&R	&	
								111111	222222	L	24M	2	
-0.01	-1.55	-0.67	2.21	-0.00	1.65	0.72	-2.37	p.....	p.....	...	...	b	
-0.01	1.66	-2.17	0.50	0.00	-1.78	2.32	-0.54	p.....	p.....	...	...	b	
0.01	1.55	0.67	-2.20	0.00	-1.65	-0.72	2.37	p.....	p.....	...	...	b	
0.00	-1.67	2.17	-0.50	-0.00	1.77	-2.32	0.54	p.....	p.....	...	...	b	
-0.01	-1.55	-0.67	2.20	-0.00	1.65	0.72	-2.37	p.....	p.....	...	...	b	
-0.01	1.66	-2.17	0.50	0.00	-1.77	2.32	-0.55	p.....	p.....	...	...	b	
0.01	1.55	0.67	-2.20	0.00	-1.65	-0.72	2.37	p.....	p.....	...	...	b	
0.00	-1.66	2.17	-0.50	0.00	1.78	-2.32	0.54	p.....	p.....	...	...	b	
-0.02	-1.55	-0.67	2.20	-0.00	1.65	0.72	-2.37	p.....	p.....	...	...	b	
-0.01	1.66	-2.17	0.50	-0.00	-1.78	2.32	-0.55	p.....	p.....	...	...	b	
0.02	1.55	0.67	-2.20	0.00	-1.65	-0.72	2.37	p.....	p.....	...	...	b	
0.00	-1.67	2.17	-0.50	-0.00	1.77	-2.32	0.54	T.....	p.....	...	13.	b	
-0.03	-1.22	-0.68	1.86	0.01	1.26	0.74	-1.99	T.....	p.....	...	13.	b	
-0.00	1.39	-1.52	0.13	-0.00	-1.47	1.61	-0.14	T.....	p.....	...	13.	b	
0.02	0.44	0.34	-0.76	-0.02	-0.44	-0.38	0.80	T.....	p.....	...	13.	b	
-0.00	-0.56	0.43	0.12	0.01	0.58	-0.45	-0.13	T.....	pq.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Tq....	.q....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Tq....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.q....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	

[Όμοια στους επόμενους 7 κύκλους]

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1

Event: TRP1 Targets: 51 A B C Duration: 1.50 cyc  
 Winding 1 Currents (A Sec), ABCQN: 2.27 2.27 2.26 0.01 0.02  
 Winding 2 Currents (A Sec), ABCQN: 2.18 2.44 2.06 0.50 0.01

RID =SEL-587-1  
 TID =PANEL  
 MVA = 360.0 VWDG1 = 150.00 VWDG2 = 21.00  
 TRCON = YY CTCN = YY CTR1 = 1500 CTR2 = 10000  
 DATC = OFF



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

```

0.03  0.00  0.03  0.56  0.65  0.78  0.03  0.03  .....  .....  *.....  ....  13.  1
0.01  0.00  0.01  0.56  0.17  0.38  0.02  0.00  .....  .....  *.....  ....  13.  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  *.....  ....  13.  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  *.....  ....  13.  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  *.....  ....  13.  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  *.....  ....  13.  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  *.....  ....  13.  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  *.....  ....  13.  1

```

[Όμοια στους επόμενους 7 κύκλους]

```

0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1

0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1
0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  .....  .....  .....  .....  ...  1

```

```

Event: TRP1                Targets: 51 A B C                Duration: 1.50 cyc
Winding 1 Currents (A Sec), ABCQN: 2.27      2.27      2.26      0.01  0.02
Winding 2 Currents (A Sec), ABCQN: 2.18      2.44      2.06      0.50  0.01

```

**Event Report διαφασικού σφάλματος προς γη**

SEL-587-1  
PANEL

Date: 05/08/12 Time: 12:32:04.926

FID=SEL-587-1-R703-V1b-Z001001-D20061005

								Relay Elements			OUT	IN	
Winding 1				Winding 2				555555	555555	888	A		
Amps Sec				Amps Sec				111000	111000	777	13L	1	
								PQNPQN	PQNPQN	URB	&&R	&	
IRW1	IAW1	IBW1	ICW1	IRW2	IAW2	IBW2	ICW2	111111	222222	L	24M	2	
0.25	-0.01	0.19	0.07	-0.30	0.00	-0.22	-0.09	p.n...	.qn...	...	...	b	
3.99	-0.00	1.99	2.00	-4.29	0.00	-2.14	-2.15	pqn...	pqn...	...	...	b	
-0.85	0.01	-0.51	-0.35	0.91	-0.00	0.54	0.37	pqn...	pqn...	...	...	b	
-3.99	0.00	-1.99	-2.00	4.28	-0.00	2.13	2.15	pqn...	pqn...	...	...	b	
0.85	-0.01	0.51	0.35	-0.91	0.00	-0.55	-0.37	pqn...	pqn...	...	...	b	
3.99	-0.00	1.99	2.00	-4.28	0.00	-2.13	-2.15	pqn...	pqn...	...	...	b	
-0.85	0.01	-0.51	-0.35	0.91	-0.00	0.54	0.37	pqn...	pqn...	...	...	b	
-3.99	0.00	-1.99	-2.00	4.28	-0.00	2.13	2.15	pqn...	pqn...	...	...	b	
0.85	-0.01	0.51	0.35	-0.92	0.00	-0.55	-0.37	pqn...	pqn...	...	...	b	
3.99	-0.00	1.99	2.00	-4.28	0.00	-2.13	-2.15	pqn...	pqn...	...	...	b	
-0.85	0.01	-0.51	-0.35	0.92	0.00	0.55	0.37	pqn...	pqn...	...	...	b	
-3.99	0.00	-1.99	-2.00	4.28	-0.00	2.13	2.15	pqT...	pqn...	...	13.	b	
0.89	-0.01	0.52	0.39	-1.00	0.00	-0.57	-0.43	pqT...	pqn...	...	13.	b	
2.83	-0.00	1.41	1.43	-3.04	0.00	-1.50	-1.54	pqT...	pqn...	...	13.	b	
-0.47	0.00	-0.26	-0.21	0.54	-0.00	0.30	0.25	pqT...	pqn...	...	13.	b	
-0.84	0.00	-0.41	-0.43	0.89	0.00	0.44	0.46	pqT...	pqn...	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	pqT...	pqn...	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.qT...	.qn...	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	..T...	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	..T...	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	13.	1	

**[Όμοια στους επόμενους 7 κύκλους]**

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	...	...	1	

Event: TRP1 Targets: 51 B C N Duration: 2.00 cyc  
 Winding 1 Currents (A Sec), ABCQN: 0.01 2.05 2.02 1.90 4.07  
 Winding 2 Currents (A Sec), ABCQN: 0.01 2.21 2.19 2.06 4.39

RID =SEL-587-1  
 TID =PANEL  
 MVA = 360.0 VWDG1 = 150.00 VWDG2 = 21.00  
 TRCON = YY CTCN = YY CTR1 = 1500 CTR2 = 10000  
 DATC = OFF



[Όμοια στους επόμενους 7 κύκλους]

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	.....	.....	.....	.....	1

Event: TRP1	Targets: 51	B	C	N	Duration:	2.00	cyc
Winding 1 Currents (A Sec), ABCQN:	0.01	2.05	2.02	1.90	4.07		
Winding 2 Currents (A Sec), ABCQN:	0.01	2.21	2.19	2.06	4.39		



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

---

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

Κωδικοποίηση συσκευών και λειτουργιών Σ.Η.Ε. (σύμφωνα με το πρότυπο IEEE Std C37.2™-2008, IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations)

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

Σχέδια καλωδιώσεων των συσκευών του εργαστηριακού συστήματος προστασίας

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**

Φύλλο ρυθμίσεων ηλεκτρονόμου SEL-587

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**

Αναφορά δοκιμών ηλεκτρονόμου SEL-587 με τη συσκευή OMICRON CMC 356

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Device/Function Numbers & Description (Κωδικοί Συσκευών/Λειτουργιών & Περιγραφή)	
1 – Master Element	51 – AC Inverse Time Overcurrent Relay
2 – Time Delay Starting or Closing Relay	52 – AC Circuit Breaker
3 – Checking or Interlocking Relay	53 – Exciter or DC Generator Relay
4 – Master Contactor	54 – Turning Gear Engaging Device
5 – Stopping Device	55 – Power Factor Relay
6 – Starting Circuit Breaker	56 – Field Application Relay
7 – Rate of Change Relay	57 – Short-Circuiting or Grounding Device
8 – Control Power Disconnecting Device	58 – Rectification Failure Relay
9 – Reversing Device	59 – Overvoltage Relay
10 – Unit Sequence Switch	60 – Voltage or Current Balance Relay
11 – Multi-function Device	61 – Density Switch or Sensor
12 – Overspeed Device	62 – Time-Delay Stopping or Opening Relay
13 – Synchronous-speed Device	63 – Pressure Switch
14 – Underspeed Device	64 – Ground Detector Relay
15 – Speed – or Frequency, Matching Device	65 – Governor
16 – Data Communications Device	66 – Notching or Jogging Device
17 – Shunting or Discharge Switch	67 – AC Directional Overcurrent Relay
18 – Accelerating or Decelerating Device	68 – Blocking or "Out-of-Step" Relay
19 – Starting to Running Transition Contactor	69 – Permissive Control Device
20 – Electrically Operated Valve	70 – Rheostat
21 – Distance Relay	71 – Liquid Level Switch
22 – Equalizer Circuit Breaker	72 – DC Circuit Breaker
23 – Temperature Control Device	73 – Load-Resistor Contactor
24 – Volts Per Hertz Relay	74 – Alarm Relay
25 – Synchronizing or Synchronism-Check Device	75 – Position Changing Mechanism
26 – Apparatus Thermal Device	76 – DC Overcurrent Relay
27 – Undervoltage Relay	77 – Telemetering Device
28 – Flame detector	78 – Phase-Angle Measuring Relay
29 – Isolating Contactor or Switch	79 – AC Reclosing Relay
30 – Annunciator Relay	80 – Flow Switch
31 – Separate Excitation Device	81 – Frequency Relay
32 – Directional Power Relay	82 – DC Reclosing Relay
33 – Position Switch	83 – Automatic Selective Control or Transfer Relay
34 – Master Sequence Device	84 – Operating Mechanism
35 – Brush-Operating or Slip-Ring Short-Circuiting Device	85 – Communications, Carrier or Pilot-Wire Relay
36 – Polarity or Polarizing Voltage Devices	86 – Lockout Relay
37 – Undercurrent or Underpower Relay	87 – Differential Protective Relay
38 – Bearing Protective Device	88 – Auxiliary Motor or Motor Generator
39 – Mechanical Condition Monitor	89 – Line Switch

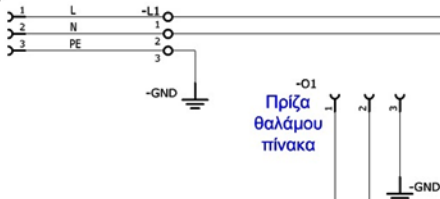
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

---

40 – Field (over/under excitation) Relay	90 – Regulating Device
41 – Field Circuit Breaker	91 – Voltage Directional Relay
42 – Running Circuit Breaker	92 – Voltage and Power Directional Relay
43 – Manual Transfer or Selector Device	93 – Field Changing Contactor
44 – Unit Sequence Starting Relay	94 – Tripping or Trip-Free Relay
45 – Abnormal Atmospheric Condition Monitor	95 – For specific applications where other numbers are not suitable
46 – Reverse-phase or Phase-Balance Current Relay	96 – For specific applications where other numbers are not suitable
47 – Phase-Sequence or Phase-Balance Voltage Relay	97 – For specific applications where other numbers are not suitable
48 – Incomplete Sequence Relay	98 – For specific applications where other numbers are not suitable
49 – Machine or Transformer, Thermal Relay	99 – For specific applications where other numbers are not suitable
50 – Instantaneous Overcurrent Relay	51 – AC Inverse Time Overcurrent Relay

ΣΧΕΔΙΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΩΝ  
ΣΥΣΚΕΥΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

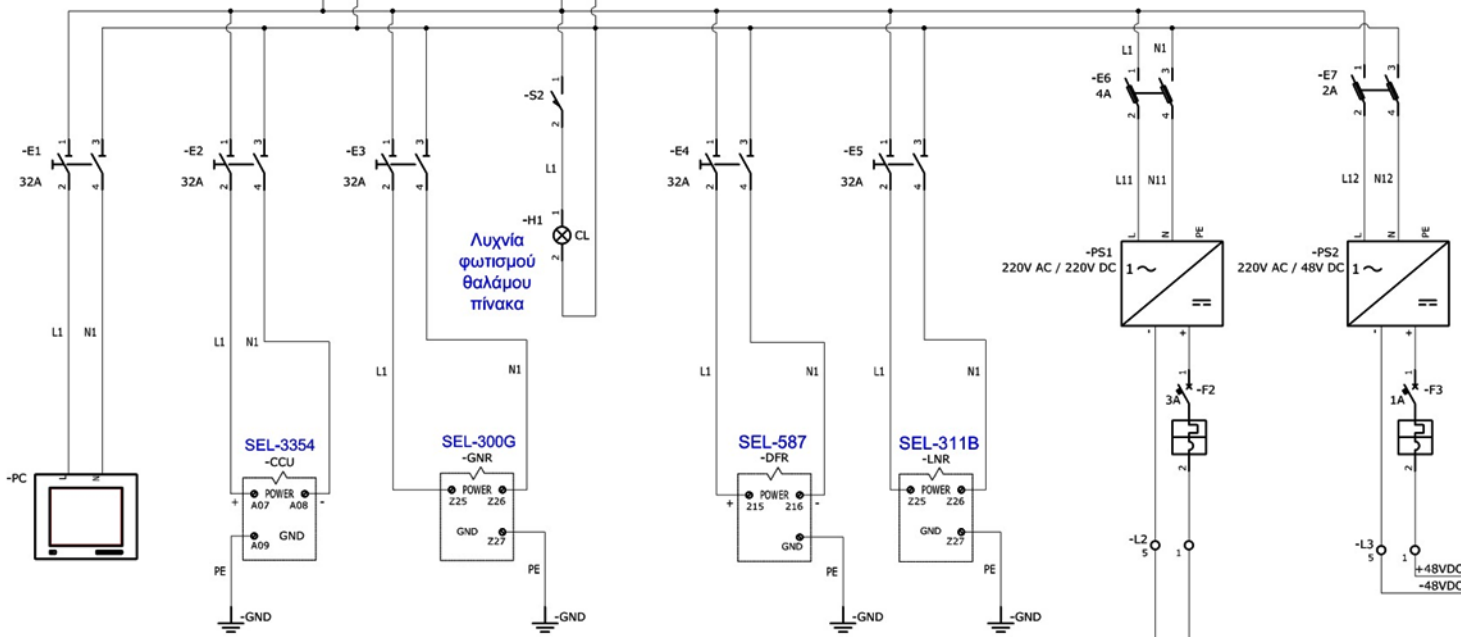
Πρίζα τροφοδοσίας  
πίνακα  
-PLG1



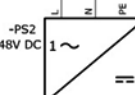
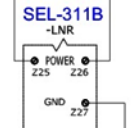
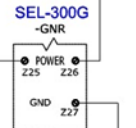
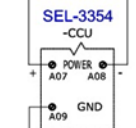
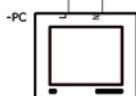
-O1  
Πρίζα  
θαλάμου  
πίνακα

-F1  
10A

Προς λυχνίες κατάστασης διακοπών  
ισχύος (πρόσθια όψη πίνακα)



-H1  
Λυχνία  
φωτισμού  
θαλάμου  
πίνακα



Προς εισόδους  
ελέγχου  
ηλεκτρονόμου  
SEL-311B

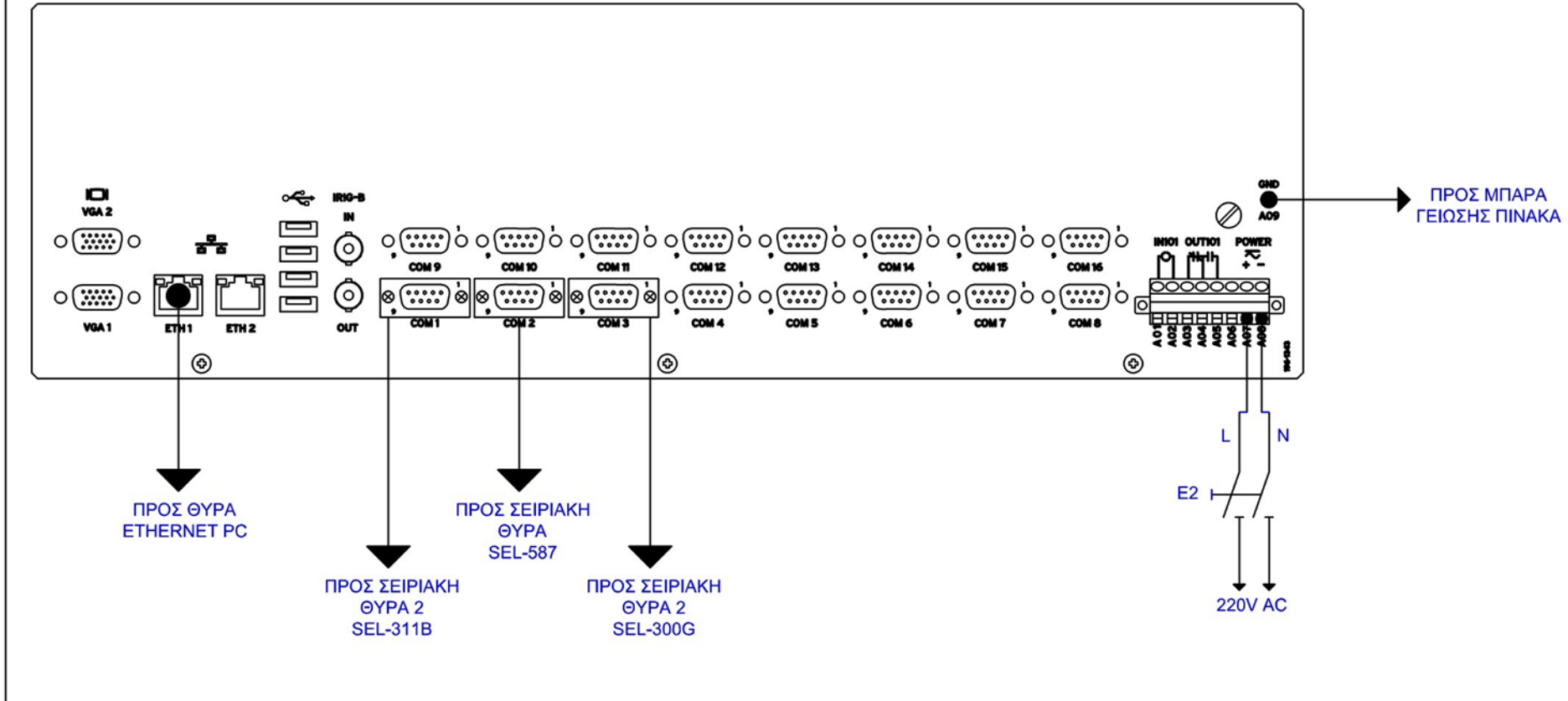
Προς εισόδους  
ελέγχου και εξόδους  
ηλεκτρονόμων  
SEL-300G, SEL-587

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

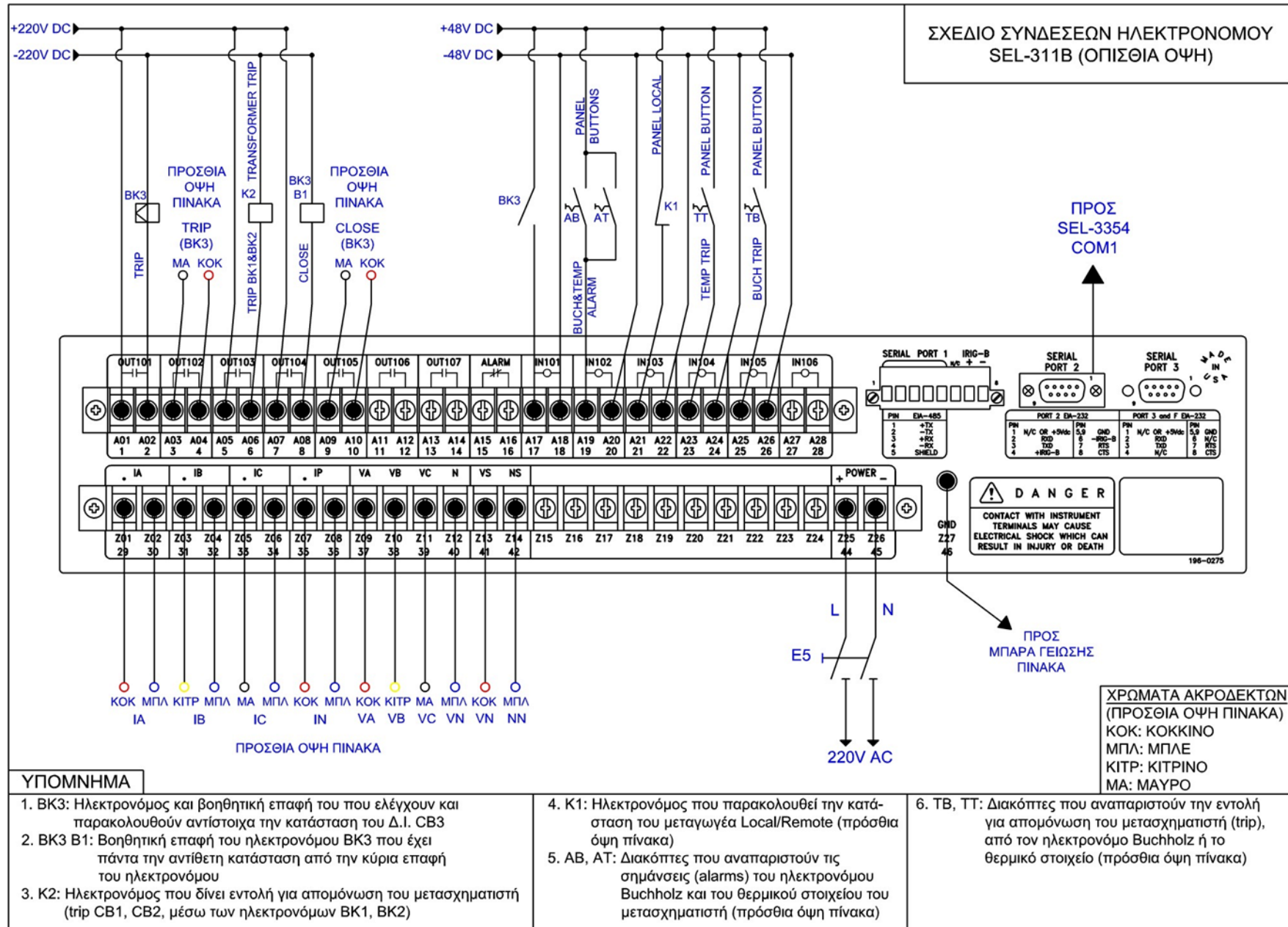
1. E1, E2, E3, E4, E5: Διπολικοί αποζεύκτες τροφοδοσίας συσκευών
2. E6, E7: Ασφαλεισθήκες με τις ασφάλειές τους στην πλευρά AC των ανορθωτών

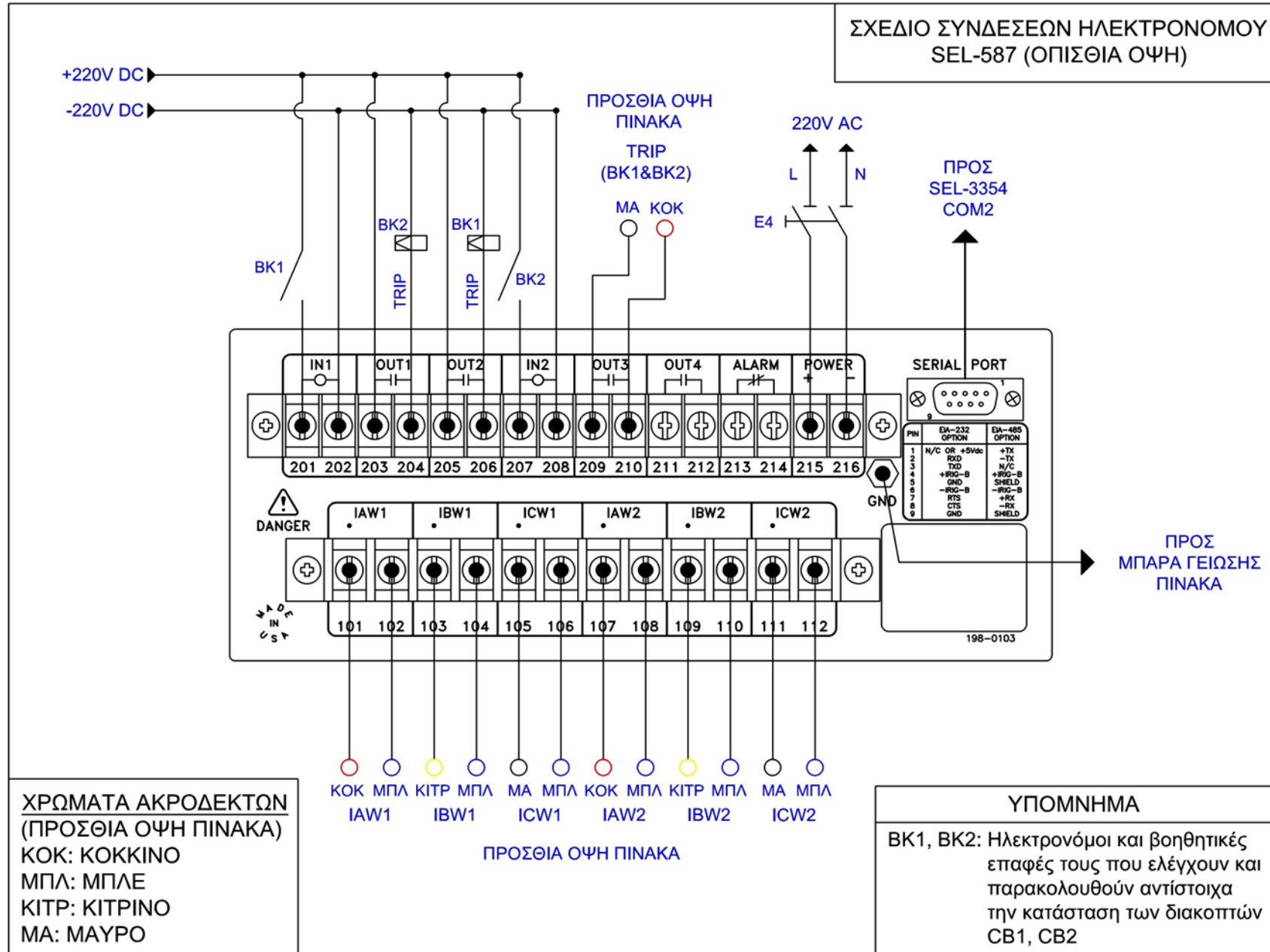
3. S2: Διακόπτης που κλείνει με το άνοιγμα της πόρτας θαλάμου του πίνακα
4. F1: Διπολικός μικροαυτόματος διακόπτης γενικής τροφοδοσίας
5. F2, F3: Μονοπολικό μικροαυτόματοι στην πλευρά DC των ανορθωτών

ΣΧΕΔΙΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΣΥΣΚΕΥΗΣ  
SEL-3354 (ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ)

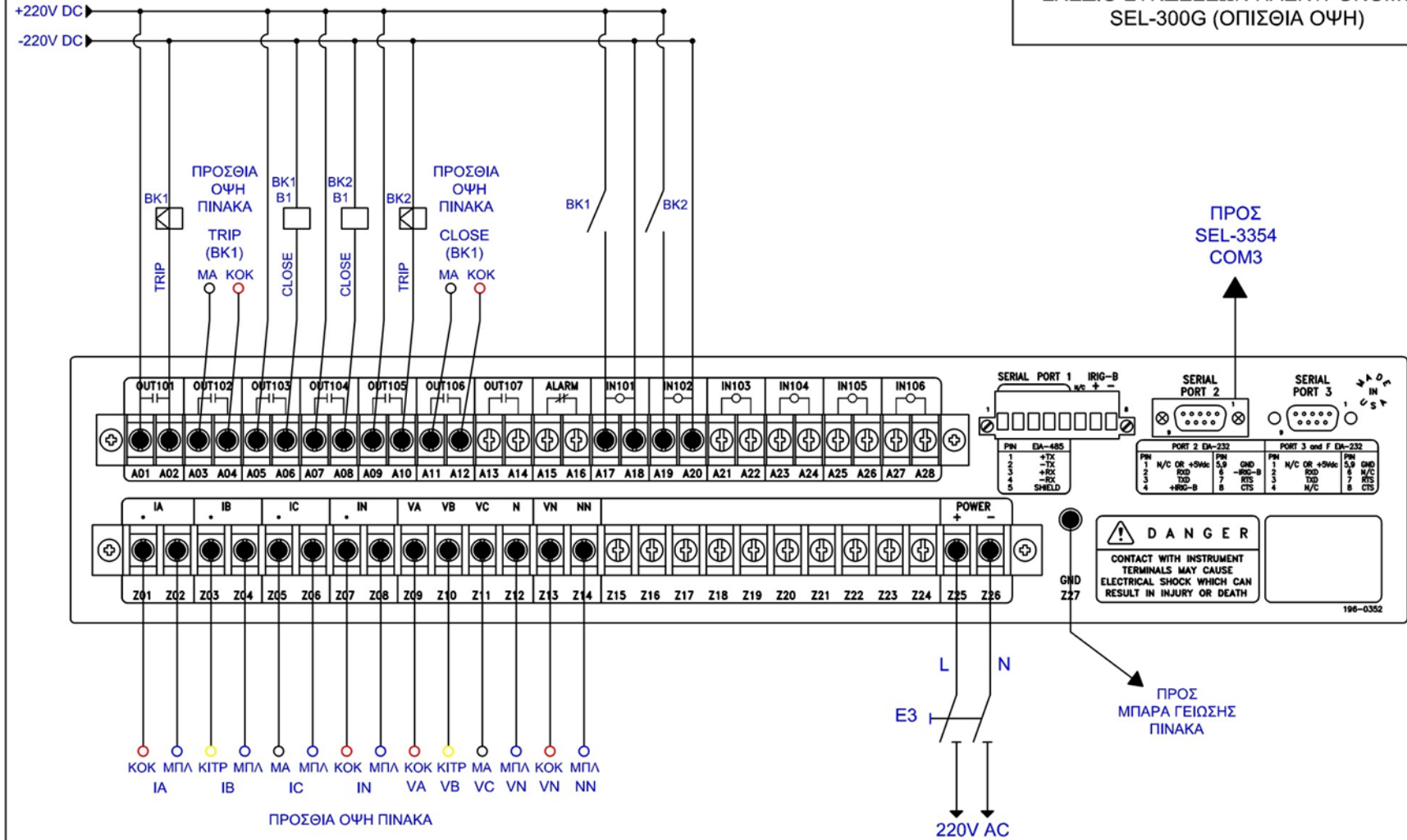


# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β





ΣΧΕΔΙΟ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ SEL-300G (ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ)



**ΧΡΩΜΑΤΑ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ  
(ΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ ΠΙΝΑΚΑ)**  
 ΚΟΚ: ΚΟΚΚΙΝΟ  
 ΜΠΛ: ΜΠΛΕ  
 ΚΙΤΡ: ΚΙΤΡΙΝΟ  
 ΜΑ: ΜΑΥΡΟ

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- BK1, BK2: Ηλεκτρονόμοι και βοηθητικές επαφές που ελέγχουν και παρακολουθούν την κατάσταση των διακοπών CB1, CB2
- BK1 B1, BK2 B1: Βοηθητικές επαφές των ηλεκτρονόμων BK1, BK2 που έχουν πάντα την αντίθετη κατάσταση από τη κύρια επαφή του ηλεκτρονόμου



Settings Increment Chart	
Amps	in .1 steps
Cycles	in .25 steps
kV	in .01 steps

## SET Command

General Data			
Description	Range		
Relay Identifier	12 Characters	<b>RID</b> =	<b>SEL-587-1</b>
Terminal Identifier	12 Characters	<b>TID</b> =	<b>PANEL</b>
Description	Range		
Maximum Power Transformer Capacity	OFF, 0.2–5000 MVA in .1 steps	<b>MVA</b> =	<b>360,0</b>
Winding 1 Line-to-Line Voltage	1–1000 kV	<b>VWDG1</b> =	<b>150,00</b>
Winding 2 Line-to-Line Voltage	1–1000 kV	<b>VWDG2</b> =	<b>21,00</b>
Transformer Connection	YY, YDAC, YDAB, DACDAC, DABDAB, DABY, DACY, OTHER	<b>TRCON</b> =	<b>YY</b>
CT Connection	DACDAC, DABDAB, DACY, DABY, YY, YDAB, YDAC	<b>CTCON</b> =	<b>YY</b>
Remove I0 from Wye Connection Compensation (SEL-587-1 Relay only)	Y, N	<b>RZS</b> =	<b>N</b>
Winding 1 CT Ratio	1–50000	<b>CTR1</b> =	<b>1500</b>
Winding 2 CT Ratio	1–50000	<b>CTR2</b> =	<b>10000</b>
Demand Ammeter Time Constant	OFF, 5–255 min	<b>DATC</b> =	<b>OFF</b>
Phase Demand Ammeter Threshold	0.5–16 A	5 Amp	<b>PDEM</b> =
	0.1–3.2 A	1 Amp	
Negative-Sequence Demand Ammeter Threshold	0.5–16 A	5 Amp	<b>QDEM</b> =
	0.1–3.2 A	1 Amp	
Residual Demand Ammeter Threshold	0.5–16 A	5 Amp	<b>NDEM</b> =
	0.1–3.2 A	1 Amp	

Current TAPs			
Description			
Winding 1 Current TAP		<b>TAP1</b> =	<b>0,92</b>
Winding 2 Current TAP		<b>TAP2</b> =	<b>0,99</b>

Input Assignment <sup>1</sup>			
Description	Range		
Input 1	NA,52A1,!52A1,TCEN,TCBL	<b>IN1</b> =	<b>NA</b>
Input 2	NA,52A2,!52A2,TCEN,TCBL	<b>IN2</b> =	<b>NA</b>

<sup>1</sup> IN1 or IN2 set to TCEN or TCBL enables torque-control settings.

<b>Differential Elements</b>			
<b>Description</b>	<b>Range</b>		
Restrained Element Operating Current Pickup	0.1–1.0 in per unit of tap		<b>O87P = 0,3</b>
Restraint Slope 1 Percentage	5–100%		<b>SLP1 = 25</b>
Restraint Slope 2 Percentage	OFF, 25–200%		<b>SLP2 = 60</b>
Restraint Current Slope 1 Limit	1–16 in per unit of tap		<b>IRS1 = 3,0</b>
Unrestrained Operating Current Pickup	1–16 in per unit of tap		<b>U87P = 8,0</b>
Second-Harmonic Blocking Percentage	OFF, 5–100%		<b>PCT2 = 15</b>
Fourth-Harmonic Blocking Percentage (SEL-587-1 Relay only)	OFF, 5–100%		<b>PCT4 = 15</b>
Fifth-Harmonic Blocking Percentage	OFF, 5–100%		<b>PCT5 = 35</b>
Fifth-Harmonic Alarm Threshold	0.1–3.2 in per unit of tap		<b>TH5 = 0,3</b>
Fifth-Harmonic Alarm Time-Delay Pickup	0.00–8000.00 cycles		<b>TH5D = 30,000</b>
DC Ratio Blocking (SEL-587-1 Relay only)	Y, N		<b>DCRB = N</b>
Harmonic Restraint (SEL-587-1 Relay only)	Y, N		<b>HRSTR = Y</b>
Independent Harmonic Blocking	Y, N		<b>IHBL = Y</b>

<b>Winding 1 Phase Overcurrent Elements</b>			
<b>Description</b>	<b>Range</b>		
Phase Definite-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50P1P = OFF</b>
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp	
Phase Definite-Time Overcurrent Delay	0–16000.00 cycles		<b>50P1D = ----</b>
Phase Definite-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50P1TC = N</b>
Phase Instantaneous Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50P1H = OFF</b>
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp	
Phase Instantaneous Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50P1HC = N</b>
Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–16 A	5 Amp	<b>51P1P = 1,2</b>
	OFF, 0.1–3.2 A	1 Amp	
Phase Inverse-Time Overcurrent Curve	U1–U4, C1–C4		<b>51P1C = U1</b>
Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial	US 0.5–15 in .01 increments IEC 0.05–1 in .01 increments		<b>51P1TD = 0,73</b>
Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset	Y, N		<b>51P1RS = N</b>
Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>51P1TC = N</b>

<sup>2</sup> Torque-control enable settings are only shown if either IN1 or IN2 is set to TCEN or TCBL.

<b>Winding 1 Negative-Sequence Overcurrent Elements</b>				
<b>Description</b>	<b>Range</b>			
Negative-Sequence Definite-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50Q1P</b> =	<b>OFF</b>
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp		
Negative-Sequence Definite-Time Overcurrent Delay	0.5–16000.00 cycles		<b>50Q1D</b> =	----
Negative-Sequence Definite-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50Q1TC</b> =	N
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–16 A	5 Amp	<b>51Q1P</b> =	<b>0,3</b>
	OFF, 0.1–3.2 A	1 Amp		
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Curve	U1–U4, C1–C4		<b>51Q1C</b> =	<b>U3</b>
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Time-Dial	US 0.5–15 in .01 increments	IEC 0.05–1 in .01 increments	<b>51Q1TD</b> =	<b>1,98</b>
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset	Y, N		<b>51Q1RS</b> =	<b>N</b>
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>51Q1TC</b> =	N

<b>Winding 1 Residual Overcurrent Elements</b>				
<b>Description</b>	<b>Range</b>			
Residual Definite-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50N1P</b> =	<b>OFF</b>
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp		
Residual Definite-Time Overcurrent Delay	0–16000.00 cycles		<b>50N1D</b> =	----
Residual Definite-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50N1TC</b> =	N
Residual Instantaneous Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50N1H</b> =	<b>OFF</b>
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp		
Residual Instantaneous Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50N1HC</b> =	N
Residual Inverse-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–16 A	5 Amp	<b>51N1P</b> =	<b>0,1</b>
	OFF, 0.1–3.2 A	1 Amp		
Residual Inverse-Time Overcurrent Curve	U1–U4, C1–C4		<b>51N1C</b> =	<b>C2</b>
Residual Inverse-Time Overcurrent Time-Dial	US 0.5–15 in .01 increments	IEC 0.05–1 in .01 increments	<b>51N1TD</b> =	<b>0,16</b>
Residual Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset	Y, N		<b>51N1RS</b> =	<b>N</b>
Residual Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>51N1TC</b> =	N

<sup>2</sup> Torque-control enable settings are only shown if either IN1 or IN2 is set to TCEN or TCBL.

<b>Winding 2 Phase Overcurrent Elements</b>					
<b>Description</b>	<b>Range</b>				
Phase Definite-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50P2P</b> =	<b>OFF</b>	
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp			
Phase Definite-Time Overcurrent Delay	0–16000.00 cycles		<b>50P2D</b> =	<b>----</b>	
Phase Definite-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50P2TC</b> =	<b>N</b>	
Phase Instantaneous Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50P2H</b> =	<b>4,0</b>	
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp			
Phase Instantaneous Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50P2HC</b> =	<b>N</b>	
Phase Inverse-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–16 A	5 Amp	<b>51P2P</b> =	<b>1,3</b>	
	OFF, 0.1–3.2 A	1 Amp			
Phase Inverse-Time Overcurrent Curve	U1–U4, C1–C4		<b>51P2C</b> =	<b>U1</b>	
Phase Inverse-Time Overcurrent Time-Dial	US 0.5–15 in .01 increments IEC 0.05–1 in .01 increments		<b>51P2TD</b> =	<b>1,06</b>	
Phase Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset	Y, N		<b>51P2RS</b> =	<b>N</b>	
Phase Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>51P2TC</b> =	<b>N</b>	

<b>Winding 2 Negative-Sequence Overcurrent Elements</b>					
<b>Description</b>	<b>Range</b>				
Negative-Sequence Definite-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50Q2P</b> =	<b>OFF</b>	
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp			
Negative-Sequence Definite-Time Overcurrent Delay	0.5–16000.00 cycles		<b>50Q2D</b> =	<b>----</b>	
Negative-Sequence Definite-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50Q2TC</b> =	<b>N</b>	
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–16 A	5 Amp	<b>51Q2P</b> =	<b>0,3</b>	
	OFF, 0.1–3.2 A	1 Amp			
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Curve	U1–U4, C1–C4		<b>51Q2C</b> =	<b>U3</b>	
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Time-Dial	US 0.5–15 in .01 increments IEC 0.05–1 in .01 increments		<b>51Q2TD</b> =	<b>3,68</b>	
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset	Y, N		<b>51Q2RS</b> =	<b>N</b>	
Negative-Sequence Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>51Q2TC</b> =	<b>N</b>	

<sup>2</sup> Torque-control enable settings are only shown if either IN1 or IN2 is set to TCEN or TCBL.

Winding 2 Residual Overcurrent Elements				
Description	Range			
Residual Definite-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50N2P</b> =	<b>OFF</b>
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp		
Residual Definite-Time Overcurrent Delay	0–16000.00 cycles		<b>50N2D</b> =	<b>----</b>
Residual Definite-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50N2TC</b> =	<b>N</b>
Residual Instantaneous Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–80 A	5 Amp	<b>50N2H</b> =	<b>10,0</b>
	OFF, 0.1–16 A	1 Amp		
Residual Instantaneous Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>50N2HC</b> =	<b>N</b>
Residual Inverse-Time Overcurrent Pickup	OFF, 0.5–16 A	5 Amp	<b>51N2P</b> =	<b>0,2</b>
	OFF, 0.1–3.2 A	1 Amp		
Residual Inverse-Time Overcurrent Curve	U1–U4, C1–C4		<b>51N2C</b> =	<b>C2</b>
Residual Inverse-Time Overcurrent Time-Dial	US 0.5–15 in .01 increments IEC 0.05–1 in .01 increments		<b>51N2TD</b> =	<b>0,30</b>
Residual Inverse-Time Overcurrent Electromechanical Reset	Y, N		<b>51N2RS</b> =	<b>N</b>
Residual Inverse-Time Overcurrent External Torque-Control <sup>2</sup>	Y, N		<b>51N2TC</b> =	<b>N</b>

Miscellaneous Timers				
Description	Range			
Latch Trips	Y, N, 1, 2, 3 (SEL-587-0)	Y, N, NL, 1, 2, 3 (SEL-587-1)	<b>LTRP</b> =	<b>N</b>
Minimum Trip Duration Time	0–2000.00 cycles		<b>TDURD</b> =	<b>10,000</b>
Timer X Pickup Delay	0–8000.00 cycles		<b>TXPU</b> =	<b>0,000</b>
Timer X Dropout Delay	0–8000.00 cycles		<b>TXDO</b> =	<b>0,000</b>
Timer Y Pickup Delay	0–8000.00 cycles		<b>TYPU</b> =	<b>0,000</b>
Timer Y Dropout Delay	0–8000.00 cycles		<b>TYDO</b> =	<b>0,000</b>

Power System Data				
Description	Range			
Nominal Frequency	50, 60 Hz		<b>NFREQ</b> =	<b>50</b>
Phase Rotation	ABC, ACB		<b>PHROT</b> =	<b>ABC</b>

<sup>2</sup> Torque-control enable settings are only shown if either IN1 or IN2 is set to TCEN or TCBL.

### SET L Command (Logic)

Logic Variables	
X =	NA
Y =	NA

Tripping Logic	
MTU1 =	51P1T + 51Q1T + 51N1T
MTU2 =	50P2H + 51P2T + 51Q2T + 50N2H + 51N2T
MTU3 =	87R + 87U

Event Report Trigger Condition Logic	
MER =	87R + 87U + 51P1T + 51Q1T + 51N1T + 50P2H + 51P2T + 51Q2T + 50N2H + 51N2T

Output Contact Logic	
OUT1 =	TRP1 + TRP3
OUT2 =	TRP2 + TRP3
OUT3 =	TRP1 + TRP2 + TRP3
OUT4 =	NA

## SET P Command (Port Settings)

Protocol and Communications Settings			
Description	Range		
Serial Port Protocol	SEL, LMD, MOD	<b>PROTO</b>	= <u>SEL</u>
<b>If PROTO = SEL</b>			
Serial Port Baud Rate	300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400	<b>SPEED</b>	= <u>19200</u>
Serial Port Data Bits	7, 8	<b>D_BITS</b>	= <u>8</u>
Serial Port Parity	N, E, O	<b>PARITY</b>	= <u>N</u>
Serial Port Stop Bits	1, 2	<b>STOP</b>	= <u>1</u>
Serial Port Time Out	0–30 minutes	<b>TIMEOUT</b>	= <u>5</u>
Send Auto Message to Port	Y, N	<b>AUTO</b>	= <u>Y</u>
Enable RTS/CTS Handshaking	Y, N	<b>RTS_CTS</b>	= <u>N</u>
Fast Operate Enable	Y, N	<b>FAST_OP</b>	= <u>N</u>
<b>If PROTO = LMD</b>			
LMD Prefix	#, \$, %, &, @	<b>PREFIX</b>	= <u>----</u>
LMD Address	1–99	<b>ADDRESS</b>	= <u>----</u>
LMD Settling Time	0–30 seconds	<b>SETTLE_TIME</b>	= <u>----</u>
Serial Port Baud Rate	300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400	<b>SPEED</b>	= <u>----</u>
Serial Port Data Bits	7, 8	<b>D_BITS</b>	= <u>----</u>
Serial Port Parity	N, E, O	<b>PARITY</b>	= <u>----</u>
Serial Port Stop Bits	1, 2	<b>STOP</b>	= <u>----</u>
Serial Port Time Out	0–30 minutes	<b>TIMEOUT</b>	= <u>----</u>
Send Auto Message to Port	Y, N	<b>AUTO</b>	= <u>----</u>
Fast Operate Enable	Y, N	<b>FAST_OP</b>	= <u>----</u>
<b>If PROTO = MOD (SEL-587-1 Relay)</b>			
Serial Port Baud Rate	300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200	<b>SPEED</b>	= <u>----</u>
Serial Port Parity	N, E, O	<b>PARITY</b>	= <u>----</u>
Serial Port Stop Bits	1, 2	<b>STOP</b>	= <u>----</u>
Slave ID	1–99	<b>SLAVEID</b>	= <u>----</u>
Send Auto Message to Port	Y, N	<b>AUTO</b>	= <u>----</u>

### Σημείωση

ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΥΘΜΙΣΕΙΣ

ΑΝΕΝΕΡΓΕΣ ΠΥΘΜΙΣΕΙΣ

## Δοκιμές H/N SEL-587

### Test Module

Name:	OMICRON QuickCMC	Version:	2.40 SR 1
Test Start:	08-Mai-2012 13:12:36	Test End:	08-Mai-2012 13:11:24
User Name:	vasilis.papaspiliotopoulos	Manager:	Vasilis Papaspiliotopoulos
Company:	National Technical University of Athens		

### Test Results

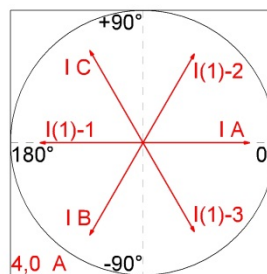
Title: DIFF 3PH

#### Fault Calculator:

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I A	3,224 A	0,00 °	50,000 Hz
	I B	3,224 A	-120,00 °	50,000 Hz
	I C	3,224 A	120,00 °	50,000 Hz

#### Generator Settings

I A	3,224A	0,00°
I B	3,224A	-120,00°
I C	3,224A	120,00°
I(1)-1	3,109A	180,00°
I(1)-2	3,109A	60,00°
I(1)-3	3,109A	300,00°



#### Binary Inputs

Trip	Start	Overload
0->1 0,051s	1->0 n/a	1->0 n/a

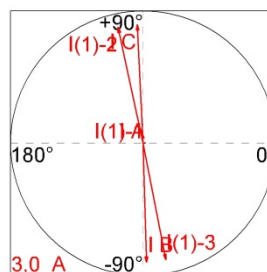
Title: DIFF 2PH NO GND

#### Fault Calculator:

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I A	55,00 mA	9,30 °	50,000 Hz
	I B	2,703 A	-88,20 °	50,000 Hz
	I C	2,696 A	92,90 °	50,000 Hz

#### Generator Settings

I A	0,055A	9,30°
I B	2,703A	-88,20°
I C	2,696A	92,90°
I(1)-1	0,051A	9,30°
I(1)-2	2,693A	102,30°
I(1)-3	2,691A	-78,80°



#### Binary Inputs

Trip	Start	Overload
0->1 0,052s	1->0 n/a	1->0 n/a



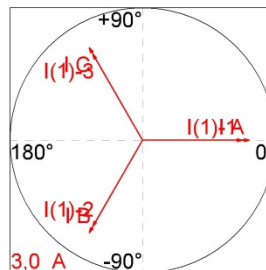
Title: OC 3PH T2

Fault Calculator:

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I A	2,425 A	0,00 °	50,000 Hz
	I B	2,425 A	-120,00 °	50,000 Hz
	I C	2,425 A	120,00 °	50,000 Hz

Generator Settings

I A	2,425A	0,00°
I B	2,425A	-120,00°
I C	2,425A	120,00°
I(1)-1	2,263A	0,00°
I(1)-2	2,263A	-120,00°
I(1)-3	2,263A	120,00°



Binary Inputs

Trip	Start	Overload
0->1	1->0	1->0
0,610s	n/a	n/a

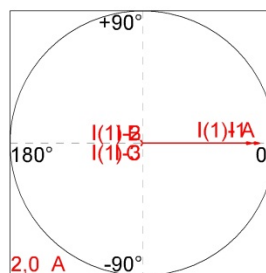
Title: OC 1PH T2

Fault Calculator:

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I A	1,770 A	0,00 °	50,000 Hz
	I B	47,00 mA	-120,00 °	50,000 Hz
	I C	51,00 mA	120,00 °	50,000 Hz

Generator Settings

I A	1,770A	0,00°
I B	0,047A	-120,00°
I C	0,051A	120,00°
I(1)-1	1,652A	0,00°
I(1)-2	0,044A	-120,00°
I(1)-3	0,047A	120,00°



Binary Inputs

Trip	Start	Overload
0->1	1->0	1->0
0,151s	n/a	n/a

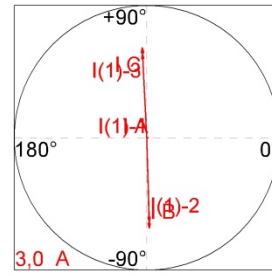
Title: OC 2PH T2

Fault Calculator:

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I A	41,00 mA	9,30 °	50,000 Hz
	I B	2,050 A	-88,20 °	50,000 Hz
	I C	2,045 A	92,90 °	50,000 Hz

**Generator Settings**

I A	0,041A	9,30°
I B	2,050A	-88,20°
I C	2,045A	92,90°
I(1)-1	0,039A	9,30°
I(1)-2	1,913A	-88,20°
I(1)-3	1,909A	92,90°



**Binary Inputs**

Trip	Start	Overload
0->1 0,261s	1->0 n/a	1->0 n/a

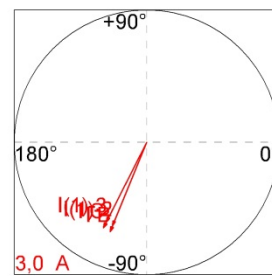
**Title: OC 2PH GND T2**

**Fault Calculator:**

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I A	7,000 mA	0,00 °	50,000 Hz
	I B	2,197 A	-112,30 °	50,000 Hz
	I C	2,176 A	-116,80 °	50,000 Hz

**Generator Settings**

I A	0,007A	0,00°
I B	2,197A	-112,30°
I C	2,176A	-116,80°
I(1)-1	0,007A	0,00°
I(1)-2	2,051A	-112,30°
I(1)-3	2,031A	-116,80°



**Binary Inputs**

Trip	Start	Overload
0->1 0,076s	1->0 n/a	1->0 n/a

**Summary**

6 tests passed, 0 tests failed, 0 tests not assessed  
**Test passed**

100,00% passed

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ**

---

### **ΒΙΒΛΙΑ**

- [1] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος I*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1985.
- [2] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος II*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1993.
- [3] Μ. Π. Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1994.
- [4] Μ. Π. Παπαδόπουλος, *Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997.
- [5] Ε. Λεκατσάς, *Θέματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας: Υπερτάσεις-Διαβάθμιση Μονώσεως-Σχεδιασμός Γραμμών Μεταφοράς και Υποσταθμών*, Δ.Ε.Η., Αθήνα 1985.
- [6] J. L. Blackburn, T. J. Domin, *Protective Relaying, Principles and Applications*, Third Edition, CRC Press, 2007.
- [7] S. H. Horowitz, A. G. Phadke, *Power System Relaying*, Third Edition, Research Studies Press Limited and John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [8] C. R. Mason, *The Art & Science of Protective Relaying*, John Wiley & Sons Ltd, 1956.
- [9] M. Brown, *Practical Power System Protection*, Elsevier, 2004.
- [10] T. Davies, *Protection of Industrial Power Systems*, Second Edition, Elsevier, 1996.
- [11] D. Reimert, *Protective Relaying for Power Generation Systems*, CRC Press, 2006.
- [12] J. L. Blackburn, *Symmetrical Components for Power System Engineering*, Marcel Dekker, Inc., 1993.
- [13] I. Kasikci, *Short Circuits in Power Systems, A Practical Guide to IEC 60909*, Wiley-VCH, 2002.
- [14] J. M. Gers, E. J. Holmes, *Protection of Electricity Distribution Networks*, Second Edition, The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [15] W. A. Elmore, *Protective Relaying, Theory and Applications*, Second Edition, Marcel Dekker, Inc.
- [16] P. M. Anderson, *Power System Protection*, IEEE Press, 1999.
- [17] M. A. Uman, *The Art and Science of Lightning Protection*, Cambridge University Press, 2008.
- [18] V. Hinrichsen, *Metal-Oxide Surge Arrester*, First Edition, Siemens, 2001.

### **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- [19] G. Brunello, B. Kaszteny, C. Wester, *Shunt Capacitor Bank Fundamentals and Protection*, Conference for Protective Relay Engineers - Texas A&M University, April 8-10, 2003.
- [20] *Electrical equipment – Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988)*, IEC 909-2, 1992.
- [21] *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents*, IEC TR 60909-4, 2000.

## **ΠΡΟΤΥΠΑ**

- [22] *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*, IEC 60909-0, 2001.
- [23] *IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations*, IEEE Std C37.2-2008.
- [24] *IEEE Guide for AC Generator Protection*, IEEE Std C37.102-1995.
- [25] *IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers*, IEEE Std C37.91-2000.
- [26] *IEEE Guide for AC Motor Protection*, ANSI/IEEE C37.96-1988.
- [27] *IEEE Guide for the Protection of Shunt Reactors*, ANSI/IEEE C37.109-1988.
- [28] *IEEE Guide for the Protection of Shunt Capacitor Banks*, IEEE Std C37.99-2000.

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

- [29] Θ. Δ. Λιότσος, *Θεωρία προστασίας γεννητριών και προσδιορισμός ρυθμίσεων με τη μέθοδο της δυναμικής προσομοίωσης*, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούνιος 2007.
- [30] Γ. Αδάμου, *Έλεγχος ρυθμίσεων ηλεκτρονόμου διαφορικής προστασίας με τον ψηφιακό εξομοιωτή πραγματικού χρόνου*, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- [31] Α. Γ. Γκορίτσας, *Μελέτη Προστασίας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας με Ηλεκτρονόμους Κατεύθυνσης*, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Μάρτιος 2009.

## **ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ**

- [32] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., *SEL-3354 – Embedded Automation Computing Platform: Instruction Manual*, Date Code 20110926.
- [33] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., *SEL-311B Relay – Protection and Automation System: Instruction Manual*, Date Code 20110829.
- [34] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., *SEL-587-0, -1 Relay – Current Differential Relay, Overcurrent Relay: Instruction Manual*, Date Code 20100813.
- [35] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., *SEL-300G – Multifunction Generator Relay: Instruction Manual*, Date Code 20100830.

## **ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ**

- [36] Γ. Κορρές, *Θεωρία προστασίας υπερέντασης*, Αθήνα 2005.
- [37] Γ. Κορρές, *Διαφάνειες μαθήματος “Προστασία Σ.Η.Ε.”*.

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

- [38] [www.selinc.com](http://www.selinc.com) (SEL)
- [39] [www.abb.com](http://www.abb.com) (ABB)
- [40] [www.ge.com](http://www.ge.com) (General Electric)
- [41] [www.alstom.com](http://www.alstom.com) (ALSTOM)
- [42] [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com) (Schneider Electric)
- [43] [www.neplan.ch](http://www.neplan.ch)
- [44] [www.omicron.at](http://www.omicron.at)
- [45] [www.copadata.com](http://www.copadata.com)
- [46] [www.subnet.com](http://www.subnet.com)
- [47] [www.protasis.net.gr](http://www.protasis.net.gr)