



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

Μελέτη και σχεδιασμός ηλεκτρονόμου σημάτων σφαλμάτων και ψηφιακού μετρητή ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Ι. Μπαγιώκος

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

Αθήνα, Ιούνιος 2013



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

Μελέτη και σχεδιασμός ηλεκτρονόμου σημάτων σφαλμάτων και ψηφιακού μετρητή ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Ι. Μπαγιώκος

Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30^η Ιουνίου 2013.

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

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

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

Αθήνα, Ιούνιος 2013

.....

Παναγιώτης Ι. Μπαγιώκος

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

Copyright © Παναγιώτης Ι. Μπαγιώκος, 2013

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-ΣΚΟΠΟΣ

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία θα περιγραφούν τα στάδια που χρειάζονται για την μελέτη και την κατασκευή ενός ηλεκτρονόμου (H/N) ένδειξης σημάνσεων σφαλμάτων και ενός ψηφιακού μετρητή ενέργειας. Οι συγκεκριμένες συσκευές χρησιμοποιούνται σε πολλές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αλλά στη συγκεκριμένη εργασία θα εφαρμοστούν σε υποσταθμό υψηλής τάσης.

Αρχικά θα γίνει μια περιγραφή του υποσταθμού 150/20 kV με βάση τη διαδικασία μιας μελέτης και θα αναφερθούν τα περισσότερα σφάλματα που μπορούν να υπάρξουν σε κάποια υποσυστήματα του υποσταθμού. Επιπλέον θα υπάρχει ένα κεφάλαιο για τη θεωρητική ανάλυση των προστασιών υπερέντασης, αποστάσεως και διαφορικής για τις οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα ψηφιακοί H/N.

Στο επόμενο βήμα θα αναλυθούν οι απαιτήσεις του ηλεκτρονόμου καταγραφής σημάνσεων σφαλμάτων, οι λειτουργίες του, η χρησιμότητά του και η τεχνογνωσία που ενσωματώνει.

Σε αρκετές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπως στους υποσταθμούς υψηλής ή μέσης τάσης χρησιμοποιούνται συσκευές σήμανσης συγκεκριμένων σφαλμάτων που γίνονται σε πραγματικό χρόνο, με ταυτόχρονη ενεργοποίηση επαφών για τη διέγερση συναγερμού ή κάποιου ρελέ. Η χρήση μιας τέτοιας συσκευής σε μια μεγάλη εγκατάσταση είναι πολύ σημαντική καθώς επιτρέπεται η ανάγνωση σφάλματος του κυκλώματος. Στα επόμενα τρία κεφάλαια γίνεται ανάλυση στο σχεδιασμό της συσκευής και του τρόπου σύνδεσης του κάθε υλικού. Περιγράφεται η δομή του λογισμικού που τρέχει στη συσκευή και πώς αυτό συνεργάζεται με το υλικό. Επιπλέον περιγράφεται ο τρόπος επικοινωνίας του H/N με το διαδίκτυο καθώς και με ένα τοπικό δίκτυο εφαρμόζοντας το διεθνώς αναγνωρισμένο πρωτόκολλο IEC 61850.

Ο ψηφιακός μετρητής ενέργειας αντικαθιστά πλέον μια πληθώρα μεμονωμένων οργάνων μέτρησης όπως τα βολτόμετρα, τα αμπερόμετρα, τα βαττόμετρα και ενσωματώνει νέες τεχνολογίες όπως την επικοινωνία με το διαδίκτυο αλλά και άλλες συσκευές μέσα στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Θα εξεταστεί επομένως, η κεντρική μονάδα του μετρητή ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζει τις επιθυμητές τιμές.

Στο τελικό στάδιο του σχεδιασμού αναλύονται οι δοκιμές, οι έλεγχοι που πρέπει να περάσει σήμερα μια συσκευή για να είναι αξιόπιστη, ασφαλής για τον χειριστή και φιλική για το περιβάλλον.

Abstract

The aim of this diploma thesis is the design of a digital relay for detecting, indicating and saving signal faults and an energy system. A preliminary study of an energy meter is being accomplished using the design methods of the indicator relay.

This device aims for indicating faults situated in a substation 150/20 KV but it can be used for more electrical applications. A description of a typical substation 150/20 KV and the most recent faults of substation electromechanical devices is important in order to see the use of this relay. The first chapter analyzes a substation according to the steps its design.

The second chapter is a theoretical aspect of the protection methods that substations use in order to be reliable and safe for the electrical system. Overcurrent, distance, and differential protection are being described.

In the third chapter the preliminary study of the design takes place including the aims of the project, an estimation of the cost and a timetable. The next three chapters describe the design of the hardware including the schematic diagram and the PCB board, the software of the device and the communication with the Internet or the LAN using the standard IEC 61850.

The seventh chapter describes the analogue to digital conversion that the meter uses in order to calculate the rms voltage, the current, the power factor and the energy.

The last chapter describes the tests that today devices must succeed in order to be reliable according to the safety and environmental standards.

Nowadays a digital energy meter device has replaced a number of old, mechanical meters making an electrical system cheaper and more accurate. This thesis is trying to approach the most advanced technology for devices in electrical transmission distribution and industrial systems such as sending data to the Internet or saving data to a USB memory. The fundamentals of this design such as programming a microcontroller or designing a PCB board can be used for a variety of applications.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την οικονομική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν τόσο για την εισαγωγή στο Ε.Μ.Π. όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου όπως και την οικονομική προσφορά τους στην κατασκευή των πρωτότυπων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων της εφαρμογής.

Τις θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Κορρέ Γεώργιο, για την ιδανική συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το συνεργάτη μου Λεωτσάκο Γεώργιο για την εκπαίδευσή μου στην ηλεκτρολογική μελέτη αυτοματισμών και το σχέδιό τους. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ΑΔΜΗΕ για τις πολύτιμες γνώσεις που απέκτησα στη μελέτη υποσταθμών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΤΟΝ ΑΠΑΡΤΙΖΟΥΝ.....</u>	<u>11</u>
1.1 ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ.....	11
1.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ-ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ.....	13
1.3 ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ.....	13
1.4 ΚΑΤΟΨΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	15
1.5 ΤΟΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	16
1.7 ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ.....	17
1.8 ΣΧΗΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΥΛΙΚΟΥ.....	19
1.8.1 Εναλλασσόμενη τάση.....	19
1.8.2 Συνεχής τάση.....	20
1.8.3 Πύλη 150kV.....	20
1.8.4 Μετασχηματιστής 150/20KV.....	23
1.8.5 Αναχώρηση 20 kV.....	24
1.8.6 Αντιστάθμιση με πυκνωτές στα 20 kV.....	25
1.8.7 Πίνακας μετρήσεων Υ/Σ 150/20kV.....	25
<u>2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΕΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ.....</u>	<u>27</u>
2.1 Προστασία Υπερεντάσεως.....	27
2.2 Προστασία Αποστάσεως.....	34
2.2.1 Πολυγωνική περιγραφή σφάλματος αποστάσεως.....	36
2.2.2 Περιγραφή H/N αποστάσεως Mho.....	41
2.3 Διαφορική Προστασία.....	42
<u>3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ ΣΗΜΑΤΩΝ, ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ, ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....</u>	<u>45</u>
3.1 Απαιτήσεις συσκευής.....	45
3.2 Χρονοδιάγραμμα.....	46
3.3 Εκτίμηση κόστους-Έρευνα ανταγωνισμού.....	48
<u>4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....</u>	<u>50</u>
4.1 Τροφοδοτικό.....	50
4.2 Μονάδα Μικροπεξεργαστή.....	53

4.3 Μονάδα εισόδων, εξόδων	57
4.4 Μονάδα αλληλεπίδρασης χειριστή, συσκευής	58
<u>5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....</u>	<u>61</u>
5.1 Το πρόγραμμα του καταμετρητή σημάτων.....	64
5.2 Περιγραφή δομικού διαγράμματος	69
<u>6. ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ</u>	<u>73</u>
6.1 Επικοινωνία Η/Ν μέσω παγκόσμιου διαδικτύου	73
6.2 Επικοινωνία Η/Ν μέσω τοπικού δικτύου.....	78
<u>7. ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ-ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ</u>	<u>82</u>
7.1 Αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή	82
<u>8. ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.....</u>	<u>89</u>
8.1 Δοκιμές μηχανικής καταπόνησης.....	89
8.2 Μόνωση	89
8.3 Ηλεκτρομαγνητική ανοχή	90
8.4 Περιβαλλοντολογικές δοκιμές	91
<u>9. ΠΛΑΚΕΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ ΣΗΜΑΝΣΕΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....</u>	<u>92</u>

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1 Μονογραμμικό διάγραμμα Υ/Σ 150kV.....	12
Εικόνα 2 Τομή βάσης για ικρίωμα στήριξης 150kV.....	14
Εικόνα 3 Τμήμα κάτοψης Υ/Σ 150 KV.....	16
Εικόνα 4 Τμήμα τομής Υ/Σ 150 kV.....	17
Εικόνα 5: Τμήμα μονογραμμικού Υ/Σ 150 kV.....	18
Εικόνα 6: Φύλο σχηματικού διαγράμματος ανοίγματος κλεισίματος διακόπτη.	22
Εικόνα 7 Σύστημα δύο ζυγών, μια γραμμής μεταφοράς με δύο ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως.....	29
Εικόνα 8 Απλώς αντιστρόφου χρόνου H/N υπερεντάσεως της ΖΙΥ.....	32
Εικόνα 9 Πολύ αντιστρόφου χρόνου H/N υπερεντάσεως της ΖΙΥ.....	33
Εικόνα 10 Χαρακτηριστική λειτουργίας με στοιχείο κατεύθυνσης.....	35
Εικόνα 11: Mho χαρακτηριστικός κύκλος.....	35
Εικόνα 12 Πολυγωνική χαρακτηριστική λειτουργίας.....	36
Εικόνα 13 Μονογραμμικό διάγραμμα μονοφασικού σφάλματος ως προς γη.....	36
Εικόνα 14 Συμμετρικό κύκλωμα μονοφασικού σφάλματος ως προς γη.....	37
Εικόνα 15 Απλοποιημένο κύκλωμα μονοφασικού σφάλματος.....	39
Εικόνα 16 Διανυσματικό διάγραμμα συνολικής εμπέδησης.....	40
Εικόνα 17 Κύκλωμα σφάλματος μαζί με την αντίσταση του τόξου.....	41
Εικόνα 18 Διανυσματικό διάγραμμα συνολικής εμπέδησης μαζί με την αντίσταση τόξου σφάλματος.....	41
Εικόνα 19 Mho Διάγραμμα.....	42
Εικόνα 20 Διαφορική προστασία Μ/Σ.....	43
Εικόνα 21 Χρονοδιάγραμμα μελέτης και κατασκευής έργου.....	48
Εικόνα 22 Σχηματικό διάγραμμα τροφοδοτικού.....	52
Εικόνα 23 Δομικό διάγραμμα AT32UC3A0512.....	54
Εικόνα 24 Σχηματικό decoupling capacitors.....	55
Εικόνα 25 Τροφοδοσία μικροελεγκτή.....	55
Εικόνα 26 Ρυθμιστής τάσης 3,3 Volt.....	55
Εικόνα 27 Κρύσταλλοι στον μικροεπεξεργαστή.....	56
Εικόνα 28 JTAG και USB συνδεσμολογία.....	56
Εικόνα 29 Optocoupler HCPL3700.....	57
Εικόνα 30 Πίνακας αλήθειας HCPL3700.....	58
Εικόνα 31 Σχηματικό διάγραμμα Optocoupler στην εφαρμογή.....	58
Εικόνα 32 Solid state relay HFS2.....	58
Εικόνα 33 Σχηματικό διάγραμμα HFS2 στην εφαρμογή.....	58
Εικόνα 34 Σχηματικό διάγραμμα πλήκτρων και LED.....	59
Εικόνα 35 Σχηματικό διάγραμμα LCD.....	60
Εικόνα 36 Εκπαιδευτική πλατφόρμα EVK1100.....	62
Εικόνα 37 Επιφάνεια εργασίας AVR Studio5, δείχνεται το πλήκτρο GO, τα header files και οι drivers.....	62
Εικόνα 38 Προσθήκη driver στην εφαρμογή.....	63
Εικόνα 39 Δομές δεδομένων προγράμματος.....	66
Εικόνα 40 Δομικό διάγραμμα προγράμματος.....	68
Εικόνα 41 Δομικό διάγραμμα DP83848I.....	75
Εικόνα 42 Τυπική εφαρμογή DP83848I.....	76
Εικόνα 43 Φόρμα HTML συμπλήρωσης μηνυμάτων.....	77
Εικόνα 44 Επίπεδα πρωτοκόλλου IEC61850.....	78

Εικόνα 45:GGIO class	80
Εικόνα 46 Δομικό διάγραμμα χειρισμού διακόπτη και μέτρησης τάσεων, ρευμάτων.	81
Εικόνα 47 Μετατροπή εναλλασσόμενης τάσης σε ψηφιακό σήμα.	82
Εικόνα 48 Ενίσχυση εναλλασσόμενης τάσης.....	83
Εικόνα 49 Σίγμα Δέλτα αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα.	84
Εικόνα 50 Υλοποίηση του Σίγμα Δέλτα ADC.	85
Εικόνα 51 Υπολογισμός ενεργού τιμής της τάσης από ψηφιακό σήμα.....	85
Εικόνα 52 Υπολογισμός πραγματικής ενέργειας.....	86
Εικόνα 53 Υπολογισμός υπέρτασης.	87
Εικόνα 54 Σχηματικό ADE7878.....	88
Εικόνα 55 Πάνω όψη πλακέτας μικροελεγκτή.....	92
Εικόνα 56 Κάτω όψη πλακέτας μικροελεγκτή.....	93
Εικόνα 57. Αλληλεπίδραση χειριστή με H/N.....	93

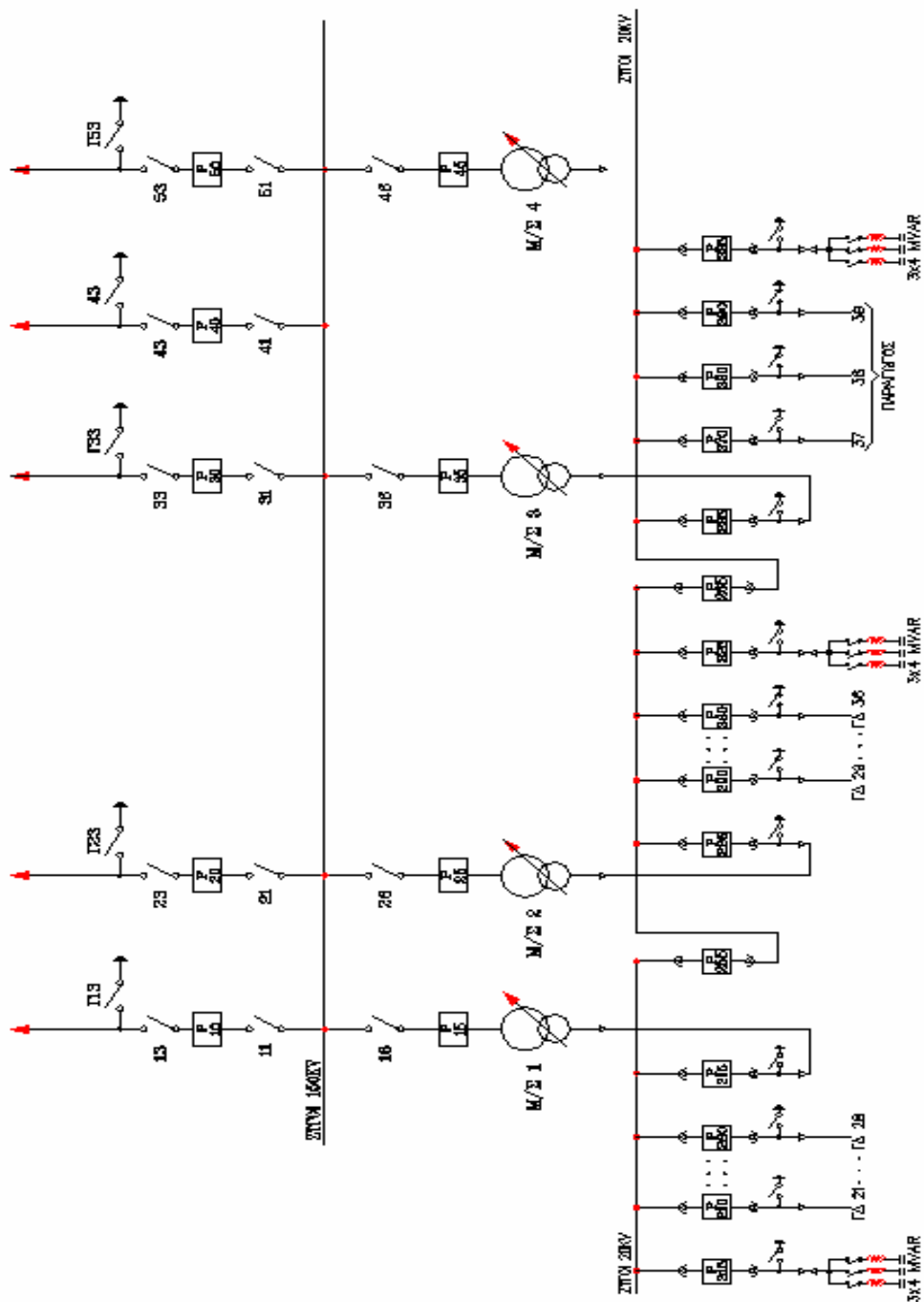
1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΤΟΝ ΑΠΑΡΤΙΖΟΥΝ

Ο υποσταθμός μεταφοράς είναι μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση που χρησιμοποιείται κυρίως για τον υποβιβασμό της τάσης. Σε γενικές γραμμές αποτελεί το διασυνδεδετικό κρίκο μεταξύ των διαφόρων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελείται από ένα πλήθος ηλεκτρικών, μηχανολογικών μονάδων κάνοντάς τον ένα από τα πιο σημαντικά συστήματα που βρίσκονται στο χώρο της βιομηχανίας, της ανάπτυξης της τεχνολογίας, των τηλεπικοινωνιών και των λειτουργικών συστημάτων.

Αναλόγως με την χρήση του διακρίνεται σε Υ/Σ διανομής ΜΤ, Υ/Σ μεταφοράς, κέντρο υπερύψηλης τάσης (ΚΥΤ), Υ/Σ ανυψώσεως, τερματικό. Ο Υ/Σ μεταφοράς χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των γραμμών μεταφοράς του συστήματος μεταξύ τους, ώστε να εξασφαλίζεται η καλύτερη διαχείριση και ασφάλεια τους [13].. Το μεγαλύτερο τμήμα του συστήματος στην Ελλάδα βρίσκεται στα 150 kV. Στον Υ/Σ μεταφοράς υπάρχει συνήθως ενσωματωμένος και ένας Υ/Σ διανομής στα 20 kV. Τέλος τα ΚΥΤ είναι υποσταθμοί μεταφοράς που διαχειρίζονται 400 kV και άνω. Η περιγραφή του Υ/Σ 150/20 kV της διπλωματικής εργασίας, θα ακολουθήσει την διαδικασία εκπόνησης μιας μελέτης.

1.1 ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ

Κάθε έτος ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, για την Ελλάδα ο ΑΔΜΗΕ εκπονεί προσχέδιο Μελέτης Αναπτύξεως του Συστήματος Μεταφοράς (ΜΑΣΜ) το οποίο υποβάλλεται στην Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). Η ΡΑΕ, λαμβάνοντας υπ' όψη την υποχρέωση του ΑΔΜΗΕ να διασφαλίζει την απρόσκοπτη πρόσβαση στο Σύστημα, κατά τον πιο οικονομικό, διαφανή και άμεσο τρόπο και χωρίς διακρίσεις μεταξύ των Χρηστών ή κατηγοριών Χρηστών, προτείνει στον ΑΔΜΗΕ τις τροποποιήσεις και συμπληρώσεις του προσχεδίου ΜΑΣΜ που κρίνει αναγκαίες. Η ΜΑΣΜ έχει χρονικό ορίζοντα πέντε έτη και περιλαμβάνει προγραμματισμό για όλα τα έργα και τις επεκτάσεις. Η ΜΑΣΜ περιλαμβάνει τεχνική περιγραφή και προδιαγραφές, χρονοδιαγράμματα, απαλλοτριώσεις, περιβαλλοντικές μελέτες, προμήθεια υλικών. Το ενδεικτικό Μονογραμμικό είναι το πρώτο βήμα που καθορίζει την περιγραφή ενός Υ/Σ με βάση την επικείμενη μελέτη.



Εικόνα 1 Μονογραμμικό διάγραμμα Υ/Σ 150kV.

Στο μονογραμμικό διάγραμμα παρουσιάζονται κάποια σύμβολα που αντιστοιχούν στα στοιχεία του Υ/Σ. Διακρίνονται στα 150kV οι μετασχηματιστές υποβιβασμού, οι διακόπτες, οι αποζεύκτες, οι ζυγοί. Στα 20kV επίσης υπάρχουν οι ζυγοί, οι διακόπτες αναχωρήσεως, ο διασυνδετικός, ο διακόπτης Μ/Σ, οι πυκνωτές αντιστάθμισης. Επιπρόσθετα, στο μονογραμμικό διάγραμμα υπάρχουν τα στοιχεία που σχετίζονται

με την βασική λειτουργία του Υ/Σ που είναι ο υποβιβασμός της τάσης από τα 150kV στα 20 kV.

1.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ-ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για να γίνει η επιλογή του κατάλληλου οικοπέδου για την ανέγερση ενός υποσταθμού σε μια περιοχή, η Διεύθυνση Νέων Έργων Μεταφοράς (ΔΝΕΜ) του ΑΔΜΗΕ διενεργεί έρευνα σε συνεργασία με τους εμπλεκόμενους Τομείς και Διευθύνσεις με στόχο να πληροί όσο το δυνατόν περισσότερα από τα κάτωθι κριτήρια.

- Κατάλληλο από περιβαλλοντικής άποψης
- Στο κέντρο βάρους των φορτίων
- Σε κατάλληλη θέση για τη σύνδεση με τη ΓΜ
- Καλή ειδική αντίσταση του εδάφους
- Οδική πρόσβαση
- Σχετικά επίπεδο έδαφος

Η ειδική αντίσταση του εδάφους είναι ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια επιλογής γηπέδου καθώς καθορίζει την διαμόρφωση του δικτύου γείωσης για την ασφάλεια του προσωπικού και του ηλεκτρομηχανολογικού υλικού. Η αντίσταση του εδάφους μετριέται με την μέθοδο Wenner τεσσάρων ηλεκτροδίων και πρέπει να έχει τιμές έως 1 Ω για ρεύμα σφάλματος προς την γη 30kA και διάρκεια σφάλματος 1 sec [1].

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει τοπογραφική μελέτη και η προβλεπόμενη ανάπτυξη, χωροθέτηση του Η/Μ εξοπλισμού. Στη συνέχεια αφού αποκτηθούν οι αδειοδοτήσεις από τις αντίστοιχες υπηρεσίες όπως την αρχαιολογία και η περιβαλλοντική άδεια για την οποία χρειάζεται η αντίστοιχη μελέτη τελικά το οικόπεδο μπορεί να αποκτηθεί μέσω φιλικού διακανονισμού ή απαλλοτρίωσης.

1.3 ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

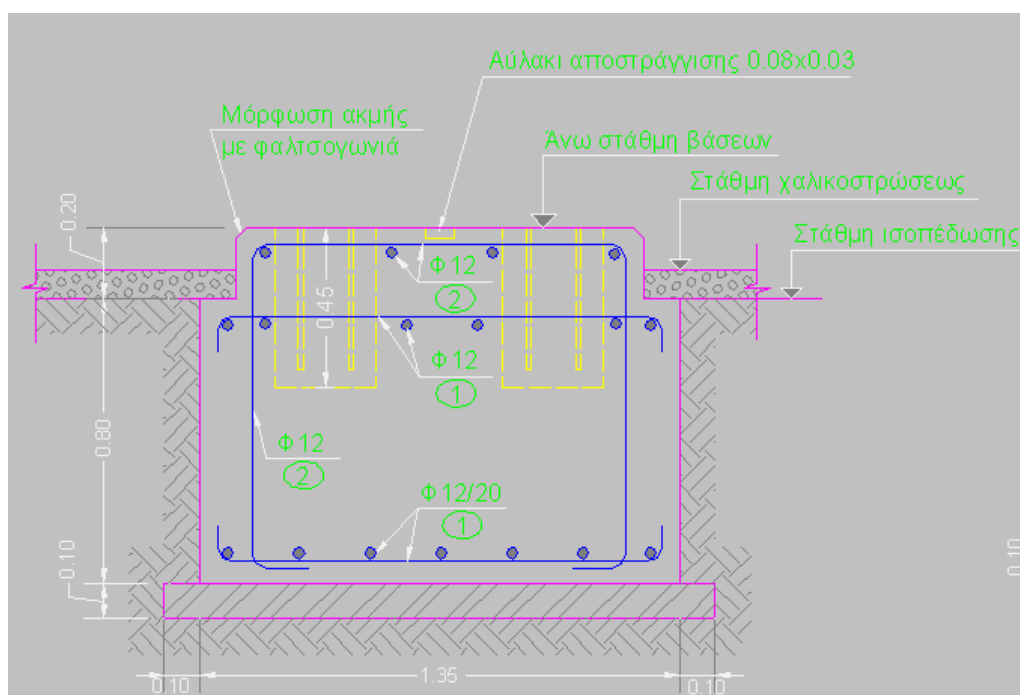
Ένας υποσταθμός έχει ένα σύνολο ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που πρέπει να πατήσει γερά στην γη για την ασφάλεια όλης της κατασκευής και του

προσωπικού. Για κάθε μονάδα του Υ/Σ όπως ο Μ/Σ, ο διακόπτης, τα κριώματα στήριξης ζυγών πρέπει να γίνει ξεχωριστή μελέτη σχεδιασμού βάσης.

Μια τέτοια μελέτη συμπεριλαμβάνει αναλυτική περιγραφή των φορτίων όπως στατική τάνυση, βάρος, ανεμοπίεση, δύναμη από βραχυκύκλωμα, δύναμη λειτουργίας, φορτία από σεισμό μαζί με τα διανύσματά τους. Οι κατασκευαστές Η/Μ εξοπλισμού είναι υπεύθυνοι για αναλυτική αναφορά αυτών των δυνάμεων.

Με βάση τις δυνάμεις, τα σημεία και τον τρόπο διασύνδεσης, αγκύρια, ο πολιτικός μηχανικός επιλέγει τα υλικά και τη διαμόρφωση της βάσης. Δηλαδή τι μίγμα τσιμέντου, διατομή σκυροδέματος, αριθμό οπών για την τοποθέτηση των αγκυρίων θα χρησιμοποιήσει.

Στα έργα πολιτικού μηχανικού περιλαμβάνεται μια κάτοψη με όλες τις βάσεις του Η/Μ εξοπλισμού, τους δρόμους, τα κανάλια οδεύσεως καλωδίων και σωλήνων, πιθανά κτήρια καθώς και γενική περιγραφή όλων των παραπάνω με την μορφή υπομνήματος.



Εικόνα 2 Τομή βάσης για κριώμα στήριξης 150kV.

Στο παραπάνω σχέδιο φαίνεται μια τομή βάσης στήριξης κριώματος μονωτήρα 150 kV. Παρατηρούνται οι οπές στις οποίες τοποθετούνται τα αγκύρια στήριξης του κριώματος.

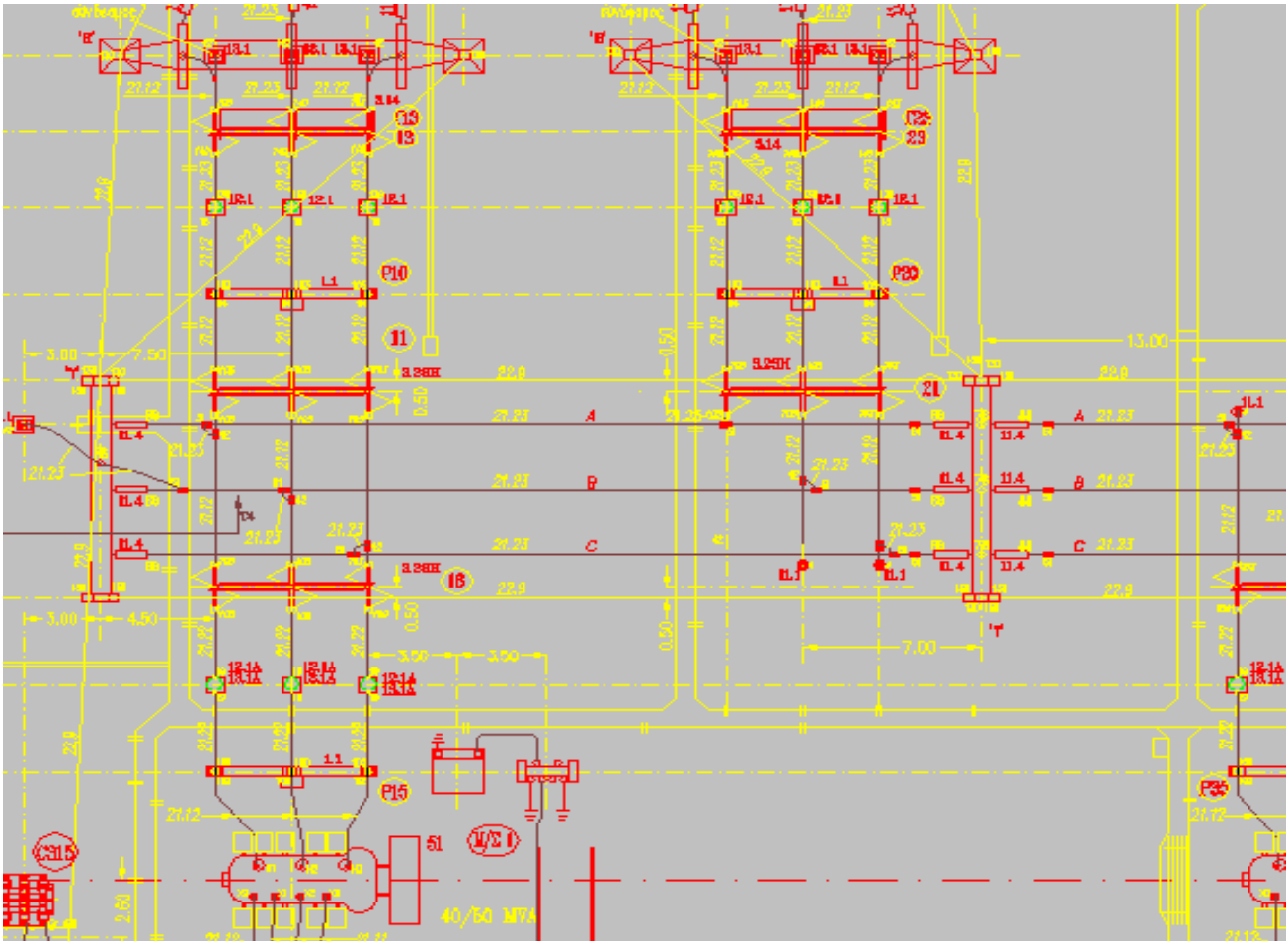
1.4 ΚΑΤΟΨΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Η κάτοψη του Υ/Σ είναι από τις πρώτες μελέτες που πραγματοποιείται. Πρόκειται για μία από τις πιο βασικές καθώς σε αυτή θα φαίνεται η χωροθέτηση του εξοπλισμού και το πιο σημαντικό οι αποστάσεις ασφαλείας. Οι πιο σπουδαίες αποστάσεις ασφαλείας στον Υ/Σ είναι αυτές που έχουν να κάνουν με την διάσπαση του διηλεκτρικού όπως είναι ο αέρας από αγωγό σε αγωγό ή από αγωγό σε γειωμένο σημείο το οποίο μπορεί να είναι ένα όχημα αλλά και φυσικά ένας άνθρωπος. Οι αποστάσεις ασφαλείας για την αντιμετώπιση του τόξου σε γειωμένο σημείο είναι 1,5 μέτρο στα 150 kV και 20 εκατοστά στα 20 kV, δηλαδή 1000 φορές μικρότερο από το μέγεθος της τάσης. Η απόσταση ασφαλείας από αγωγό σε αγωγό είναι η διπλάσια της απόστασης από αγωγό σε γειωμένο σημείο [2]. Βέβαια η επαφή οποιαδήποτε μεταλλικού σημείου όταν ο υποσταθμός είναι υπό τάση πρέπει να αποφεύγεται.

Στην κάτοψη φαίνεται αναλυτικά η διάταξη και το περιεχόμενο του Υ/Σ, ο οποίος αποτελείται κυρίως από τις πύλες 150 kV, τους ζυγούς, τους μετασχηματιστές και τις αναχωρήσεις 20 kV. Μέσα σε αυτά τα τμήματα διακρίνονται οι διακόπτες, οι αποζεύκτες, οι Μ/Σ εντάσεως, οι Μ/Σ τάσεως, οι πυκνωτές, τα αλεξικέραυνα και οι κυματοπαγίδες. Στην κάτοψη δεν παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του Η/Μ εξοπλισμού αλλά πρέπει να φαίνονται αναλυτικά τα ικριώματα στήριξης, οι μονωτήρες, οι αγωγοί ΥΤ, ΜΤ, οι ζυγοί ΥΤ, ΜΤ και οι σύνδεσμοι μεταξύ τους. Οι ονομασίες των παραπάνω πρέπει να είναι τυποποιημένες για να μπορεί ο κατασκευαστής να βρίσκει το κάθε εξάρτημα και να το τοποθετεί στη σωστή του θέση.

Σε μια κάτοψη φαίνονται οι στήλες τις αντικεραυνικής προστασίας και οι αγωγοί που τις συνδέουν. Μια σωστή αντικεραυνική μελέτη πρέπει να καλύπτει όλο τον Η/Μ εξοπλισμό.

Τέλος σχεδιάζονται διαφορετικές κατόψεις για τον περιμετρικό φωτισμό και τους ρευματοδότες του Υ/Σ. Αυτές οι καταναλώσεις παίρνουν παροχή κατευθείαν από τον πίνακα Ε.Ρ.

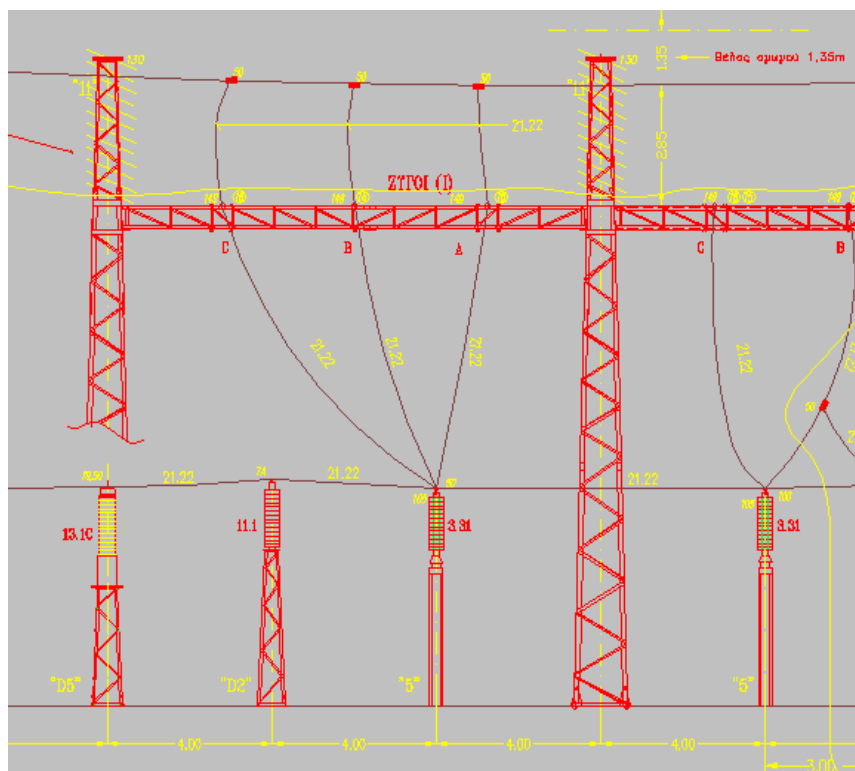


Εικόνα 3 Τμήμα κάτωσης Υ/Σ 150 KV.

1.5 ΤΟΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Οι τομές είναι σχέδια που συμπληρώνουν την κάτοψη του Υ/Σ. Φτιάχνονται κυρίως στα επίφοβα σημεία, πιο συγκεκριμένα στις διασταυρώσεις ζυγών, μεταβάσεις από ψιλότερα σημεία σε χαμηλότερα ή το αντίθετο, συνδέσεις γραμμών με πύλες και σε σημεία υψηλού ενδιαφέροντος με πολλές λεπτομέρειες όπως ζυγοί 20 kV, πυκνωτές ή διακόπτες 150 kV. Οι τομές δημιουργούνται για να βοηθήσουν τον κατασκευαστή γι' αυτό είναι πολύ σημαντικές για την σωστή υλοποίηση του Υ/Σ. Οι αποστάσεις ασφαλείας είναι πιο κατανοητές και βοηθούν στην διευκρίνηση των σημείων σύνδεσης των αγωγών. Στις τομές φαίνονται τα ύψη των κριωμάτων και των μονωτήρων στήριξης. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες κριωμάτων όπως αυτά που στηρίζουν το Η/Μ εξοπλισμό, τους ζυγούς, τους Μ/Σ τάσεως και εντάσεως. Το καθ' ένα απ' αυτά έχει τη δική του βάση, δομή και όγκο ανάλογα με τα βάρη και τις απαιτήσεις του υλικού που στηρίζουν. Τα κριώματα των ζυγών είναι από τις πιο

συμπαγείς και στιβαρές μεταλλικές συσκευές, καθώς εκτός από τη στήριξη των ζυγών πρέπει να αντέχουν και τις δυνάμεις Laplace λόγω βραχυκυκλώματος.



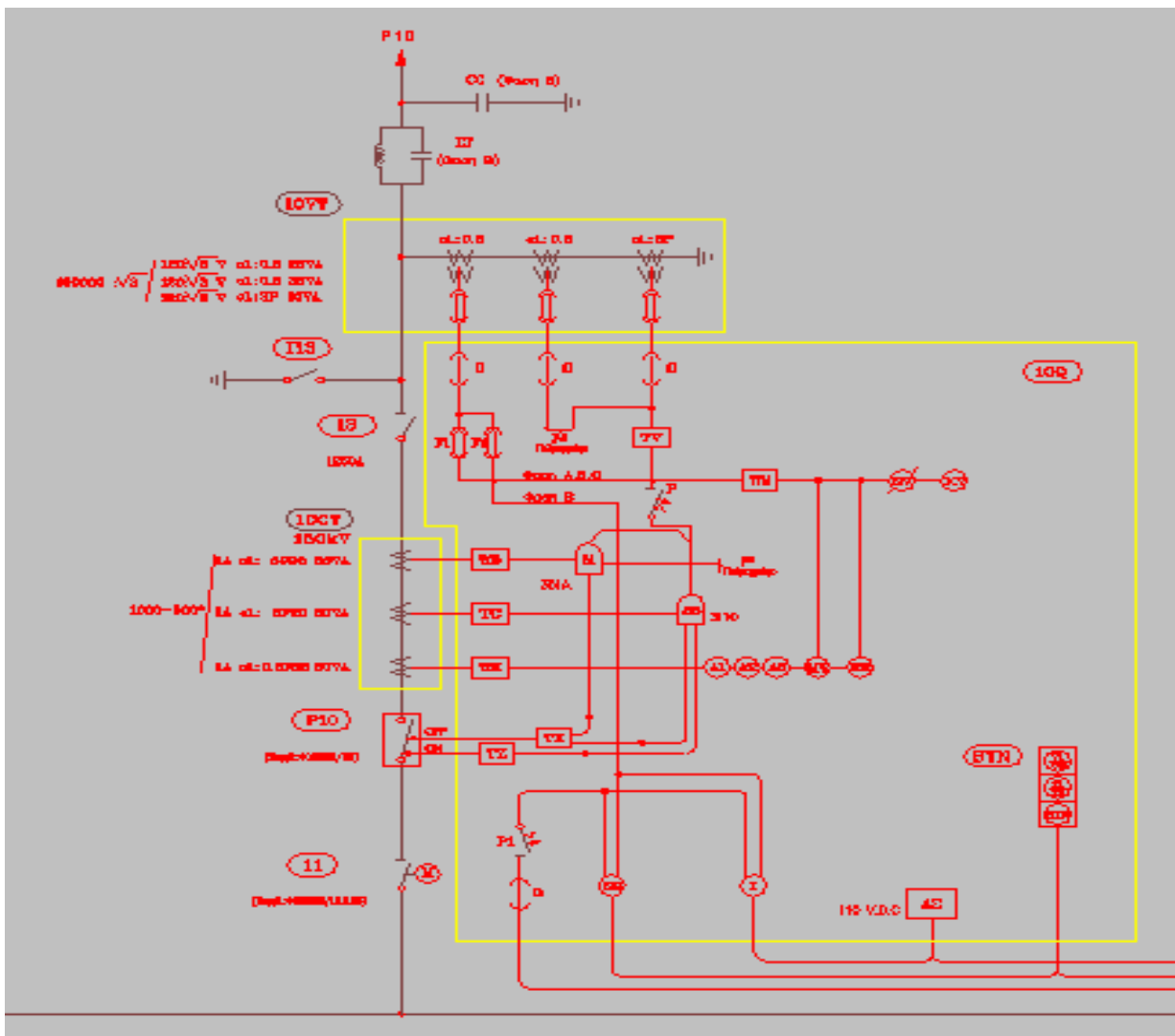
Εικόνα 4 Τμήμα τομής Υ/Σ 150 kV.

1.7 ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Το μονογραμμικό σχέδιο παρουσιάζει τις βασικές συνδέσεις και λειτουργίες του Υ/Σ. Σε αυτό φαίνονται όλα τα στοιχεία του Υ/Σ, όπως διακόπτες, αποζεύκτες, Μ/Σ, πυκνωτές αλλά και όργανα μέτρησης, οι ηλεκτρονόμοι προστασίας κ.α. Στο μονογραμμικό επιβάλλεται να φαίνεται πως συνδέονται όλες αυτές οι συσκευές και με τι τρόπο αλληλεπιδρούν. Οι κάθε γραμμή πρέπει να έχει διαφορετική τυποποίηση με βάση το σήμα που κυκλοφορεί. Οι ηλεκτρονόμοι στέλνουν εντολές στους διακόπτες και η γραμμή αυτή πρέπει να ξεχωρίζει από εκείνη που δηλώνει την υψηλή τάση. Στο παρακάτω μονογραμμικό η γραμμή της υψηλής τάσης είναι πιο έντονη από τα σήματα ελέγχου ή από τις μετρήσεις. Επίσης διακρίνονται και δύο ηλεκτρονόμοι, ο 85 και ο 51. Αυτοί οι αριθμοί είναι ορισμένοι κατά IEEE C37.2-1996. Ο ένας δηλώνει τον ηλεκτρονόμο αποστάσεως ενώ ο άλλος τον ηλεκτρονόμο υπερεντάσεως. Κάποιες ακόμα προστασίες με βάση το IEEE είναι:

- Προστασία Υποτάσεως
- Προστασία Υπέρτασης
- Προστασία Συχνότητας
- Διαφορική Προστασία
- Προστασία σφάλματος γης

Σήμερα οι προστασίες στους υποσταθμούς γίνονται από τεχνολογικά εξελιγμένες συσκευές που διαθέτουν επεξεργαστές ή μικροελεγκτές και έχουν τη δυνατότητα να κάνουν αρκετές δύσκολες μαθηματικές πράξεις οι οποίες αφορούν τη σωστή λειτουργία ενός τριφασικού συστήματος. Αυτές είναι υπεύθυνες στο να δίνουν εντολές στους διακόπτες για άνοιγμα ή κλείσιμο σε περίπτωση σφάλματος.



Εικόνα 5: Τμήμα μονογραμμικού Υ/Σ 150 kV.

1.8 ΣΧΗΜΑΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΥΛΙΚΟΥ

1.8.1 Εναλλασσόμενη τάση

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει η μελέτη του ελέγχου και της λειτουργίας του ηλεκτρομηχανολογικού υλικού του Υ/Σ η οποία θα παρουσιαστεί με μια σειρά σχηματικών σχεδίων. Ένα ηλεκτρολογικό σύστημα ξεκινάει από την παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας Υ/Σ χρειάζεται και την εναλλασσόμενη τάση 230V φασική και την 380V πολική αλλά και τη συνεχή τάση 110V ή 220V. Ο λόγος της χρησιμότητας της συνεχούς τάσης είναι για τον έλεγχο των ηλεκτρονόμων και των ηλεκτρονικών συσκευών του Υ/Σ καθώς και της αδιάλειπτης παροχής της που μπορεί να υπάρχει από τους συσσωρευτές.

Η AC τάση έρχεται από ένα Μ/Σ εσωτερικής υπηρεσίας 20KV/380V που σε περίπτωση απώλειας τάσης του Υ/Σ παύει να υφίσταται. Τα φορτία της AC τάσης σε έναν υποσταθμό είναι τα παρακάτω.

- Φόρτιση συσσωρευτών
- Φωτισμός κτιρίου ελέγχου
- Περιμετρικός φωτισμός
- Φωτισμός πινάκων
- Θέρμανση κτιρίου ελέγχου
- Ανεμιστήρες Μ/Σ
- Θέρμανση εξοπλισμού 150 kV
- Θέρμανση εξοπλισμού 20 kV

Σε κάποια από αυτά τα φορτία πρέπει να υπάρχει επιτήρηση από τις δικές τους ασφάλειες όπως η φόρτιση των συσσωρευτών, η απώλεια θέρμανσης και ο φωτισμός. Γνωρίζοντας ότι η AC τάση είναι η πρώτη που θα πέσει πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να γίνει ο έλεγχος του εξοπλισμού. Αυτός ο έλεγχος γίνεται από τη συνεχή τάση των συσσωρευτών.

1.8.2 Συνεχής τάση

Η συνεχής τάση χρειάζεται για την τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου των πινάκων προστασίας και ελέγχου αλλά και του Η/Μ εξοπλισμού όπως οι διακόπτες, αποζεύκτες, Μ/Σ.

- Διακόπτες πυλών 150 kV
- Αποζεύκτες 150 kV
- Διακόπτες αναχωρήσεων 20 kV
- Διακόπτες Μ/Σ
- Πίνακες ελέγχου και προστασίας
- Προστασία εξοπλισμού
- Σημάνσεις Σ.Ρ.
- Γενικές σημάνσεις
- Σημάνσεις ΚΕΕ
- Συγχρονισμός

Γενικά είναι καλό να ασφαλίζουμε κάθε σήμα που κατευθύνεται σε ξεχωριστά κυκλώματα, να του δίνουμε ξεχωριστή ονομασία και να το επιτηρούμε σε περίπτωση πτώσης του. Οι ασφάλειες αυτές είναι συνήθως της τάξης των 10 Α.

1.8.3 Πύλη 150kV

Η πύλη των 150 KV ονομάζεται έτσι γιατί είναι η είσοδος μιας γραμμής σε έναν Υ/Σ και καταλήγει στους ζυγούς του. Αποτελείται από κάποια βασικά στοιχεία που συμβάλλουν στην σωστή λειτουργία και την προστασία του Υ/Σ και της γραμμής. Τα πρώτα στοιχεία που τοποθετούνται στην πύλη είναι αυτά που έχουν να κάνουν με την φερέσυχη επικοινωνία και είναι ο πυκνωτής ζεύξης και η κυματοπαγίδα. Αυτά τα δύο στοιχεία είναι δύο φίλτρα τα οποία απομονώνουν την συχνότητα του σήματος που χρησιμοποιείται για τις τηλεπικοινωνίες.

Στη συνέχεια τοποθετούνται οι Μ/Σ τάσεως που μετασχηματίζουν την τάση της γραμμής στα επίπεδα μέτρησης της από 150kV/120V. Τα VTs βγάζουν τρία τυλίγματα για τρεις διαφορετικές χρήσεις και κατηγοριοποιούνται με βάση την κλάση

τους, αν είναι 3P ή 0,5. Ένα τύλιγμα χρησιμοποιείται για την προστασία της γραμμής και αυτό είναι κλάσης 3P ενώ άλλο ένα χρειάζεται για τις μετρήσεις του Υ/Σ.

Ακολουθεί ο χειροκίνητος αποζεύκτης με τον γειωτή. Είναι δύο στοιχεία που αλληλοασφαλίζονται μηχανικά και εξασφαλίζουν την απόζευξη της γραμμής από τον Υ/Σ για την συντήρηση της πύλης. Είναι πολύ σημαντικό να γειώνεται η γραμμή, κατά τη διάρκεια συντήρησης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του προσωπικού σε περίπτωση που βρεθεί υπό τάση.

Οι Μ/Σ ρεύματος μπαίνουν μετά τον αποζεύκτη και μετασχηματίζουν το ρεύμα σε επίπεδα μέτρησης, συνήθως, 1 Α. Έχουν και αυτά τρεις διαφορετικές κλάσεις αναλόγως την χρήση τους και χρησιμοποιούνται από τους ηλεκτρονόμους και από τα μετρητικά όργανα.

Ο διακόπτης είναι το βασικό εξάρτημα της πύλης 150 kV. Όλοι οι διακόπτες χρησιμοποιούν ένα μονωτικό υλικό, αέρα, λάδι ή SF6 και πάντα επιτηρούν την στάθμη του και την ικανότητα μόνωσής του. Ο διακόπτης δεν αποφασίζει μόνος του για το πότε θα ανοίξει ή κλείσει αλλά περιμένει εντολή από τους ηλεκτρονόμους προστασίας. Η ρόλος του Η/Ν είναι να κόψει το φορτίο που περνάει από την πύλη και είναι της τάξεως εκατοντάδων Amp αλλά και να αποσβεσθεί το τόξο που θα δημιουργηθεί ακαριαία, στο οποίο συμβάλλει το μονωτικό υλικό. Λόγω της σημαντικής του λειτουργίας, ο διακόπτης παίρνει μέρος σε αρκετές αλληλοασφαλίσεις όπως αυτή με τον αποζεύκτη. Δηλαδή δεν μπορεί να δουλέψει ο αποζεύκτης όταν ο διακόπτης είναι κλειστός γιατί έτσι θα δημιουργηθεί τόξο.

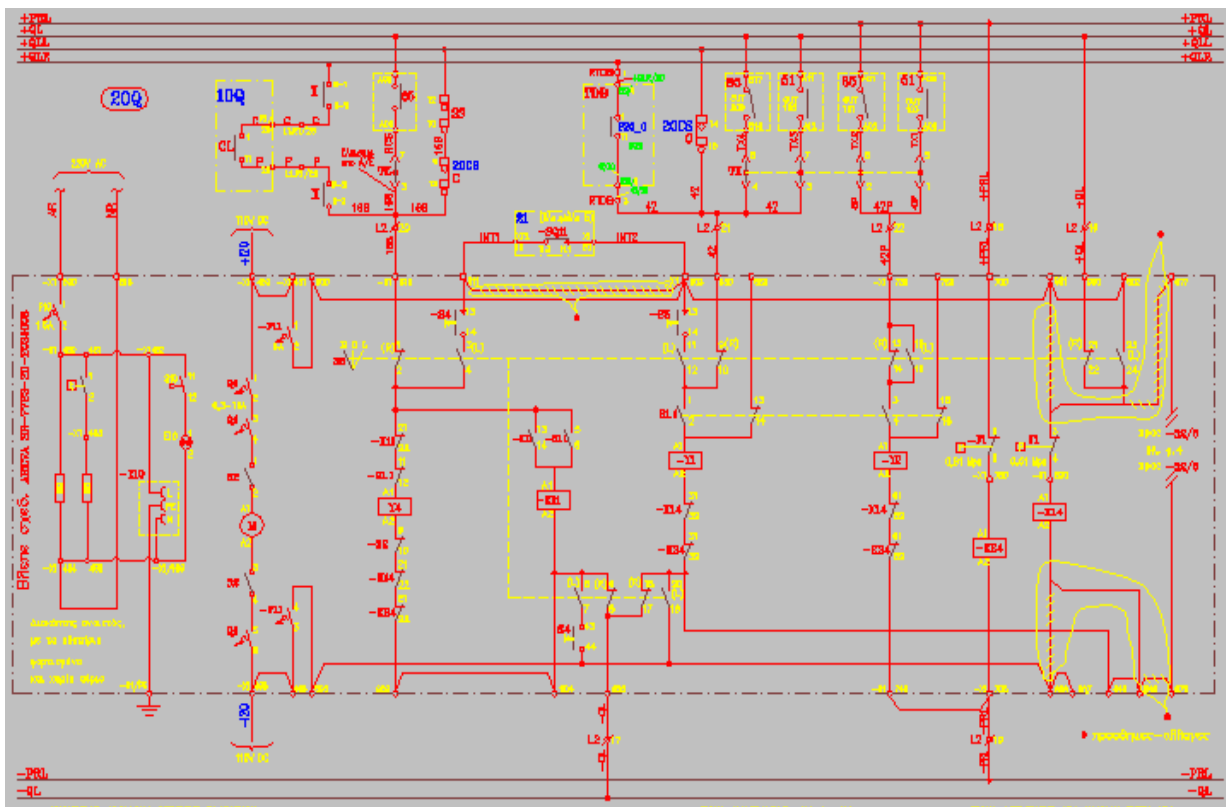
Στο τέλος ο ηλεκτροκίνητος αποζεύκτης απομονώνει την πύλη από τον υπόλοιπο Υ/Σ. Όπως ο αποζεύκτης της γραμμής έτσι και αυτός αλληλοασφαλίζεται με τον διακόπτη.

Τα κυριότερα σήματα σφαλμάτων μιας πύλης 150kV είναι τα παρακάτω.

- Πτώση 85. Είναι η προστασία αποστάσεως και έχει να κάνει με τον εντοπισμό της απόστασης ενός σφάλματος και αναλόγως σε ποιά ζώνη βρίσκεται να δώσει ή να μη δώσει εντολή στον διακόπτη.
- Πτώση 51. Ο ηλεκτρονόμος υπερέντασης μόλις εντοπίσει ένα σφάλμα δίνει εντολή στον διακόπτη να ανοίξει.
- Δέσμευση αυτόματης επαναφοράς. Σε κάποιες λειτουργίες του διακόπτη χρειάζεται να δεσμεύεται η αυτόματη επαναφορά όπως στην περίπτωση που είναι αφόρτιστα ελατήρια.

- Χαμηλή πίεση SF6. Η πίεση του μονωτικού είναι πολύ σημαντική για την ασφαλή λειτουργία του διακόπτη.
- Αφόρτιστα ελατήρια. Οι αυτόματοι διακόπτες για να ανοίξουν πρέπει να έχουν φορτίσει τα ελατήρια.
- Απώλεια τροφοδοσίας κινητήρων
- Απώλεια θέρμανσης. Υπάρχουν αντιστάσεις που κρατάνε σε επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας τον διακόπτη.
- Απώλεια Σ.Ρ

Μια μελέτη πύλης 150 kV συμπεριλαμβάνει τα σχηματικά διαγράμματα λειτουργίας AC, DC, το σχηματικό διάγραμμα προστασίας, σημάτων και το σχηματικό διάγραμμα συγχρονισμού. Αυτή μπορεί να υποστηρίζεται από τα κατασκευαστικά σχέδια των πινάκων και τα καλωδιακά.



Εικόνα 6: Φύλο σχηματικού διαγράμματος ανοίγματος κλεισίματος διακόπτη.

1.8.4 Μετασχηματιστής 150/20 kV

Ο Μ/Σ αποτελεί την πιο σημαντική ηλεκτρομηχανολογική συσκευή του Υ/Σ καθώς έχει το υψηλότερο κόστος και αυτό γιατί είναι η πιο ακριβή από άποψη αγοράς αλλά και συντήρησης. Η ονομαστική ισχύς του δηλώνει και το ανώτατο όριο φόρτισης του Υ/Σ. Αν εγκατασταθεί ένας Μ/Σ 50MVA δεν μπορούν να μπουν φορτία παραπάνω από αυτά. Ο Μ/Σ 150/20KV είναι υποβιβασμού τάσης και συνδέεται σε Δ/Υ. Η κάθε συνδεσμολογία της έχει και τα προτερήματά της. Το τρίγωνο εφαρμόζεται για την κατάπνιξη των αρμονικών και ο αστέρας για την δημιουργία του ουδετέρου.

Ο Μ/Σ απομονώνεται από τον υπόλοιπο Υ/Σ μέσω δικού του ξεχωριστού διακόπτη ο οποίος παίρνει εντολές από τους ηλεκτρονόμους προστασίας. Οι προστασίες του Μ/Σ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε αυτές που έχουν να κάνουν με τα αισθητήρια που βρίσκονται πάνω στον Μ/Σ και σε αυτές που έχουν να κάνουν με τους ηλεκτρονόμους προστασίας.

- Ηλεκτρονόμος Buchholz. Τοποθετείται μεταξύ του δοχείου του Μ/Σ και του δοχείου διαστολής και ανιχνεύει κυματισμό του λαδιού ή φυσαλίδες αερίου μέσα σ' αυτό, που δημιουργούνται από ηλεκτρικό τόξο ή άλλες αιτίες.
- Ασφαλιστική Βαλβίδα. Ενεργοποιείται με υψηλή πίεση του λαδιού και δίνει σήμανση.
- Θερμόμετρο λαδιού. Ενδεικτικό θερμόμετρο, εμβαπτιζόμενο εντός του λαδιού με θερμοστάτη δύο σταθμών ενεργοποίησης: σήμανση, πτώση.
- Ηλεκτρονόμος θερμοκρασίας τυλίγματος. Συσκευή προσομοίωσης θερμοκρασίας, έχει δύο επαφές, η μία δίνει εκκίνηση των ανεμιστήρων και πτώση ενώ η άλλη δίνει σήμανση και πτώση.
- Ενδεικτική στάθμη λαδιού. Η στάθμη του λαδιού στο δοχείο του Μ/Σ φαίνεται εξωτερικά σε ενδεικτικό όργανο, εφοδιασμένο με επαφές σήμανσης, για την πτώση της στάθμης.

Οι προστασίες από τους ηλεκτρονόμους είναι:

- Πτώση 51. Η/Ν υπερεντάσεως σταθερού και αντιστρόφου χρόνου φάσεως γης.
- Πτώση 64. Η/Ν σφάλματος γης ουδέτερου κόμβου.
- Πτώση 87. Η/Ν διαφορική προστασίας. Από τις πιο σημαντικές προστασίες, ελέγχει την διαφορά του ρεύματος εισόδου με το αθροιστικό ρεύμα όλων των εξόδων.

Επειδή τα σήματα είναι πολλά, χρησιμοποιούνται δισταθοί ηλεκτρονόμοι για να στέλνουν εντολές στο διακόπτη του Μ/Σ και στους διακόπτες των αναχωρήσεων.

Στα 20 kV τοποθετείται διακόπτης για την διασύνδεση του Μ/Σ με τους ζυγούς των 20 kV και στην περίπτωση που υπάρχουν δύο ή τρεις Μ/Σ πρέπει να μπου διακόπτες διασύνδεσης ζυγών. Ο ρόλος των διακοπών διασύνδεσης είναι να μπορούν να εξυπηρετηθούν κάποιες αναχωρήσεις σε περίπτωση βλάβης κάποιου Μ/Σ. Η παράλληλη λειτουργία δύο Μ/Σ απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και ξεχωριστή μελέτη καθώς πρέπει να πληροί συγκεκριμένα αυστηρά κριτήρια.

1.8.5 Αναχώρηση 20 kV

Οι αναχωρήσεις του Υ/Σ συνδέουν την γραμμή διανομής ΜΤ με τους ζυγούς ΜΤ και αποτελούνται από τον διακόπτη των 20 kV, τους Μ/Σ εντάσεως μετρήσεων και προστασίας, τον γειωτή και το ακροκιβώτιο καλωδίων. Μπορούν να βρίσκονται σε εξωτερικό χώρο (κλιματαριά) και να ελέγχονται από τους πίνακες προστασίας ή να είναι μέταλλο ενδεδυμένο μέσα σε μονωτικό υλικό. Η προστασίες που ανοίγουν μια αναχώρηση είναι η υπερέντασή της και η διαφορική του Μ/Σ 150/20 kV. Οι σημαντικότερες σημάνσεις μιας αναχώρησης είναι:

- Απώλεια Σ.Ρ
- Αφόρτιστα ελατήρια διακόπτη
- Υ/Ε φάσεων
- Υ/Ε γης
- Βλάβη Η/Ν
- Αυτόματη επαναφορά

1.8.6 Αντιστάθμιση με πυκνωτές στα 20 kV

Η αντιστάθμιση του συνημίτονου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των ενεργειακών συστημάτων γιατί μειώνει την άεργο ισχύ που δημιουργείται λόγω των επαγωγικών φορτίων και ταυτοχρόνως ελαττώνει την κατανάλωση. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε υποσταθμό, τουλάχιστον ένα ικρίωμα με μία ή τρεις βαθμίδες από πυκνωτές της τάξεως κάποιων MVar, για παράδειγμα 4,3MVar. Ένα σύστημα αντιστάθμισης έχει μονοφασικούς ηλεκτροκίνητους αποξεύκτες, ένα τριπολικό διακόπτη, πηνία εξομάλυνσης και τις βαθμίδες πυκνωτών. Το σύστημα ελέγχεται από την αυτόματη μονάδα ελέγχου που συγκρίνει συνέχεια την μετρούμενη άεργο ισχύ με την επιθυμητή και αναλόγως προσθέτει ή αφαιρεί βαθμίδες πυκνωτών. Επίσης υπάρχει και εδώ ηλεκτρονόμος υπερέντασης φάσεων, κοινό κόμβου και διαφορική Μ/Σ που ενεργεί πάνω στον διακόπτη των πυκνωτών. Οι κυριότερες σημάνσεις της αντιστάθμισης με πυκνωτές είναι:

- Παροχή Σ.Ρ
- Ασυμμετρία κόμβων κάθε βαθμίδας
- Βλάβη H/N
- Βλάβη βαθμίδας
- Βλάβη συστήματος
- Απώλεια SF6

1.8.7 Πίνακας μετρήσεων Υ/Σ 150/20kV

Ο πίνακας μετρήσεων χρησιμοποιείται στα 20kV και ενσωματώνει όλα τα απαραίτητα όργανα μέτρησης και μορφοτροπείς που χρειάζεται για την ένδειξη των ηλεκτρικών μεγεθών. Όργανα μέτρησης χρησιμοποιούνται και σε άλλα σημεία στον Υ/Σ όπως τις πύλες 150kV και τις αναχωρήσεις 20kV. Τα βασικότερα όργανα μέτρησης είναι το βολτόμετρο, αμπερόμετρο, βατόμετρο, βαρόμετρο. Επειδή οι μετρήσεις αυτές χρειάζονται και για άλλα όργανα όπως τους ηλεκτρονόμους χρησιμοποιούνται οι μορφοτροπείς. Είναι συσκευές που μετατρέπουν ένα ηλεκτρικό μέγεθος σε αναλογικό σήμα, συνήθως από 0 ή 4 έως 20mA. Όλα αυτά τα όργανα μέχρι πρόσφατα τοποθετούνταν σε ένα πίνακα αλλά πλέον έχουν βγει σύγχρονα

ψηφιακά όργανα μέτρησης που μπορούν και υπολογίζουν όλες τις παραπάνω μετρήσεις και έχουν την δυνατότητα να φτιάχνουν και τα αντίστοιχα αναλογικά σήματα τους. Βέβαια σε αυτό έχει βοηθήσει η ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών, ψηφιακών και η εξέλιξη των ενσωματωμένων συστημάτων.

Ένα ψηφιακό όργανο μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών θα περιγραφεί στη συνέχεια της εργασίας.

2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΕΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια θεωρητική αναφορά των βασικών προστασιών σε υποσταθμό μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα η προστασία επιτυγχάνεται με ψηφιακούς ηλεκτρονόμους που βασίζονται στο διάβασμα των ηλεκτρικών σημάτων αναλογικά και την μετατροπή τους ψηφιακά. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά σε σύγκριση με τους παλιούς ηλεκτρομαγνητικούς Η/Ν. Το ψηφιακό σήμα επεξεργάζεται από ένα υπολογιστή που βρίσκεται μέσα στον Η/Ν, με βάση τις παραμέτρους που έχουν καθοριστεί από τον χρήστη και εκτός από τον εντοπισμό του σφάλματος μπορούν να εξαχθούν και συμπεράσματα για την φύση του σφάλματος. Το ψηφιακό σήμα μπορεί να αποσταλθεί σε άλλο Η/Ν ή Η/Υ μέσω του διαδικτύου. Οι ψηφιακοί Η/Ν έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής καθώς δεν έχουν κινούμενα μέρη και έχουν μεγάλη ακρίβεια ως προς την λειτουργία τους.

Θα αναλυθούν τρεις βασικές προστασίες που λαμβάνονται στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η προστασία υπερέντασης (51), αποστάσεως (85), διαφορική (87) κατά IEEE C37.2-1996.

2.1 Προστασία Υπερεντάσεως

Ο βασικότερος Η/Ν που εντάσσεται σε κάθε ηλεκτρικό σύστημα, δηλαδή όχι μόνο στα συστήματα μεταφοράς, είναι ο υπερεντάσεως. Είναι μια συσκευή που μετράει το ρεύμα που τη διαρρέει και το συγκρίνει με μια τιμή ρεύματος αναφοράς. Τα ρεύματα εισόδου στον Η/Ν είναι μετασχηματισμένα μέσω Μ/Σ ρεύματος με λόγο ανάλογα το φορτίο που διαρρέει ένα στοιχείο, δηλαδή αν είναι σε ένα διακόπτη 20 kV θα έχουν διαφορετικό λόγο από μια πύλη 150 kV. Το βασικό χαρακτηριστικό του Η/Ν υπερεντάσεως είναι ο εντοπισμός σφάλματος που δημιουργείται από κάποιο βραχυκύκλωμα. Βραχυκύκλωμα ή απλώς σφάλμα ονομάζεται η επαφή οποιουδήποτε υπό τάση τμήματος του συστήματος προς γη, ή προς γειωμένα μεταλλικά μέρη των εγκαταστάσεων ή των συσκευών, όπως επίσης και η επαφή δύο διαφορετικών φάσεων μεταξύ τους. Τα βραχυκυκλώματα μπορούν να διακριθούν σε μονοφασικά αν γίνονται μεταξύ μιας φάσης και της γης ή πολυφασικά (διφασικά ή τριφασικά) αν σε

αυτά εμπλέκονται περισσότερες φάσεις. Η συνηθέστερη κατηγορία βραχυκυκλωμάτων είναι τα μονοφασικά ως προς γη.

Τα βραχυκυκλώματα εκδηλώνονται ως απότομες υπερεντάσεις πολλαπλάσιες των κανονικών ρευμάτων φορτίου και αν επιτραπεί η ροή τους μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στην μόνωση, τήξη των αγωγών, πυρκαγιές και εκρήξεις. Επίσης τα τυλίγματα (γεννητριών, μετασχηματιστών, κ.α.) και οι ζυγοί των υποσταθμών μπορεί να υποστούν μηχανικές καταπονήσεις και βλάβες λόγω των υψηλών μαγνητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται από την ροή των μεγάλων ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Επομένως τα βραχυκυκλώματα πρέπει γρήγορα να απομακρύνονται από το σύστημα.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι μια κρουστική τάση διπλό εκθετικής μορφής που χαρακτηρίζεται από την εξίσωση

$$V(t) = U(e^{-a} \cdot 1^t - e^{-a} \cdot 2^t)$$

Τα χαρακτηριστικά μια τέτοιας τάσης είναι:

- α) Εύρος
- β) Διάρκεια μετώπου
- γ) Διάρκεια ουράς

Οι H/N υπερέντασης χωρίζονται σε δύο βασικούς τύπους, στους σταθερού χρόνου και στους αντιστρόφου χρόνου [16].

Οι σταθερού χρόνου ανεξάρτητα του μεγέθους της υπερεντάσεως λειτουργούν στον ίδιο χρόνο που καθορίζεται από την ρύθμιση τους.

Ενώ στους αντιστρόφου χρόνου, ο χρόνος λειτουργίας τους μειώνεται όσο η υπερένταση αυξάνεται. Αυτοί διακρίνονται σε απλού χρόνου, πολύ και εξαιρετικά αντιστρόφου χρόνου.

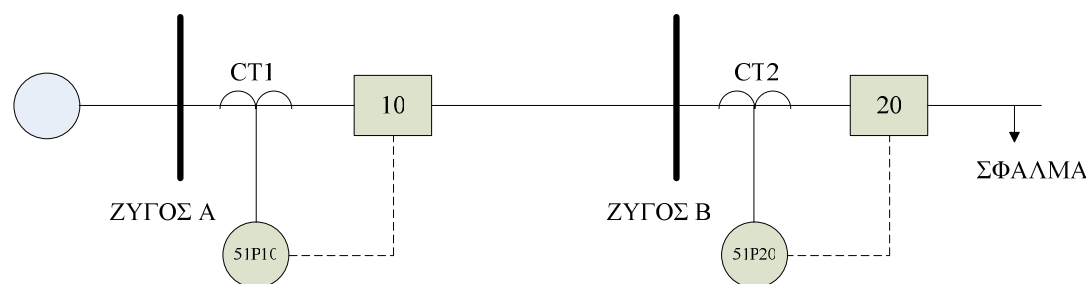
Ο H/N υπερέντασης έχει δύο ρυθμίσεις, το ρεύμα ρύθμισης (pick-up current) και το χρόνο καθυστέρησης (time delay).

Το ρεύμα ρύθμισης έχει να κάνει με το εύρος του κρουστικού κύματος. Το ρεύμα ρύθμισης πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αποφεύγεται η λειτουργία του H/N για καταστάσεις υπερφόρτισης ή μεταβατικές. Το ρεύμα ρύθμισης ορίζεται ως 120-150% του μέγιστου ρεύματος φόρτισης της γραμμής. Επίσης ο H/N υπερεντάσεως πρέπει να γνωρίζει το λόγο του M/Σ εντάσεως που έχει στις εισόδους του.

Ο χρόνος καθυστέρησης είναι το άθροισμα τριών χρόνων, του χρόνου λειτουργίας του διακόπτη, του χρόνου μετάδοσης του σήματος από τον Η/Ν στο διακόπτη ισχύος και του συντελεστή ασφαλείας. Ο χρόνος καθυστέρησης είναι πολύ σημαντικός γιατί καθορίζει τον ρόλο που έχει ο συγκεκριμένος Η/Ν στο σύστημα, δηλαδή σε δευτερεύον προστασία ή κύρια προστασία σε σχέση με το σφάλμα.

Τα σφάλματα έχουν μεγαλύτερο εύρος όσο είναι πιο κοντά στις μονάδες παραγωγής από τα απομακρυσμένα, οπότε είναι και μεγαλύτερος ο χρόνος εκκαθάρισής τους.

Για να ρυθμιστεί ένας ηλεκτρονόμος ώστε να συνεργάζεται σωστά με τους υπόλοιπους Η/Ν του συστήματος πρέπει να καθοριστεί ο χρόνος καθυστέρησης και το ρεύμα ρύθμισης. Οι Η/Ν υπερεντάσεως προστατεύουν το σύστημα που βρίσκεται δεξιά από το διακόπτη που ελέγχουν. Σε ένα σύστημα με μια πηγή στον ζυγό Α, μια γραμμή μεταφοράς από τον ζυγό Α προς το ζυγό Β και ένα φορτίο στο ζυγό Β, ο Η/Ν που βρίσκεται στον ζυγό Β καλύπτει μικρότερα ρεύματα βραχυκύκλωσης από αυτόν που βρίσκεται κοντά στην πηγή. Επομένως ξεκινάει η ρύθμιση από τον Η/Ν Β.



Εικόνα 7 Σύστημα δύο ζυγών, μια γραμμής μεταφοράς με δύο ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως.

1. Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης $I_{\min Fault}$ στο δεξιό άκρο του τμήματος του Η/Ν στο ζυγό Β. Τα ελάχιστα ρεύματα σφάλματος προκύπτουν είτε από υπολογισμούς όλων των τύπων βραχυκυκλωμάτων ως ποσοστό των τριφασικών βραχυκυκλωμάτων, είτε ως ποσοστό των ρευμάτων ονομαστικής φόρτισης.

2. Καθορισμός του ελάχιστου ρεύματος σφάλματος: $I_{\min 51P10} = \frac{I_{\min Fault}}{CTR_B}$ όπου CTR ο

λόγος Μ/Σ εντάσεως που αντιστοιχεί στο ζυγό Β.

3. Καθορισμός του ρεύματος ρύθμισης (pick-up current) του H/N 51P20:

$$I_{pu51P10} = \frac{I_{\min 51P10}}{N} \quad \text{όπου } N \text{ ένας συντελεστής ασφαλείας για τον οποίο ισχύει}$$

$1,5 \leq N \leq 2$. Η συνθήκη αυτή χρησιμοποιείται επειδή οι καμπύλες χρόνου

καθυστέρησης ως προς το λόγο $\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)$ των H/N υπερεντάσεως ξεκινούν από 1,5

φορές το I_{pu} και επειδή πρέπει ο H/N να αντιδρά, πριν το ρεύμα βραχυκύκλωσης

πάρει την τιμή I_{Fault} .

4. Καθορισμός του time dial setting H/N 51P20 έτσι ώστε ο πιο απομακρυσμένος από την πηγή τροφοδοσίας ηλεκτρονόμος να έχει τη γρηγορότερη αντίδραση. Επιλέγεται η πρώτη από τη σειρά καμπυλών του συγκεκριμένου τύπου H/N υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου.

Ο H/N στο ζυγό A λειτουργεί ως δευτερεύουσα προστασία για τον H/N στο ζυγό B και κύρια προστασία για το τμήμα συστήματος που βρίσκεται ανάμεσα τους.

Επομένως θα πρέπει να ισχύει $I_{pu51P10} = I_{pu51P20}$ υποθέτοντας ότι οι λόγοι μετασχηματισμού των Μ/Σ εντάσεως είναι ίσοι. Ο H/N στο ζυγό A πρέπει να αντιδρά πιο αργά για σφάλμα που βρίσκεται στην περιοχή του H/N στο ζυγό B. Για το χρόνο καθυστέρησης στον 51P10 ισχύει: $t_{op51P10} \geq t_{op51P20} + t_c$.

Όπου, $t_c = t_{B1} + t_{OT} + t_{SF}$.

t_{B1} : Ο χρόνος λειτουργίας του διακόπτη ισχύος P10.

t_{OT} : Ο χρόνος μετάδοσης του σήματος ελέγχου των H/N (overtravel time).

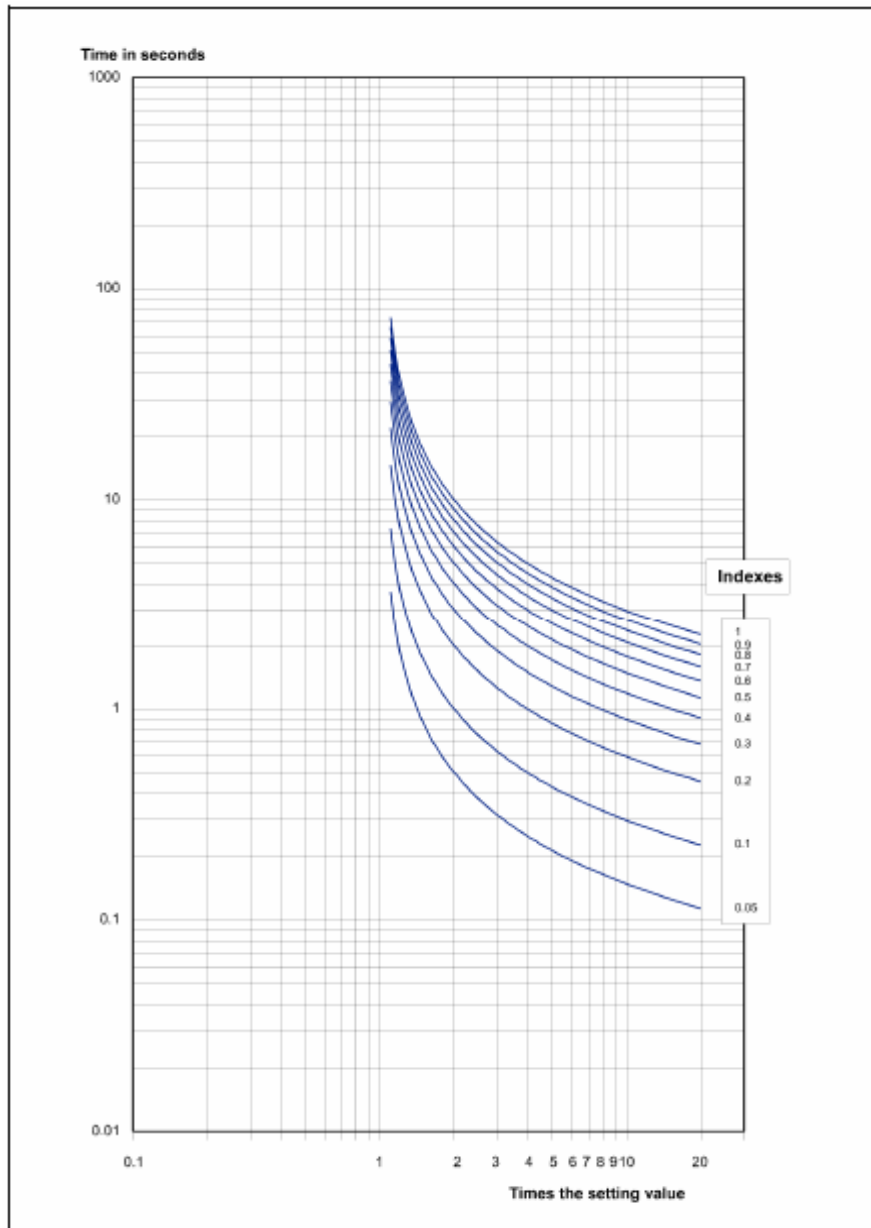
t_{SF} : Ο χρονικός συντελεστής ασφαλείας (safety factor).

Για τον υπολογισμό της χρονικής καθυστέρησης του H/N 51P10 όταν λειτουργεί ως δευτερεύουσα προστασία για τον 51P20 και για τον καθορισμό της παραμέτρου time dial ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

1. Υπολογίζεται το μέγιστο ρεύμα σφάλματος που βλέπει ο H/N 51P20 και το οποίο ισούται με $I_{\max 51P20} = \frac{I_{\max Fault}}{CTR_B}$ όπου $I_{\max Fault}$ το μέγιστο ρεύμα σφάλματος στο ζυγό σύνδεσης του H/N 51P20 ή στο δεξιό άκρο του τμήματος που καλύπτει ο H/N 51P10.
2. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο λόγος $\frac{I_{\max 51P20}}{I_{pu51P20}}$ και μαζί με την καμπύλη του 51P20 υπολογίζεται η χρονική καθυστέρηση του 51P20 για σφάλμα στο τμήμα που προστατεύει.
3. Η καθυστέρηση χρόνου του 51P10 όταν αυτός λειτουργεί ως δευτερεύουσα προστασία για τον 51P20 δίνεται από την σχέση $t_{51P10} = t_{51P20} + t_C$, όπου t_C ο χρόνος που καθορίστηκε παραπάνω.
4. Για τον προσδιορισμό του “time dial setting” του H/N 51P10 ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.
 - A. Υπολογίζεται το μέγιστο ρεύμα σφάλματος που βλέπει ο H/N 51P10 και το οποίο ισούται με $I_{\max 51P10} = \frac{I_{\max Fault}}{CTR_A}$ όπου $I_{\max Fault}$ το μέγιστο ρεύμα σφάλματος στο ζυγό σύνδεσης του H/N 51P20 ή στο δεξιό άκρο του τμήματος που καλύπτει ο H/N 51P10.
 - B. Υπολογίζεται ο λόγος $\frac{I_{\max 51P10}}{I_{pu51P10}}$.
 - Γ. Γνωρίζοντας το λόγο $\frac{I_{\max 51P10}}{I_{pu51P10}}$ και από την χρονική καθυστέρηση t_{51P10} , με γραφική παρεμβολή στις καμπύλες ή από την αναλυτική σχέση, μπορούμε να βρούμε το “time dial” TD του 51P10.

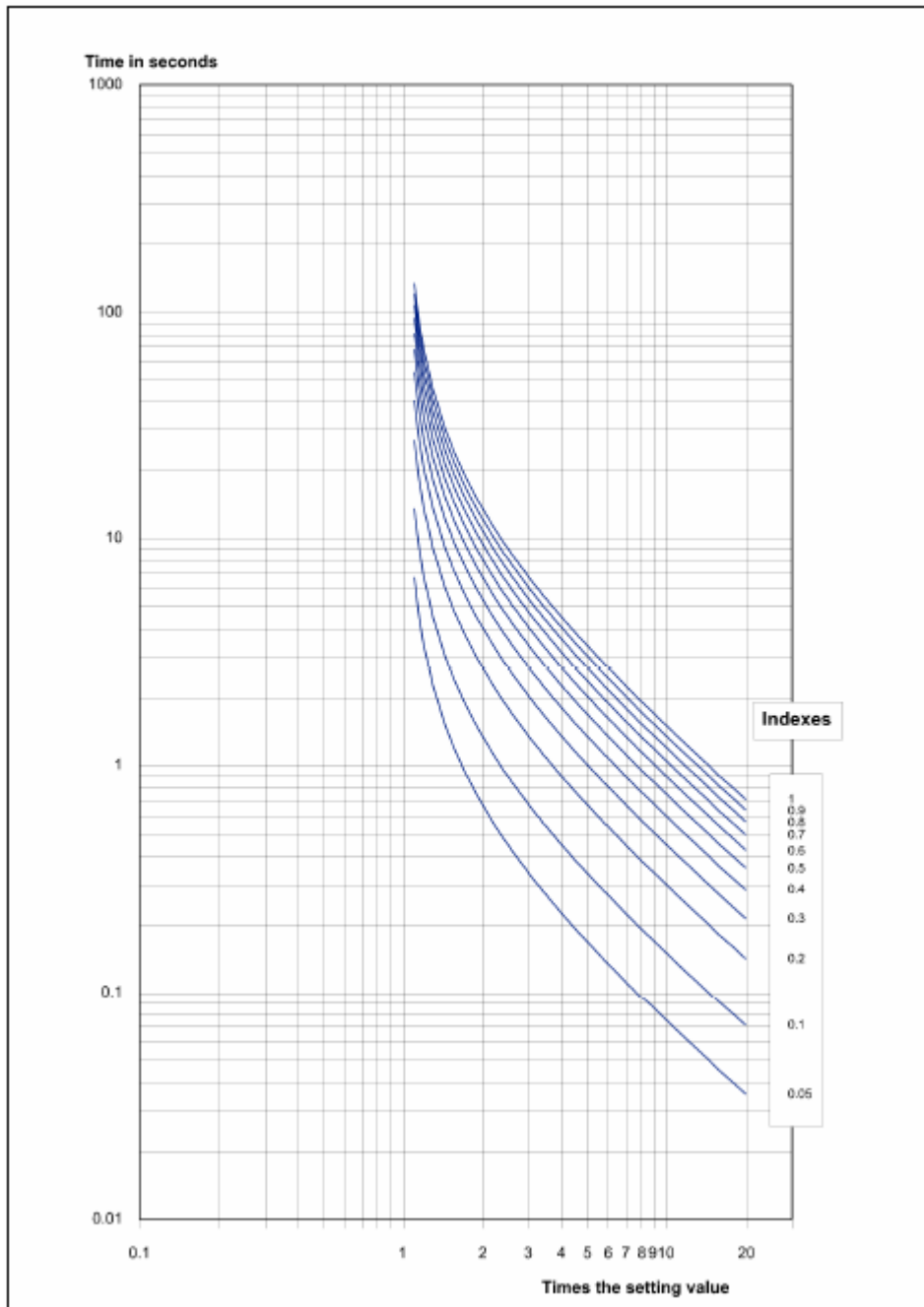
Παρατηρείται ότι ο χρόνος αντίδρασης των H/N μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση που συμβαίνει το σφάλμα και τα ρεύματα βραχυκύκλωσης αυξάνονται όσο πλησιάζουμε προς την πηγή. Παρόλα αυτά ο χρόνος λειτουργίας των διακοπών ισχύος που ελέγχονται από τους H/N αυξάνεται και αυτός αντίστοιχα για να εξασφαλιστεί η επιλογική συνεργασία. Σε πολλές

περιπτώσεις χρησιμοποιούνται "στιγμιαίοι" Η/Ν, όταν υπάρχει πηγή πλησίον του διακόπτη.



Εικόνα 8 Απλώς αντιστρόφου χρόνου Η/Ν υπερεντάσεως της ΖΙΥ.

Οι παραπάνω καμπύλες χαρακτηρίζονται από τη σχέση $t = \frac{0.14}{I_s^{0.02} - 1}$. Στην εικόνα 8 φαίνεται το πλήθος των καμπυλών που μπορεί να επιλεγεί καθώς και ότι όσο αυξάνεται το I_s τόσο μειώνεται ο χρόνος.



Εικόνα 9 Πολύ αντιστρόφου χρόνου Η/Ν υπερεντάσεως της ΖΙΥ.

Οι παραπάνω καμπύλες χαρακτηρίζονται από τη σχέση $t = \frac{13.5}{I_s - 1}$.

2.2 Προστασία Αποστάσεως

Μια από τις πιο σημαντικές προστασίες στα συστήματα μεταφοράς είναι αυτή της αποστάσεως (85). Σήμερα οι ηλεκτρονόμοι αποστάσεως είναι εξελιγμένοι υπολογιστές με επιπλέον δυνατότητες προστασίας όπως υπερένταση, συγχρονισμό και πολλά άλλα.

Για την κατανόηση της θεωρίας της προστασίας αποστάσεως πρέπει πρώτα να γνωρίζεται τι είναι το τριφασικό σύστημα ακολουθίας. Επειδή ένα τριφασικό σύστημα σχεδόν πάντα δεν είναι συμμετρικό πρέπει να μετασχηματιστεί σε ένα συμμετρικό. Αυτό επιτυγχάνεται με το μετασχηματισμό συμμετρικών συνιστωσών, ο οποίος αναλύει ένα μη συμμετρικό σύστημα σε δύο τριφασικά συμμετρικά, το ευθύ (θετικής ακολουθίας), το αντίστροφο (αρνητικής ακολουθίας) και ένα ομοπολικό (μηδενικής ακολουθίας) [20].

$$V_{abc} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{a,0} \\ V_{b,0} \\ V_{c,0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{a,1} \\ V_{b,1} \\ V_{c,1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{a,2} \\ V_{b,2} \\ V_{c,2} \end{bmatrix}$$

όπου 0, 1, 2 αντιστοιχεί στα μηδενικής, θετικής και αρνητικής ακολουθίας στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά διαφέρουν μόνο ως προς την διαφορά φάσης, η οποία είναι ίση με $\frac{2}{3}\pi$ ή 120° . Επομένως ορίζεται ο συντελεστής $a = e^{\frac{2}{3}\pi i}$ με $a^3 = 1$ και $a^{-1} = a^2$.

Η σχέσεις που συνδέουν την κάθε φάση της κάθε ακολουθίας κάνουν χρήση του συντελεστή a .

$$V_0 \equiv V_{a,0} \equiv V_{b,0} \equiv V_{c,0}$$

$$V_1 \equiv V_{a,1} \equiv a \cdot V_{b,1} \equiv a^2 \cdot V_{c,1}$$

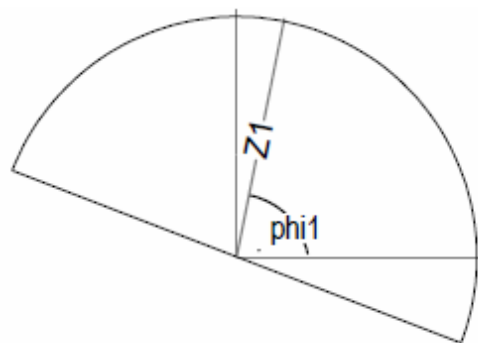
$$V_2 \equiv V_{a,2} \equiv a^2 \cdot V_{b,2} \equiv a \cdot V_{c,2}$$

$$V_{abc} = \begin{bmatrix} V_0 \\ V_0 \\ V_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1 \\ a^2 \cdot V_1 \\ a \cdot V_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_2 \\ a \cdot V_2 \\ a^2 \cdot V_2 \end{bmatrix}$$

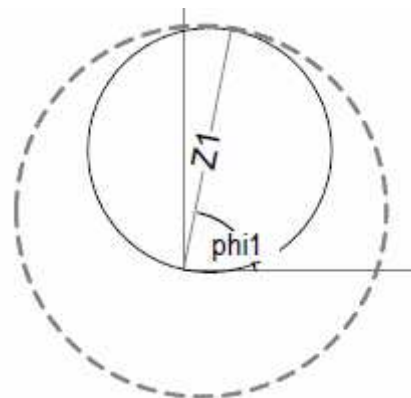
$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = A \cdot V_{012}$$

Ο μετασχηματισμός συμμετρικών συνιστωσών είναι σημαντικός για την ανάλυση των σφαλμάτων. Στην παρακάτω εφαρμογή περιγράφεται το μονοφασικό σφάλμα σε γη και στην ανάλυση του κυκλώματος γίνεται εφαρμογή της θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας.

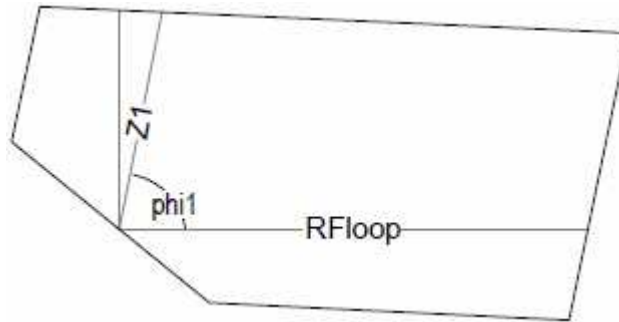
Οι H/N προστασίας αποστάσεως χρησιμοποιούν διάφορους συντελεστές διόρθωσης και αναλόγως τον κατασκευαστή τους έχουν διαφορετική ονομασία και δομή. Επίσης από H/N σε H/N αλλάζουν και οι χαρακτηριστικές καμπύλες που εκφράζουν την αντίσταση της γραμμής, άλλες είναι πολύγωνα και άλλες κύκλοι. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις καμπύλες [15].



Εικόνα 10 Χαρακτηριστική λειτουργίας με στοιχείο κατεύθυνσης.



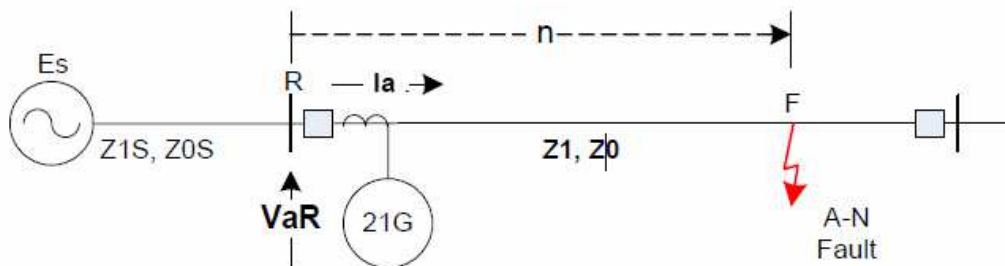
Εικόνα 11: Mho χαρακτηριστικός κύκλος.



Εικόνα 12 Πολυγωνική χαρακτηριστική λειτουργίας.

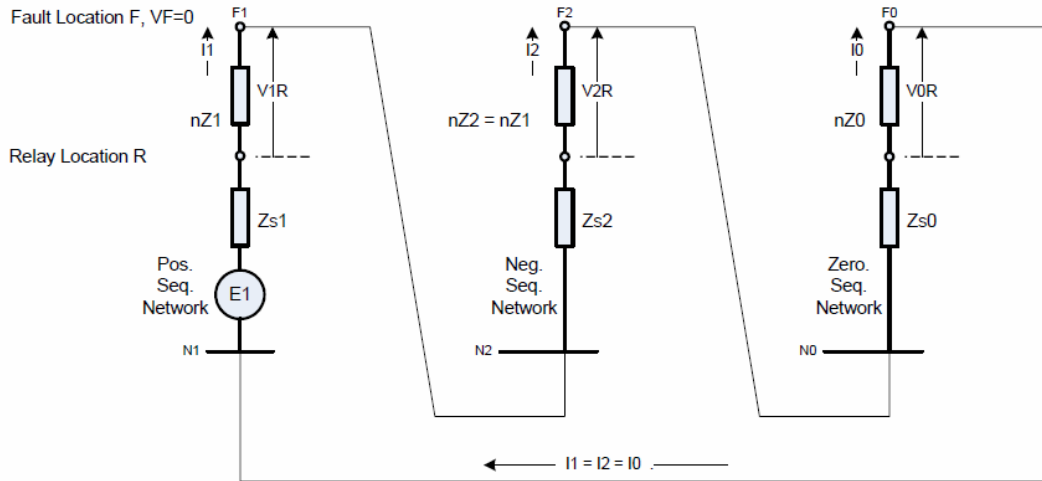
2.2.1 Πολυγωνική περιγραφή σφάλματος αποστάσεως

Παρακάτω περιγράφεται ένα παράδειγμα σφάλματος φάσης-γης χρησιμοποιώντας το συντελεστή διόρθωσης KN “Residual Compensation Factor” [14]. Το σφάλμα γίνεται στη θέση F σε απόσταση n από τον H/N. Τα Z_1 και Z_0 είναι η ορθής ακολουθίας σύνθετη αντίσταση (positive sequence impedance) και η μηδενικής ακολουθίας σύνθετη αντίσταση (negative sequence impedance). Σε μια γραμμή μεταφοράς η ορθής ακολουθίας σύνθετη αντίσταση είναι ίση με την αρνητική $Z_1 = Z_2$.



Εικόνα 13 Μονογραμμικό διάγραμμα μονοφασικού σφάλματος ως προς γη.

Το κύκλωμα με τις συμμετρικές ακολουθίες που περιγράφει το μονοφασικό σφάλμα ως προς γη είναι το παρακάτω.



Εικόνα 14 Συμμετρικό κύκλωμα μονοφασικού σφάλματος ως προς γη.

Από την εικόνα 12 φαίνεται ότι το σφάλμα γίνεται στη θέση F. Οι συμμετρικές τάσεις δίνονται:

$$V1R = I1 \cdot n \cdot Z1 \quad V2R = I2 \cdot n \cdot Z1 \quad V0R = I0 \cdot n \cdot Z0 \quad (1)$$

Η συνολική πτώση τάσης της φάσης A μέχρι το σφάλμα είναι το άθροισμα των παραπάνω.

$$\begin{aligned} VaR &= V1R + V2R + V0R \\ &= I1 \cdot n \cdot Z1 + I2 \cdot n \cdot Z1 + I0 \cdot n \cdot Z0 \end{aligned} \quad (2)$$

Το ρεύμα της φάσης A στο σημείο το H/N είναι:

$$Ia = I1 + I2 + I0 \quad (3)$$

Επίσης ισχύει $I1 = I2 = I0$

Το ρεύμα ουδετέρου είναι: $In = Ia + Ib + Ic = 3 \cdot I0$

$$\text{Άρα } I0 = In / 3 = Ia / 3 \quad (4)$$

Προσθέτοντας και αφαιρώντας από την (2) $I0 \cdot n \cdot Z1$

$$\begin{aligned} VaR &= I1 \cdot n \cdot Z1 + I2 \cdot n \cdot Z1 + I0 \cdot n \cdot Z1 - I0 \cdot n \cdot Z1 + I0 \cdot n \cdot Z0 \\ &= (I1 + I2 + I0) \cdot n \cdot Z1 - I0 \cdot n \cdot Z1 + I0 \cdot n \cdot Z0 \end{aligned}$$

Μέσω της (3)

$$\begin{aligned} &= I_a \cdot n \cdot Z_1 - I_0 \cdot n \cdot Z_1 + I_0 \cdot n \cdot Z_0 \\ &= I_a \cdot n \cdot Z_1 + I_0 \cdot (Z_0 - Z_1) \cdot n \end{aligned} \quad (5)$$

Μέσω της (4)

$$= I_a \cdot n \cdot Z_1 + (I_a / 3)(Z_0 - Z_1) \cdot n \quad (6)$$

Αν διαιρέσουμε ως προς I_a υπολογίζεται η φαινόμενη αντίσταση της γραμμής μέχρι τον H/N.

$$Z_{Rapparent} = VaR / I_a = n \cdot Z_1 + (Z_0 - Z_1) \cdot n / 3 \quad (7)$$

Επειδή όμως η προηγούμενη σχέση δεν είναι εύχρηστη λόγω του δεύτερου μέλους της. Ο στόχος στο σχεδιασμό των H/N αποστάσεως είναι να μετράει μόνο το πρώτο μέλος nZ_1 . Αν η (5) αντικατασταθεί με $In/3$ και πολλαπλασιαστεί το δεύτερο μέλος με Z_1/Z_1 τότε μπορεί η εξίσωση να εκφραστεί σε σχέση το Z_1 .

$$\begin{aligned} VaR &= I_a \cdot n \cdot Z_1 + (In / 3) \cdot (Z_0 - Z_1) \cdot n \cdot Z_1 / Z_1 \\ &= [I_a + In \cdot (Z_0 - Z_1) / (3Z_1)] \cdot n \cdot Z_1 \end{aligned}$$

Αν οριστεί η σταθερά $KN = (Z_0 - Z_1) / (3Z_1)$ η οποία υπολογίζεται από τα δεδομένα της συγκεκριμένης γραμμής και της αντίσταση εδάφους τότε.

$$VaR = (I_a + KN \cdot In) \cdot n \cdot Z_1$$

Τώρα ορίζοντας ένα νέο ρεύμα το οποίο είναι το άθροισμα του ρεύματος σφάλματος στη φάση και ένα μέρος KN του ρεύματος επιστροφής In η αντίσταση που μετράει ο H/N είναι.

$$Z_{relay} = VaR / (I_a + KN \cdot In) = n \cdot Z_1 \quad (8)$$

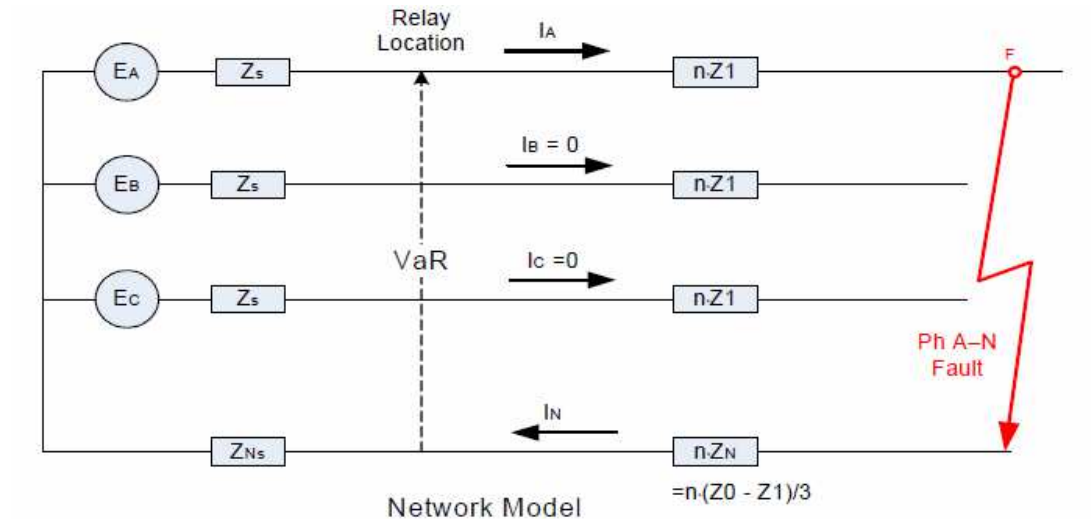
Η παραπάνω τεχνική ονομάζεται διόρθωση με το ρεύμα επιστροφής (residual compensation) και η σταθερά KN ονομάζεται “residual compensation factor” η οποία ορίζεται ως,

$$KN = (Z_0 - Z_1) / 3Z_1 = (Z_0 / Z_1 - 1) / 3$$

Επίσης από την (7) μπορούμε να εξάγουμε και την σύνθετη αντίσταση του εδάφους “Ground-return Impedance” :

$$Z_N = (Z_0 - Z_1) / 3$$

Από το παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι το ρεύμα σφάλματος περνάει από την εμπέδηση $n \cdot Z_1$ και την εμπέδηση της εδάφους $(Z_0 - Z_1) / 3$.



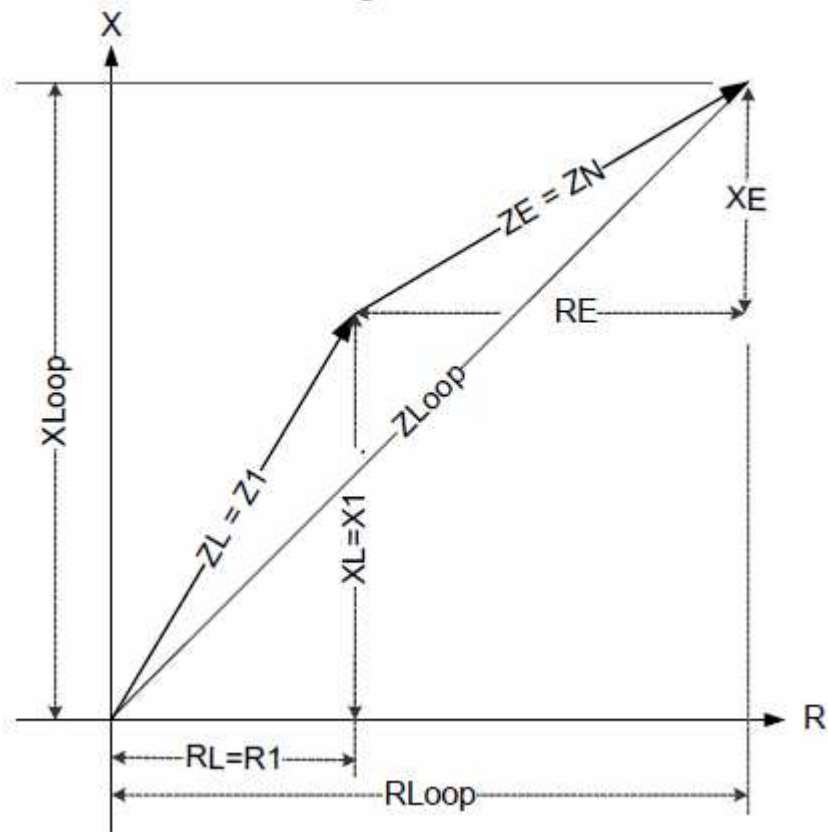
Εικόνα 15 Απλοποιημένο κύκλωμα μονοφασικού σφάλματος.

Εκτός από τη σταθερά K_N υπάρχουν H/N που χρησιμοποιούν διαφορετικούς σταθερές διόρθωσης όπως είναι ο K_0 , ο μηδενικής ακολουθίας ρεύματος συντελεστής διόρθωσης που ορίζεται ως:

$$K_0 = (Z_0 - Z_1) / Z_1$$

$$= Z_0 / Z_1 - 1$$

Για να εντοπιστεί το σημείο σφάλματος σε ένα χαρακτηριστικό πολύγωνα πρέπει η συνολική εμπέδηση να αναλυθεί σε πραγματικό και φανταστικό μέρος. Στο παρακάτω διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται η συνολική εμπέδηση Z_{Loop} , η οποία είναι το άθροισμα των Z_1 και Z_N .



Εικόνα 16 Διανυσματικό διάγραμμα συνολικής εμπέδησης.

Έχουμε: $Z_{Loop} = Z_L + Z_E$

Η Z_{Loop} μπορεί να εκφραστεί ως: $Z_{Loop} = R_{Loop} + jX_{Loop}$

Είναι γνωστό ότι: $Z_L = Z_1 = R_1 + jX_1 = R_L + jX_L$

$$\begin{aligned} Z_E = Z_N &= (Z_0 - Z_1) / 3 \\ &= (R_0 - R_1) / 3 + j(X_0 - X_1) / 3 \\ &= R_E + jX_E \end{aligned}$$

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι η $R_{Loop} = R_L + R_E = R_L(1 + R_E/R_L)$

Η σταθερά R_E/R_L μπορεί να εξαχθεί από το πραγματικό μέρος της Z_E .

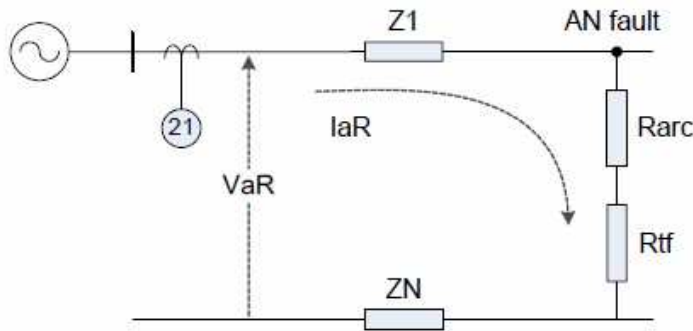
$$R_E/R_L = (R_0 - R_1) / 3$$

Τελικώς έχουμε:

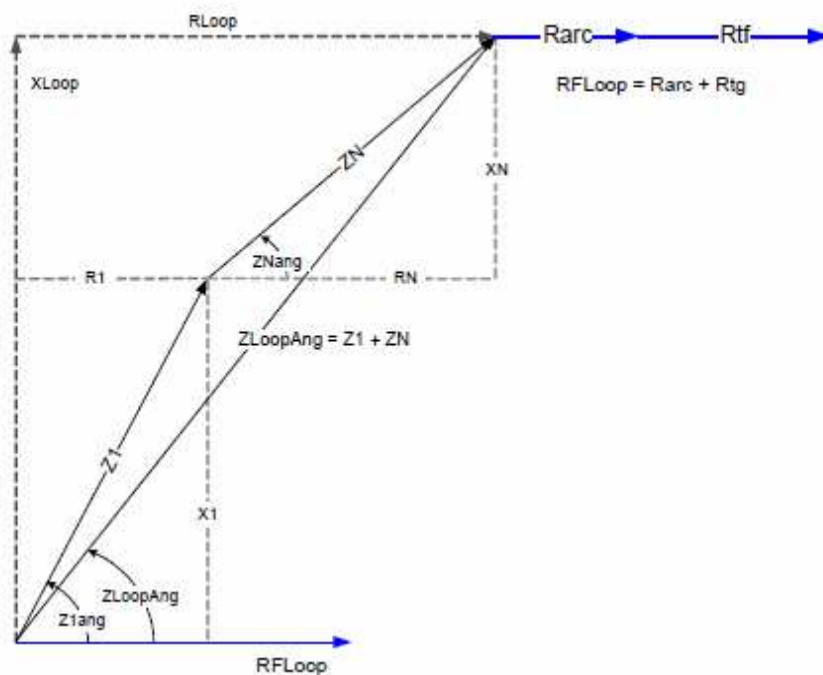
$$\frac{R_E}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{R_0}{R_1} - 1 \right)$$

$$\frac{X_E}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{X_0}{X_1} - 1 \right)$$

Μέχρι τώρα όμως έχουν αγνοηθεί δύο σημαντικά στοιχεία, οι αντιστάσεις (R_{arc} , R_{tf}) που έχουν να κάνουν με το τόξο του σφάλματος και φαίνεται παρακάτω πως επηρεάζουν την αρχική σχέση εμπέδησης και το διανυσματικό διάγραμμα.



Εικόνα 17 Κύκλωμα σφάλματος μαζί με την αντίσταση του τόξου.



Εικόνα 18 Διανυσματικό διάγραμμα συνολικής εμπέδησης μαζί με την αντίσταση τόξου σφάλματος.

2.2.2 Περιγραφή H/N αποστάσεως με διάγραμμα Mho

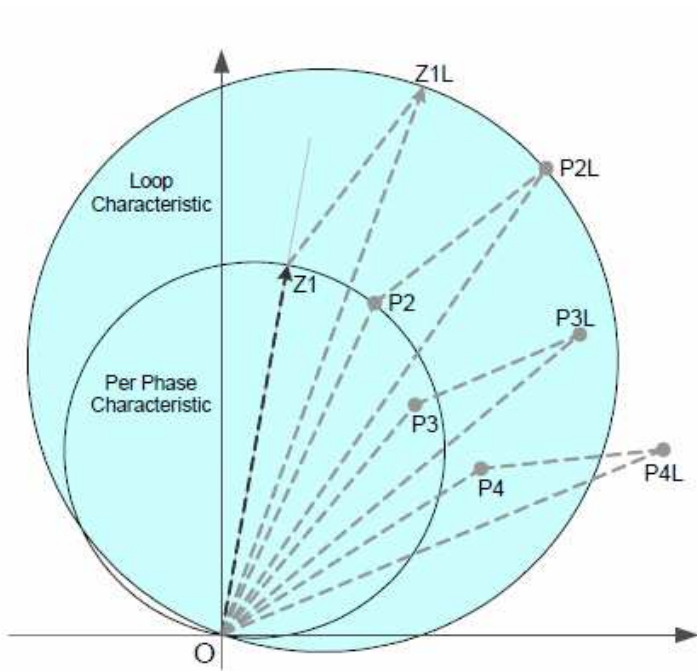
Από την εξίσωση (8) μπορεί να παραχθεί η σχέση που περιγράφει τους κύκλους ενός Mho διαγράμματος. Αν όπου $I_n = I_a$ και $Z_{relay} = Z_{fault}$ τότε η σχέση της πτώσης τάσης μπορεί να γραφτεί.

$$VaR = Z_{Fault}(I_a + I_a \cdot KN) = I_a \cdot Z_{Fault}(1 + KN)$$

Τότε παίρνουμε τη σύνθετη αντίσταση:

$$VaR / I_a = Z_{Fault}(1 + KN)$$

Στο παρακάτω διάγραμμα Mho τα σημεία (Z1,P2,P3,P4) αντιστοιχούν σε σύνθετη αντίσταση σφάλματος ανά φάση και τα σημεία (Z1L,P2L,P3L,P4L) σε σύνθετη αντίστασης σφάλματος βρόγχου (Loop).



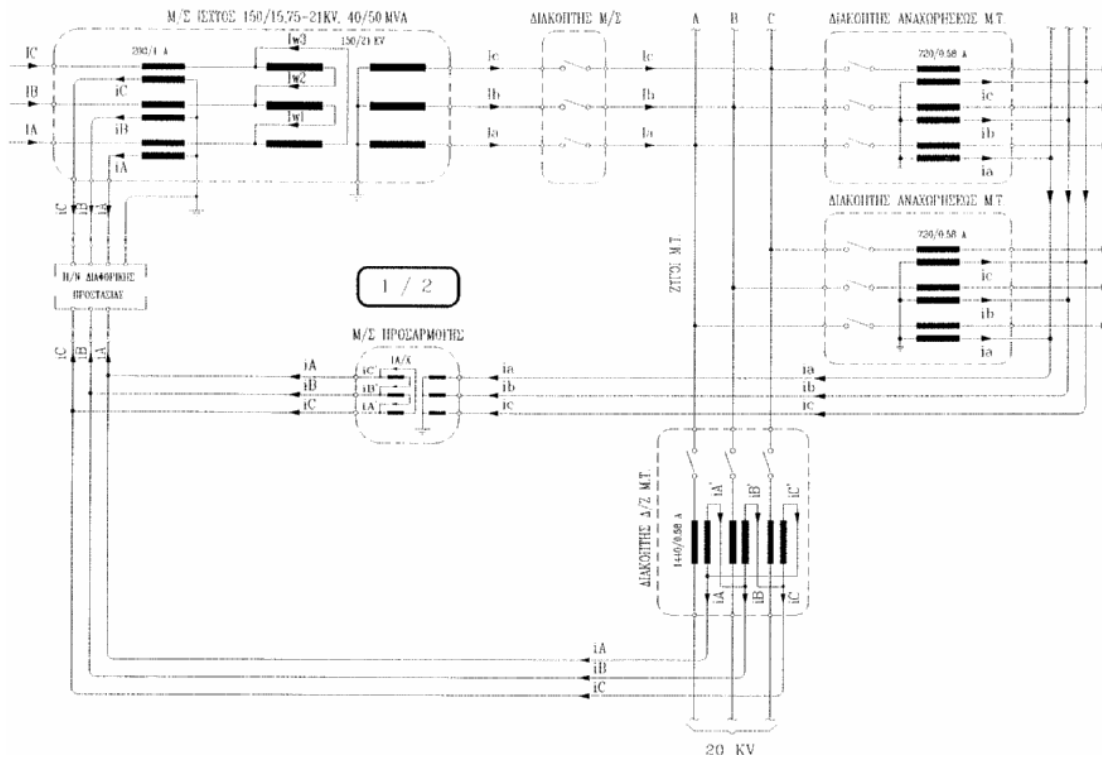
Εικόνα 19 Mho Διάγραμμα.

2.3 Διαφορική Προστασία

Η διαφορική προστασία έχει τον εξής βασικό σκοπό, να ελέγχει αν σε ένα σύστημα το ρεύμα εισόδου του είναι ίσο με το ρεύμα εξόδου. Σύμφωνα με τον πρώτο κανόνα του Kirchhoff, τα ρεύματα που εισέρχονται σε ένα σημείο πρέπει να είναι ίσα με τα ρεύματα που εξέρχονται. Αυτό το σημείο μπορεί να είναι ένα κουτί που να συμπεριλαμβάνει ένα σύστημα. Ένα σύστημα όπως είναι ο Μ/Σ, οι ζυγοί, μια πύλη 150 kV.

Ο Η/Ν διαφορικής προστασίας μετράει τα ρεύματα εισόδου και εξόδου μέσω των Μ/Σ εντάσεως που βρίσκονται στις εισόδους και τις εξόδους του συστήματος. Επειδή όμως οι λόγοι αυτών των Μ/Σ εντάσεως πολλές φορές είναι διαφορετικοί ή μπορεί να

είναι συνδεδεμένοι κάποιοι σαν αστέρα και κάποιοι σαν τρίγωνο, ο μηχανικός μελετητής έχει την εύθνη να προσαρμόσει τα ρεύματα έτσι ώστε στην κατάσταση ισορροπίας το άθροισμά τους να είναι ίσο με το μηδέν. Αυτό επιτυγχάνεται με τον Μ/Σ προσαρμογής.



Εικόνα 20 Διαφορική προστασία Μ/Σ.

Η παραπάνω προσαρμογή αναλύεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις.

Από τη σχέση της τριφασικής πραγματικής ισχύος για τον Μ/Σ μπορούμε να πάρουμε τα ονομαστικά ρεύματα του πρωτεύον και του δευτερεύον.

$$IA = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V1} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 150} = 193A$$

$$Ia = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V2} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 21} = 1375A$$

Για το Μ/Σ ρεύματος του πρωτεύον του Μ/Σ έχουμε λόγο 200/1.

$$iA = IA \cdot \frac{1}{200} = 193 \cdot \frac{1}{200} = 0,965A$$

Επειδή ο Μ/Σ προσαρμογής που επιλέχτηκε συνδέθηκε το πρωτεύον σε τρίγωνο.

$$iA' = IA \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,965 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,557A \quad (9)$$

Για το λόγο του Μ/Σ ρεύματος στις αναχωρήσεις των 20KV έχουμε 950/0,58.

$$ia = Ia \cdot \frac{0,58}{950} = 1375 \cdot \frac{0,58}{950} = 0,84A \quad (10)$$

Από τα αποτελέσματα των 9, 10 παίρνουμε το λόγο του Μ/Σ προσαρμογής.

$$X = \frac{ia}{iA'} = \frac{0,84}{0,557} = 1,5$$

Αντίστοιχα δουλεύονται διαφορετικές συνδεσμολογίες. Δηλαδή αν ήταν τρίγωνο η συνδεσμολογία του δευτερεύον των αναχωρήσεων, θα έπρεπε το ρεύμα που θα έβγαινε από το λόγο του Μ/Σ ρεύματος να είναι $\sqrt{3}$ φορές περισσότερο.

3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ ΣΗΜΑΝΣΕΩΝ, ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ, ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Ο σχεδιασμός και η μελέτη μιας συσκευής ξεκινάει από μια αρχή. Ποιά θα είναι η βασική της λειτουργία και ποιό σκοπό εξυπηρετεί. Αφού έχουν ξεκαθαριστεί οι απαιτήσεις της συσκευής θα πρέπει να γίνει μια εκτίμηση του κόστους, δηλαδή αν μπορεί να γίνει και φυσικά πόσο ανταγωνιστική μπορεί να είναι σε σχέση με αντίστοιχα προϊόντα. Αν όλες οι εκτιμήσεις είναι ικανοποιητικές, τότε παρουσιάζεται ένα χρονοδιάγραμμα της μελέτης και της κατασκευής της.

3.1 Απαιτήσεις συσκευής

Όπως παρατηρήθηκε από την περιγραφή ενός Υ/Σ 150/20 kV, μια ηλεκτρική εγκατάσταση έχει κάποια σήματα που πρέπει να επιτηρούνται και η γνώση αυτών οδηγεί στη σωστή διάγνωση ενός σφάλματος και τελικά στη διόρθωση της βλάβης.

Ο ηλεκτρονόμος σφαιμάτων ή σημάτων είναι μια συσκευή ένδειξης και καταγραφής ενός έως δεκαέξι σφαιμάτων. Επιπλέον έχει και τέσσερις επαφές για την τροφοδότηση συγκεκριμένων εξόδων. Ο σχεδιασμός του είναι κατάλληλος για τοποθέτηση σε πίνακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια πληθώρα εφαρμογών όπως υποσταθμούς, ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, πλοία και όπου αλλού χρειάζονται τοπικές ενδείξεις πτώσεων κυκλωμάτων. Ο στόχος της συσκευής είναι, σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπου υπάρχει η ανάγκη τοπικής και απομακρυσμένης παρακολούθησης σημαντικών σημάτων, να τα εμφανίζει σε περίπτωση που κάποιο από αυτά ενεργοποιηθεί και να τα καταγράφει σε πραγματικό χρόνο. Δίνεται η δυνατότητα της αποθήκευσης των καταγραφών σε μονάδα εξωτερικής μνήμης. Σήμερα με την χρήση του internet γίνεται εύκολη πρόσβαση σε όποιο επιθυμητό δεδομένο ή μέτρηση από οποιοδήποτε υπολογιστή. Η συσκευή θα είναι ικανή να επικοινωνεί με το internet μέσω μια θύρας Ethernet.

Αναλυτικότερα ο Η/Ν σημάτων θα δέχεται 16 εισόδους από τις οποίες θα αντιλαμβάνεται πια έχει σήμα ή όχι. Ο εγκαταστάτης θα έχει αντιστοιχίσει τις 16 εισόδους με 16 ονομασίες επιθυμητών σφαιμάτων. Σε περίπτωση που κάποια από της εισόδους της χάσει το σήμα της, τότε αντιλαμβάνεται ότι έχει γίνει σφάλμα στη

συγκεκριμένη είσοδο και η συγκεκριμένη ονομασία σφάλματος αποθηκεύεται στη μνήμη της συσκευής. Ταυτόχρονα ενεργοποιείται από δύο ή τέσσερις εξόδους για τη λειτουργία σειρήνας και φωτεινού σηματοδότη. Επίσης θα υπάρχουν δύο είσοδοι που μέσω πατήματος εξωτερικού πλήκτρου, η μία θα αναιρεί την σειρήνα ενώ η δεύτερη θα απενεργοποιεί το σφάλμα. Παρόλ' αυτά το σφάλμα μπορεί να συνεχίζει να υφίσταται, αυτό δε σημαίνει ότι θα γίνεται νέα καταγραφή. Το σφάλμα θα παύει να υφίσταται μόνο όταν το σήμα στη συγκεκριμένη είσοδο επανέλθει ξανά.

Η συσκευή θα παρέχει κάποιες ήδη αποθηκευμένες ονομασίες σφαλμάτων αλλά θα δίνεται και η δυνατότητα ο χρήστης να φτιάξει το δικό του όνομα σφάλματος. Θα μπορούν να επιλεγθούν και να αντιστοιχηθούν από μία μέχρι δεκαέξι είσοδοι με ονομασίες μηνυμάτων. Επίσης ο χρήστης θα δίνει στο σύστημα την επιθυμητή ημερομηνία και ώρα.

Τα σφάλματα θα αποθηκεύονται στην μνήμη της συσκευής και ο χρήστης μέσω θύρας USB θα μπορεί να τα αποθηκεύσει σε μια εξωτερική μνήμη. Εκτός από την τοπική αποθήκευση δεδομένων θα υπάρχει η δυνατότητα να ανεβαίνει στο διαδίκτυο η σελίδα με τις ενδείξεις του Η/Ν. Τέλος θα μπορούν να στέλνονται τα σήματα σε άλλες συσκευές στον Υ/Σ σύμφωνα με το πρότυπο IEC61850. Το IEC61850 κάνει χρήση τοπικού δικτύου και μέσω Ethernet έχει καταφέρει να ενώσει συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές. Αποτελεί τον πιο σύγχρονο τρόπο επικοινωνίας συσκευών και κάνει ανταλλαγή δεδομένων μέσω XML.

3.2 Χρονοδιάγραμμα

Το χρονοδιάγραμμα που παρουσιάζεται βασίζεται στο χρόνο που ξοδεύτηκε για την μελέτη του καταμετρητή σφαλμάτων. Τον πρώτο μήνα μια μελέτης ενός νέου έργου, η ερευνητική ομάδα αντιμετωπίζει με λογική και ωριμότητα το ερέθισμα που την ώθησε στο να ξεκινήσει αυτό το έργο. Με τις γνώσεις που υπάρχουν στις μελέτες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και τους υποσταθμούς, παρατηρήθηκε ότι η συγκεκριμένη συσκευή η οποία ήδη χρησιμοποιείται τουλάχιστον μια φορά σε κάθε πίνακα παίρνει αρκετές βελτιώσεις στο τομέα της τεχνολογίας και μπορεί να ρίξει αρκετά το κόστος της. Κατόπιν συζήτησης με τον υποψήφιο πελάτη και ενδιαφερόμενο της συσκευής, αναλύθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της. Οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου πελάτη διασταυρώνονται με τα λειτουργικά

χαρακτηριστικά μίας ή ακόμα και δύο ανταγωνιστικών συσκευών. Επιπλέον γίνεται σύγκριση τελικής τιμής των ανταγωνιστικών συσκευών και αποφασίζεται το κατώτερο όριο κόστους. Γίνεται μια εκτίμηση της τελικής τιμής της προς μελέτη συσκευής και ενημερώνεται ο ενδιαφερόμενος επενδυτής ή αγοραστής. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι αρκετά σύντομη, έως και ένα μήνα.

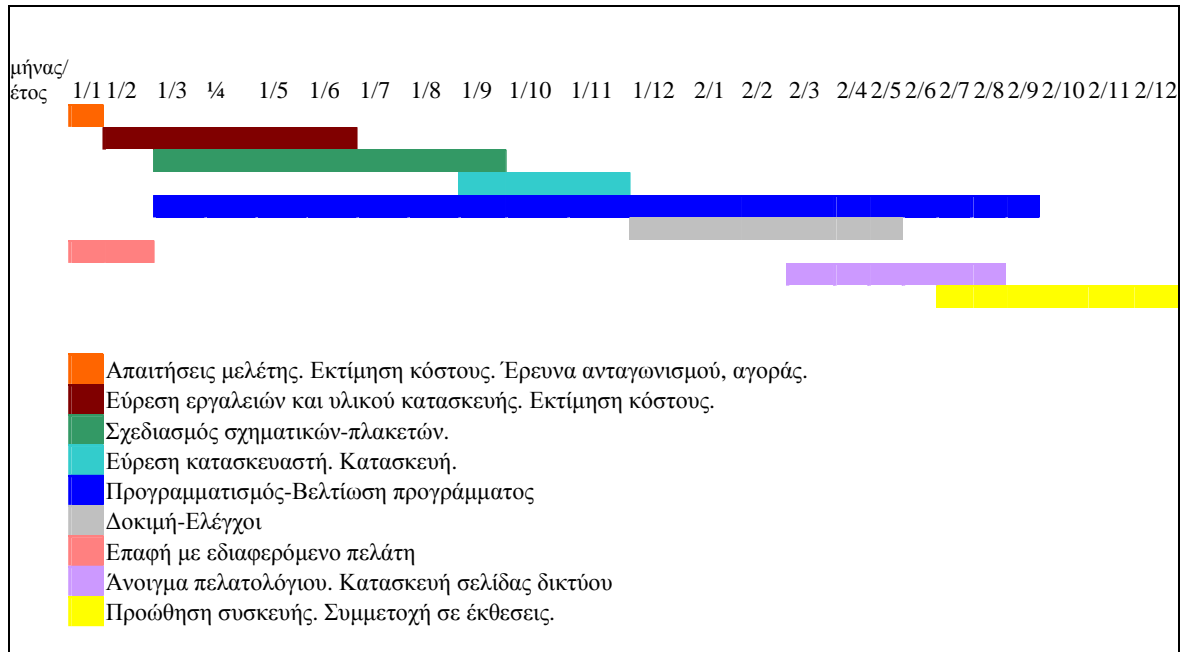
Από την στιγμή που η μελέτη μπορεί να ξεκινήσει, πρέπει να αποκτηθούν τα εργαλεία που χρειάζονται για την υλοποίηση της. Αυτά μπορούν να συμπεριλαμβάνουν σχεδιαστικά προγράμματα, μεταγλωττιστές, βοηθήματα. Επιπρόσθετα υπολογίζονται αναλυτικά τα υλικά που χρειάζονται για την υλοποίηση της συσκευής και στο τέλος αυτού του σταδίου μπορεί να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η τελική τιμή. Ο αρχικός ενδιαφερόμενος επενδυτής πρέπει να ενημερωθεί για την τελική τιμή που θα υπολογιστεί από αυτή την προμελέτη και να αποφασιστεί αν αξίζει πλέον να συνεχιστεί η μελέτη και η κατασκευή.

Τον τρίτο μήνα μπορούν να ξεκινήσουν τα προσχέδια και αν αποφασιστεί ότι η μελέτη μπορεί να γίνει, να αρχίσουν να σχεδιάζονται τα τελειωτικά σχηματικά στα οποία θα βασιστούν οι πλακέτες κατασκευής. Τα υλικά πρέπει να συμφωνούν απόλυτα σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές τους. Οι μηχανικοί σχεδιασμού είναι υπεύθυνοι να προσέξουν όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες και να έχουν πάντοτε προηγούμενες αναφορές του κάθε εξαρτήματος.

Παράλληλα με τον σχεδιασμό των πλακετών μπορεί να ξεκινήσει η διαμόρφωση του προγράμματος του συστήματος. Το πρόγραμμα της συσκευής μπορεί να εξελίσσεται συνέχεια και έχει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται να βρίσκεται στην τελική του μορφή όταν τελειώσει η κατασκευή της συσκευής. Μπορεί να υπάρχει ένα δοκιμαστικό πρόγραμμα για να μπορούν να γίνουν οι αρχικές δοκιμές με αποτέλεσμα να δίνεται το δικαίωμα στη ομάδα προγραμματισμού να έχει ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ασχολίας. Το λειτουργικό σύστημα της συσκευής μπορεί να εξελίσσεται σχεδόν σε όλη την διάρκεια της μελέτης.

Με το πέρασμα του πρώτου χρόνου και την τελειοποίηση ενός πρωτοτύπου πρέπει να γίνουν οι απαιτούμενες δοκιμές. Εκτός από το λειτουργικό έλεγχο της συσκευής, ο οποίος πρέπει να ικανοποιεί τις αρχικές απαιτήσεις, υπάρχουν και οι δοκιμές που πρέπει να περάσει η συσκευή και οι οποίες πληρούν κάποιους διεθνείς κανονισμούς και πρότυπα. Αυτή η διαδικασία παίρνει χρόνο, διότι οι συγκεκριμένες δοκιμές γίνονται από πιστοποιημένες εταιρείες που κατέχουν τα μηχανήματα δοκιμών.

Το δεύτερο χρόνο, αφού έχει εξασφαλιστεί η συμφωνία με τον αρχικό επενδυτή, ενδιαφερόμενο, η ομάδα μηχανικών μπορεί να ψάχνει για επιπλέον υποψήφιους πελάτες. Επίσης μπορεί να αναπτύξει ένα πρόγραμμα προώθησης της συγκεκριμένης συσκευής, μέσω κάποιας διαφήμισης ή συμμετοχή της εταιρείας σε κάποια έκθεση τεχνολογίας.



Εικόνα 21 Χρονοδιάγραμμα μελέτης και κατασκευής έργου.

3.3 Εκτίμηση κόστους-Έρευνα ανταγωνισμού

Η πρώτη μελέτη όμως που πρέπει να γίνει πριν το σχεδιασμό ενός έργου και την κατασκευή του είναι η εκτίμηση των οικονομικών μεγεθών. Το κόστος των υλικών, των εργαλείων, το κόστος κατασκευής και ο χρόνος εργασίας είναι βασικά κριτήρια που πρέπει να εκτιμηθούν πριν την έναρξη οποιαδήποτε εργασίας. Βέβαια για να μπορέσει να εκτιμηθεί αυτό το κόστος, πρέπει να υπάρχει γνώση του τι σχεδιάζεται. Επομένως αρχικά οποιοδήποτε έργο ξεκινάει, ζητάει χρήματα και επενδύσεις. Στην περίπτωση του καταμετρητή σφαλμάτων όπως και θα αναλυθεί στο κομμάτι της μελέτης των πλακετών, υπάρχουν τέσσερις ξεχωριστές μονάδες. Η κάθε μία από αυτές μπορεί να έχει το δικό της κόστος κατασκευής. Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι τα πρωτότυπα είναι πιο ακριβά από το τελικό προϊόν. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρωτότυπο δε φτιάχνεται από κάποια γραμμή παραγωγής, αλλά μεμονωμένα που

ταυτόχρονα σημαίνει πιο ακριβά υλικά και κόστος κατασκευής της τάξεως ακόμα και 50% παραπάνω. Θα ξαναγίνει αναφορά στην εκτίμηση του κόστους στο τέλος της περιγραφής του υλικού και του προγραμματισμού.

Για την έρευνα ανταγωνισμού συνήθως το έργο που πρόκειται να μελετηθεί δεν είναι πρωτότυπο. Η έννοια της καινοτομίας δεν σημαίνει ότι ένα νέο υλικό είναι πρωτότυπο εξολοκλήρου, αλλά μπορεί να βασίζεται σε κάποια προηγούμενη πατέντα και να την πηγαίνει ένα βήμα παρά πέρα, δηλαδή να την εξελίξει. Στο τέλος η εξέλιξη ενός υλικού μπορεί να έχει μεγαλύτερη εμπορική και πρακτική αξία από το πρωτότυπο.

Καταμετρητές σφαλμάτων, και σημάνσεων υπάρχουν πάρα πολύ. Οι απλοί που έχουν μόνο ενδεικτικές λυχνίες, ρελέ και πλήκτρο αναίρεσης και πιο σύνθετοι, προγραμματιζόμενοι. Ένας τέτοιος ηλεκτρονόμος είναι το SACO16D1 [3] της ABB και έχει πουληθεί στην Ελλάδα στην τιμή των 1000 ευρώ.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας κατασκευάστηκε ο ηλεκτρονόμος καταγραφής σημάτων σφαλμάτων, ο οποίος χωρίζεται σε τέσσερα τμήματα, το τροφοδοτικό, τον μικροεπεξεργαστή με το USB και το Ethernet, την πρόσοψη με την οθόνη και τα πλήκτρα και την μονάδα εισόδων, εξόδων.

4.1 Τροφοδοτικό

Το βιομηχανικό περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ο καταμετρητής σφαλμάτων συνήθως παρέχει την τάση των 110 VDC για την τροφοδοσία των συσκευών ελέγχου και άλλων περιφερειακών. Ο καταμετρητής και τα ευαίσθητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που έχει, λειτουργούν όμως με τάση πολύ χαμηλότερη από την προαναφερθείσα. Συνεπώς κρίνεται αναγκαία η κατασκευή ενός τροφοδοτικού, που θα υποβιβάζει τα 110 VDC σε 5 VDC, τα οποία μπορούν με ασφάλεια να χρησιμοποιηθούν από τον καταμετρητή. Το τροφοδοτικό όμως που θα σχεδιαστεί, θα δουλεύει και για εναλλασσόμενη τάση εισόδου, δηλαδή θα δέχεται είσοδο 100~230 VAC-DC (universal) και θα παρέχει έξοδο στα 5 VDC για 1 A φορτίο.

Επιλέχθηκε η λύση του παλμοτροφοδοτικού σε flyback mode καθώς είναι απαραίτητη η γαλβανική απομόνωση μεταξύ των δύο επιπέδων τάσεων και αυτό προσφέρει ο μετασχηματιστής του παλμοτροφοδοτικού.

Το σχέδιο βασίστηκε στο ολοκληρωμένο TNY263P της Power Integrations [4] καθώς ελαχιστοποιεί την απαίτηση για πολλά εξωτερικά υλικά και καλύπτει τις ανάγκες ισχύος που χρειάζονται.

Πιο συγκεκριμένα, το τροφοδοτικό σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να παρέχει μέχρι και 750 mA στα 5 VDC, καθώς ο επεξεργαστής μπορεί να τραβήξει μέχρι 470 mA και η οθόνη έως 80 mA, συνολικά έχουμε δηλαδή μια μέγιστη κατανάλωση της τάξης των 550 mA. Δόθηκε περιθώριο για ακόμα 200 mA, αφού στο μέλλον θα προστεθούν και άλλα περιφερειακά που θα έχουν και αυτά απαίτηση σε ρεύμα.

Η είσοδος του παλμοτροφοδοτικού είναι συνεχής τάση υψηλής τιμής (μεγαλύτερη των 90 VDC και μικρότερη των 375 VDC) και για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα 110 VDC που μας παρέχονται από το βιομηχανικό

περιβάλλον. Δίνεται η δυνατότητα όμως, η συνεχής τάση αυτή να προκύψει και από ανόρθωση της εναλλασσόμενης χαμηλής τάσης του δικτύου, κάνοντας έτσι το τροφοδοτικό πιο ευέλικτο και ικανό να χρησιμοποιηθεί και για άλλες εφαρμογές.

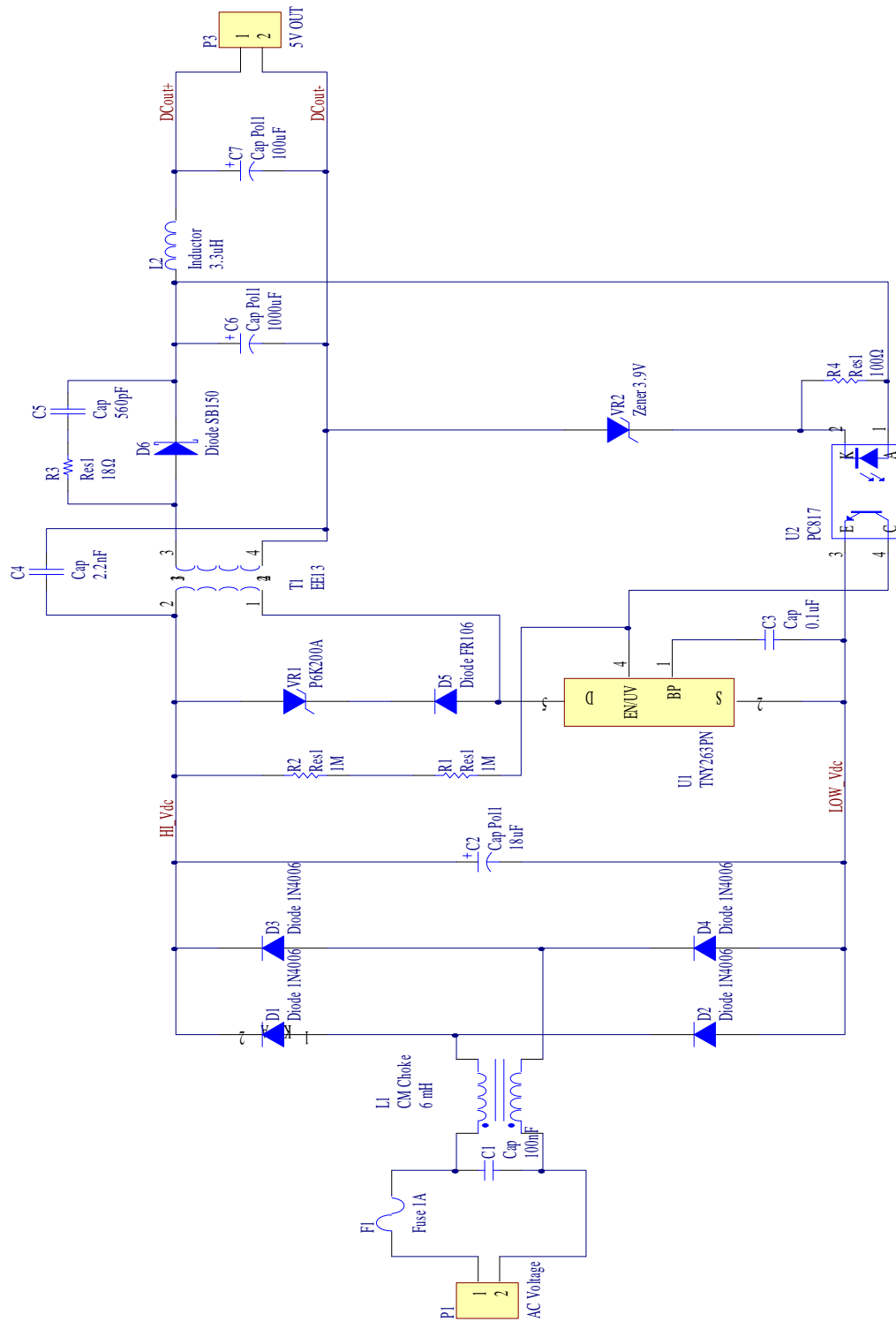
Το πιο σημαντικό εξάρτημα σε ένα παλμοτροφοδοτικό είναι ο μετασχηματιστής του. Αυτό γιατί ο αριθμός των στροφών των τυλιγμάτων είναι προκαθορισμένος με βάση τις απαιτήσεις του τροφοδοτικού όπως και τα υπόλοιπα υλικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Μ/Σ δίνονται παρακάτω:

Πυρήνας: Τύπος EE13. Υλικό NC-2H, $148 \text{ nH} / T^2$

Πρωτεύον: 118 στρόφες, διάμετρος σύρματος 0,14mm. 3 στρώματα ξεκινώντας από το ποδαράκι 2, το πρώτο δεξιόστροφα, το δεύτερο αριστερόστροφα και το τρίτο δεξιόστροφα. Στο τέλος τρία στρώματα μόνωσης φιλμ πολυεστερίου πάχους 7.4mm..

Δευτερεύον: 7 στρόφες, διάμετρος σύρματος 0,45mm μέσα σε εξωτερική μόνωση 25 T.I.W. Ξεκινώντας από το ποδαράκι 6 δεξιόστροφα. Στο τέλος δύο στρώματα μόνωσης φιλμ πολυεστερίου πάχους 7,4 mm.

Το σχηματικό του παλμοτροφοδοτικού σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα PI Expert 8 το οποίο παρέχει η Power Integrations δωρεάν και φαίνεται παρακάτω. Για την κατασκευή της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε το Altium Designer στο οποίο αφού σχεδιαστεί το σχηματικό και ονομαστούν οι διαδρομές των αγωγών (NETS) πρέπει σε κάθε υλικό να οριστούν τα ποδαράκια (footprints), ο τύπος τους, throw hole ή smd (surface mount technology) και η αριθμησή τους. Αυτά τα ποδαράκια θα εμφανιστούν μετά στην πλακέτα PCB και θα πρέπει να τοποθετηθούν στο σωστό σημείο. Το Altium Designer σου δίνει την δυνατότητα για αυτόματη καλωδίωση (autorouting) των υλικών με βάση το σχηματικό αλλά δεν παράγει πάντα το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η τελική πλακέτα καλό είναι να βελτιστοποιηθεί με το χέρι από το μηχανικό.

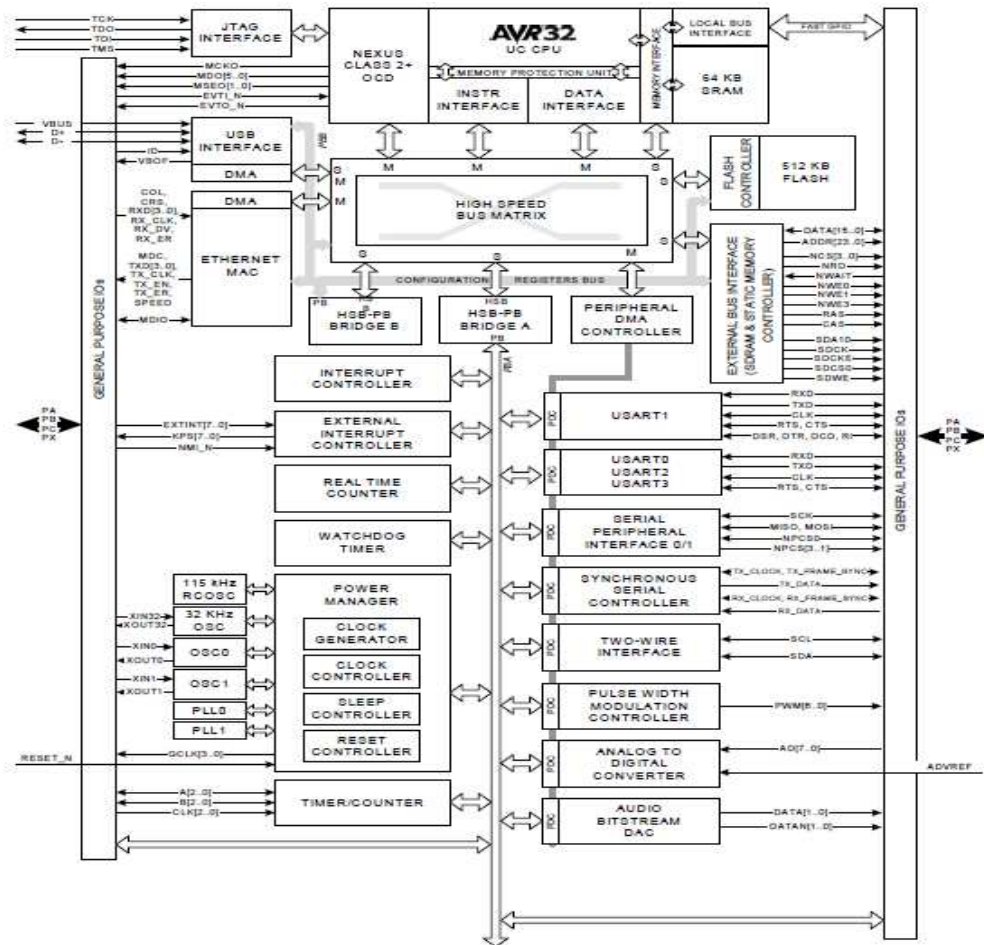


Εικόνα 22 Σχηματικό διάγραμμα τροφοδοτικού.

4.2 Μονάδα Μικροεπεξεργαστή

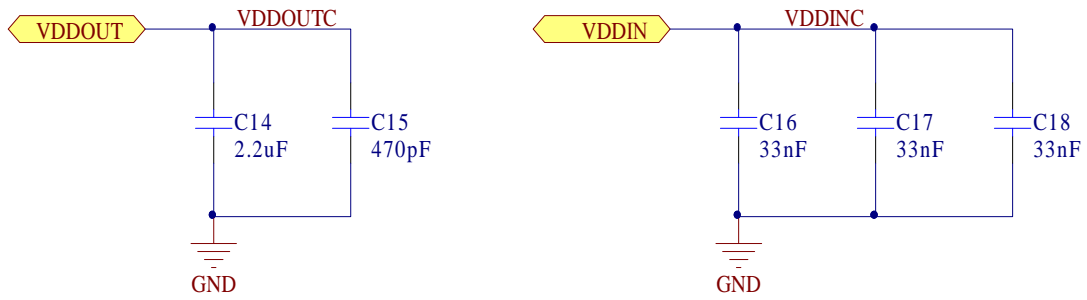
Ο μικροεπεξεργαστής που χρησιμοποιείται στον ηλεκτρονόμο σημάτων είναι της Atmel, ο AT32UC3A0512 [5]. Είναι ένας system on chip μικροεπεξεργαστής, δηλαδή συμπεριλαμβάνει μια πληθώρα περιφερειακών. Αποτελείται από ένα 32 bit επεξεργαστή αρχιτεκτονικής RISC και τρέχει με συχνότητες μέχρι 66 MHz. Επίσης έχει ενσωματωμένη ιεραρχία μνήμης Flash και SRAM. Έχει 144 pins που το καθένα χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό και μπορεί να έχει έως 3 διαφορετικές λειτουργίες. Τα περιφερειακά του είναι το όπλο του συγκεκριμένου μικροεπεξεργαστή τα οποία είναι, USB, Ethernet, SDRAM, DMA, INTC, PM, RTC, WDT, EIC, GPIO, USART, SPI, TWI, TC, ADC. Το κάθε ένα από αυτά έχει τους δικούς του καταχωρητές, δομικό διάγραμμα, διακοπές υλικού (interrupts), και αποτελεί ξεχωριστή μελέτη για συγκεκριμένες εφαρμογές. Ο μικροελεγκτή τροφοδοτείτε στα 3,3 Volt μέσω του ρυθμιστή τάσης LMS8117A της National Semiconductor [17].

Στον H/N σημάτων σφαλμάτων θα χρειαστούν τα περιφερειακά GPIO αφού ελέγχει τις εισόδους και εξόδους τις εφαρμογής που χρησιμοποιούνται σαν απλά σήματα. Το INTC είναι για το χειρισμό εξωτερικών διακοπών, η RTC μονάδα ελέγχου πραγματικού χρόνου, το SPI είναι υπεύθυνο για τη σειριακή επικοινωνία με την οθόνη και το USB για την τοπική αποθήκευση των δεδομένων σε εξωτερική μνήμη τύπου Flash. Επίσης το MAC περιφερειακό χρησιμεύει για τη λειτουργία του Ethernet. Στο παρακάτω δομικό διάγραμμα του μικροεπεξεργαστή φαίνονται όλα τα περιφερειακά που θα χρειαστούν.

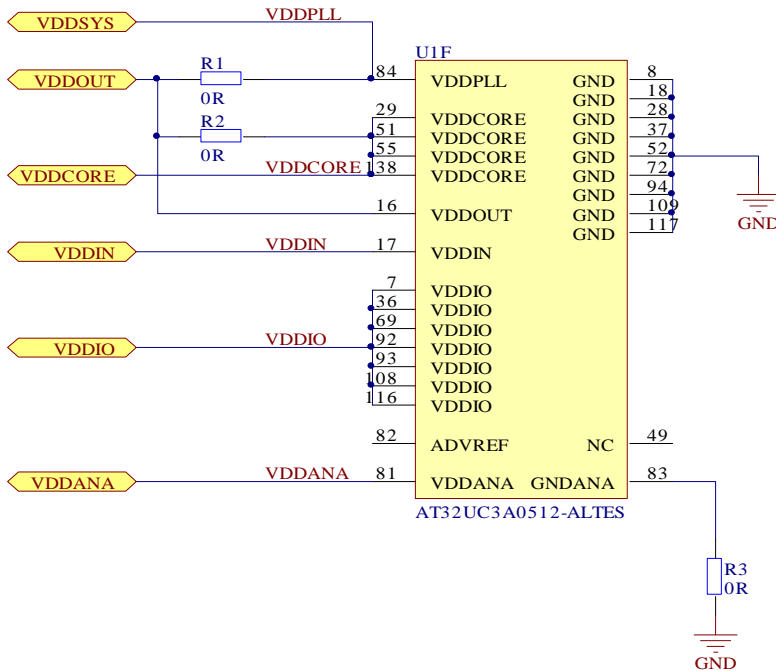


Εικόνα 23 Δομικό διάγραμμα AT32UC3A0512.

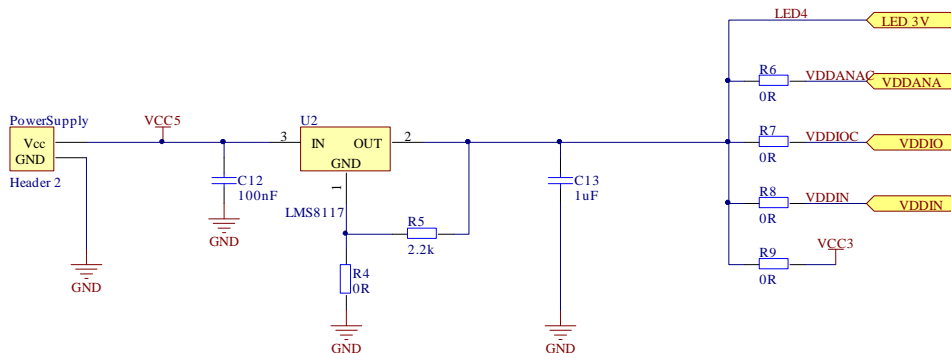
Τα σχηματικά και η πλακέτα του μικροεπεξεργαστή σχεδιάστηκαν με το Altium Designer και ακολουθούν τους κανόνες σχεδίασης της Atmel. Μπορούν να παρατηρηθούν οι πυκνωτές φίλτραρίσματος του θορύβου ανάμεσα στις τάσεις VDDIN, VDDOUT, VDDIO, VDDANA, VDDCORE, VDDSYS. Οι πυκνωτές 33nF έχουν τοποθετηθεί κοντά στο τσιπ και των 100nF πιο μακριά. Πάνω στην πλακέτα υπάρχει ένας JTAG connector για το σειριακό προγραμματισμό του μικροεπεξεργαστή και μια θύρα USB type A για την αποθήκευση των δεδομένων. Επίσης υπάρχουν και οι διάδρομοι δεδομένων που ενώνουν τον μικροεπεξεργαστή με τα άλλα περιφερειακά.



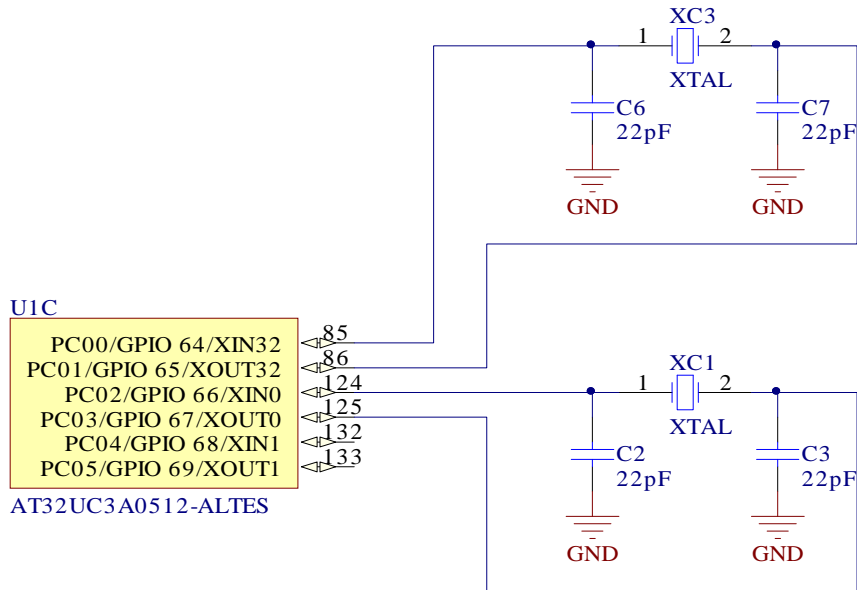
Εικόνα 24 Σχηματικό decoupling capacitors.



Εικόνα 25 Τροφοδοσία μικροελεγκτή.



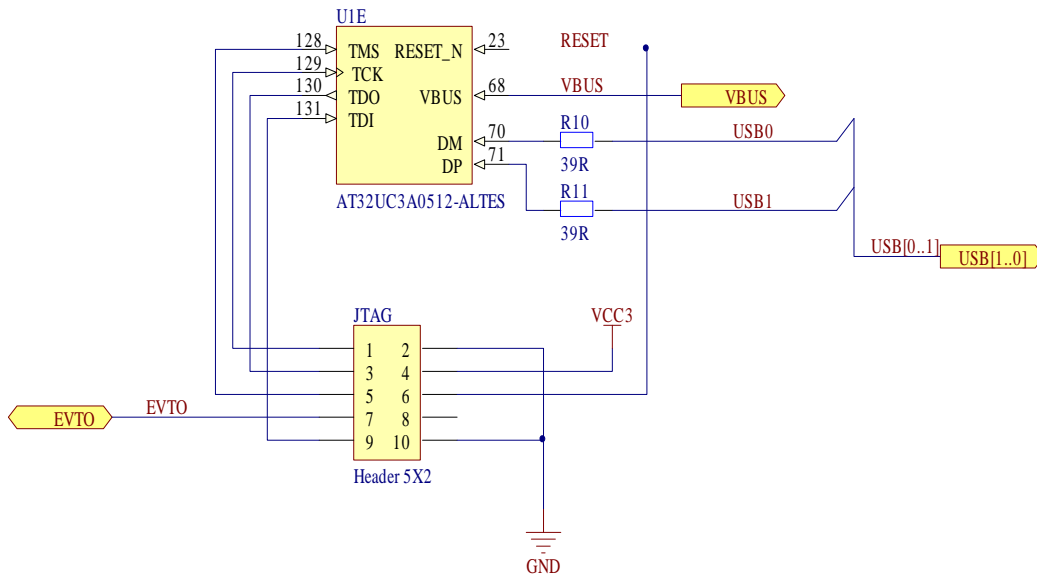
Εικόνα 26 Ρυθμιστής τάσης 3,3 Volt.



Εικόνα 27 Κρύσταλλοι στον μικροεπεξεργαστή.

Για τον συγχρονισμό του μικροελεγκτή χρησιμοποιείτε ο κρύσταλλος XC1, ο οποίος είναι στα 12 MHz και είναι της Euro Quartz.

Ο κρύσταλλος XC3 είναι για την τροφοδότηση του ρολογιού, είναι στα 32 kHz και είναι της Citizen.

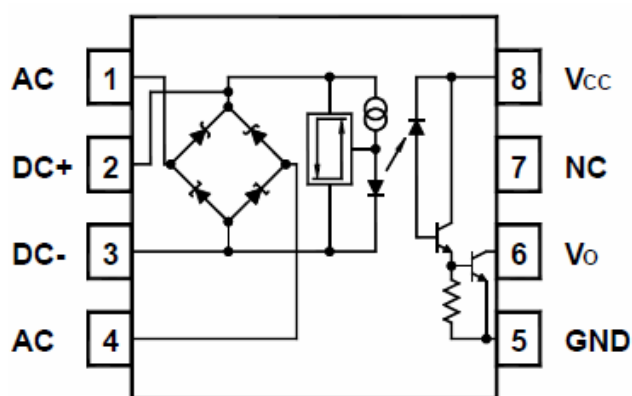


Εικόνα 28 JTAG και USB συνδεσμολογία.

4.3 Μονάδα εισόδων, εξόδων

Η μονάδα εισόδων εξόδων αποτελείται από δεκαέξι γαλβανικά απομονωμένες εισόδους με τη χρήση optocoupler και τέσσερις εξόδους solid state relay. Το optocoupler που χρησιμοποιείται είναι το HCPL3700 της Fairchild semiconductor, δέχεται υψηλή τάση ac, dc και ανάλογα την κατάσταση της εισόδου ενεργοποιεί μια επαφή. Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε το σχηματικό του και το λογικό πίνακα. Για να συνδέσουμε τα 110V dc πρέπει να βάλουμε δύο αντιστάσεις σε σειρά στους ακροδέκτες 2, 3 σύμφωνα με το έγγραφο εφαρμογών [6] οι οποίες έχουν υπολογιστεί να έχουν την τιμή 10 K. Επίσης ανάμεσα στα pins 8,5 και 6,5 μπαίνουν πυκνωτές 0.1uF και ανάμεσα στα 6,8 μια αντίσταση 100 Ohm. Παρατηρείται ότι για εναλλασσόμενη τάση εισόδου μπορεί να χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες 1, 4.

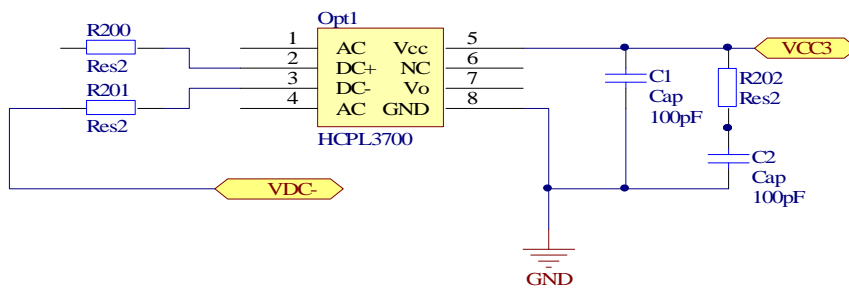
Το solid state relay είναι το HFS2 της HONGFA [7] και έχει μέγιστο ρεύμα φορτίου 150 mA. Δέχεται σαν λογική είσοδο 3.3 V από το μικροεπεξεργαστή και οδηγεί μέχρι 200 V DC. Η διέγερση της επαφής γίνεται στην ουσία με ένα φωτοτρανζίστορ και όχι με ένα πηνίο όπως δουλεύουν τα ηλεκτρομηχανολογικά ρελέ. Στους ακροδέκτες 1, 2 έχουμε τα 3,3V και στους 4, 6 το φορτίο.



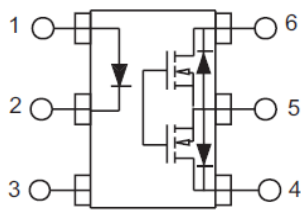
Εικόνα 29 Optocoupler HCPL3700.

Input	Output
H	L
L	H

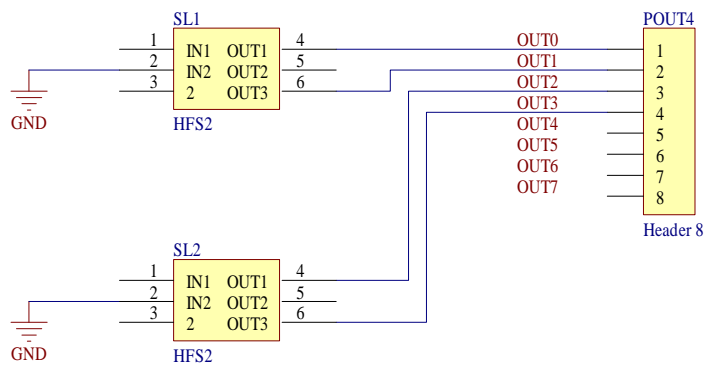
Εικόνα 30 Πίνακας αλήθειας HCPL3700.



Εικόνα 31 Σχηματικό διάγραμμα Optocoupler στην εφαρμογή.



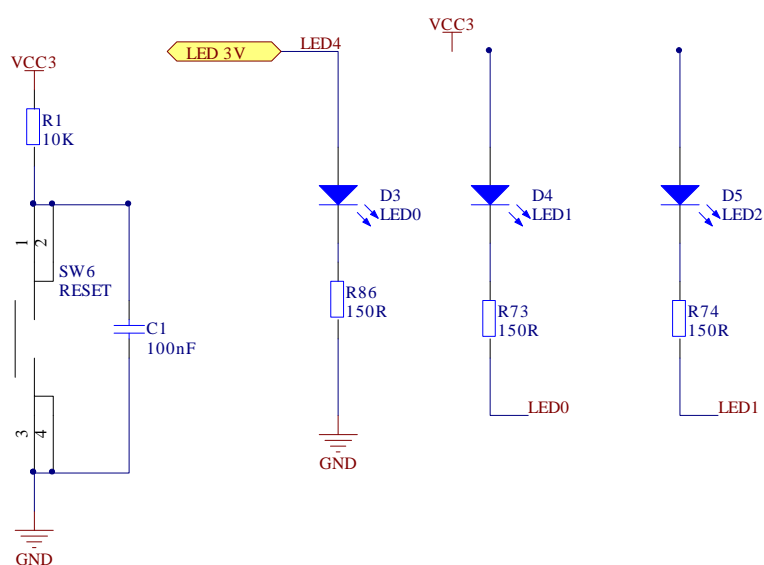
Εικόνα 32 Solid state relay HFS2.



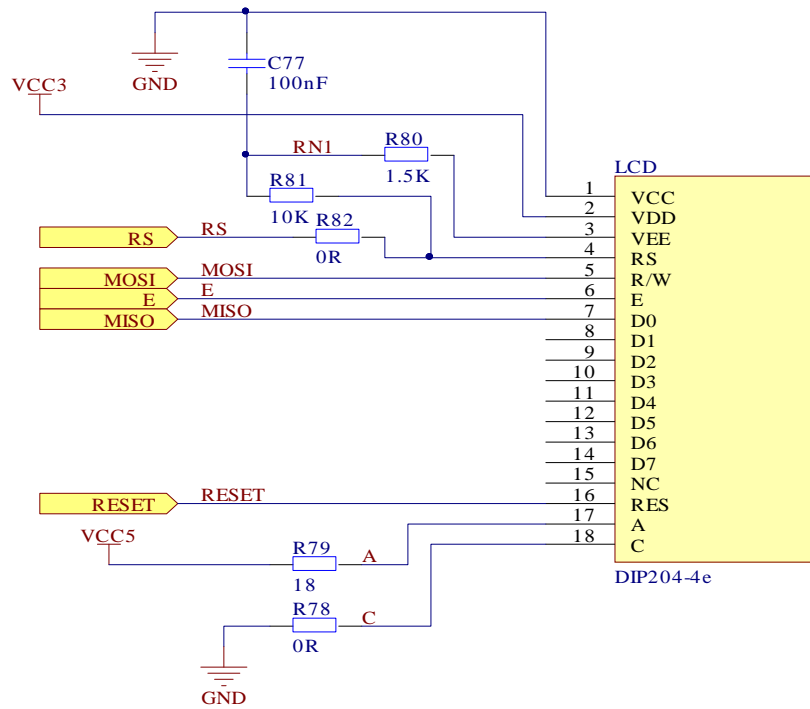
Εικόνα 33 Σχηματικό διάγραμμα HFS2 στην εφαρμογή.

4.4 Μονάδα αλληλεπίδρασης χειριστή, συσκευής

Η μονάδα της πρόσοψης συμπεριλαμβάνει την οθόνη LCD 4x20 χαρακτήρων, έξι πλήκτρα και τέσσερα LED. Η LCD είναι η dip204 [8] δέχεται σειριακά δεδομένα από τον επεξεργαστή μέσω της θύρας SPI και αναγνωρίζει τους ASCII χαρακτήρες. Στον μικροεπεξεργαστή έχουν περαστεί οι κατάλληλοι drivers για την αποστολή μηνυμάτων στην οθόνη. Τα πλήκτρα έχουν καθορισμένο ρόλο στην εφαρμογή όπως ΔΕΞΙΑ, ΑΡΙΣΤΕΡΑ, ΕΠΙΛΟΓΗ, ΕΞΟΔΟΣ, ΑΝΑΙΡΕΣΗ και RESET. Η επιλογή των λειτουργιών των πλήκτρων έχει γίνει με βάση τις απαιτήσεις του προγραμματισμού της συσκευής. Τα LED δείχνουν και αυτά κάποιες καταστάσεις όπως παροχή τροφοδοσίας, ένδειξη βλάβης, βλάβη προγράμματος, ενεργοποίηση συναγερμού και έλλειψη τάσης. Στα παρακάτω σχηματικά φαίνονται οι παραπάνω συνδεσμολογίες.



Εικόνα 34 Σχηματικό διάγραμμα πλήκτρων και LED.



Εικόνα 35 Σχηματικό διάγραμμα LCD.

Οι τέσσερις πλακέτες που θα κατασκευαστούν συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια τύπου flat cables και ακροδέκτες τύπου pin headers.

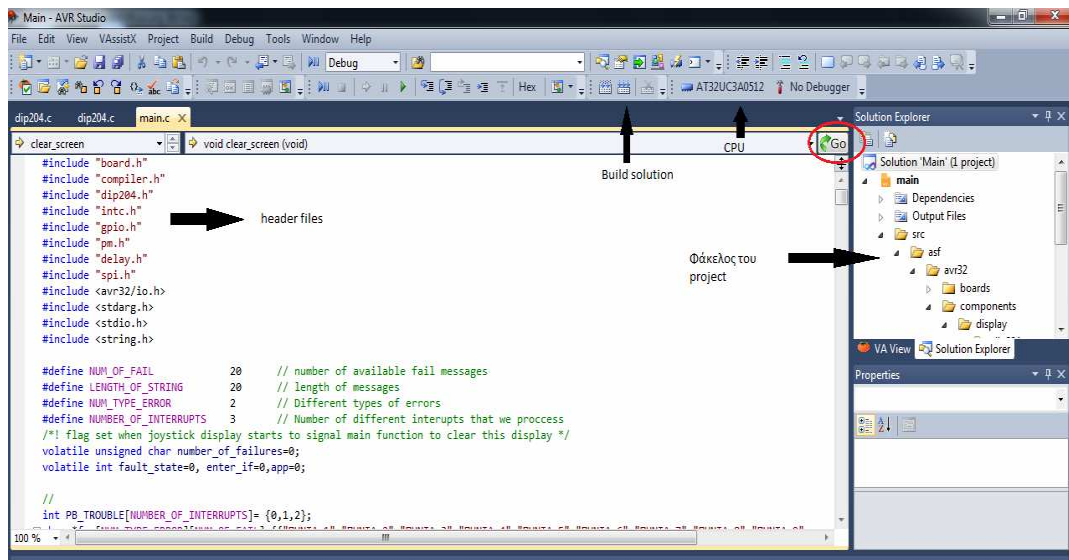
5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή έγινε στο Atmel Studio 6 της Atmel και βασίζεται σε ένα RTOS (Real Time Operation System) [18], [19].

Το πρόγραμμα αυτό καθ' εαυτό δε διαφέρει σε κάτι από έναν συνηθισμένο C editor. Ωστόσο, η Atmel προσφέρει ένα σημαντικό “εργαλείο” για την γρήγορη κατανόηση του πώς τελειοποιείται μια εφαρμογή, το οποίο είναι η πλούσια βιβλιοθήκη από έτοιμες εφαρμογές και κώδικες για την οδήγηση των περιφερειακών. Οι έτοιμες εφαρμογές είναι χωρισμένες με βάση το kit που εφαρμόζονται. Το kit είναι μια έτοιμη πλατφόρμα με ενσωματωμένα περιφερειακά όπως πλήκτρα, LED, οθόνη και διάφορα αισθητήρια με σκοπό την δοκιμή κώδικα για διάφορες εφαρμογές. Το kit που έχει επιλεγεί για την δοκιμή του καταμετρητή σφαλμάτων είναι το EVK1100. Χρησιμοποιώντας τα έτοιμα παραδείγματα του Atmel studio μπορεί να υπάρχει καθοδήγηση για την υλοποίηση της εφαρμογής. Υπάρχει κώδικας για την οδήγηση των εισόδων, εξόδων (GPIO), τον έλεγχο της οθόνης LCD (dip204), την οδήγηση του USB (Mass Storage Class). Με την σωστή τροποποίηση του έτοιμου κώδικα μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι της εφαρμογής. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το περιβάλλον του Atmel Studio 6.



Εικόνα 36 Εκπαιδευτική πλατφόρμα EVK1100.



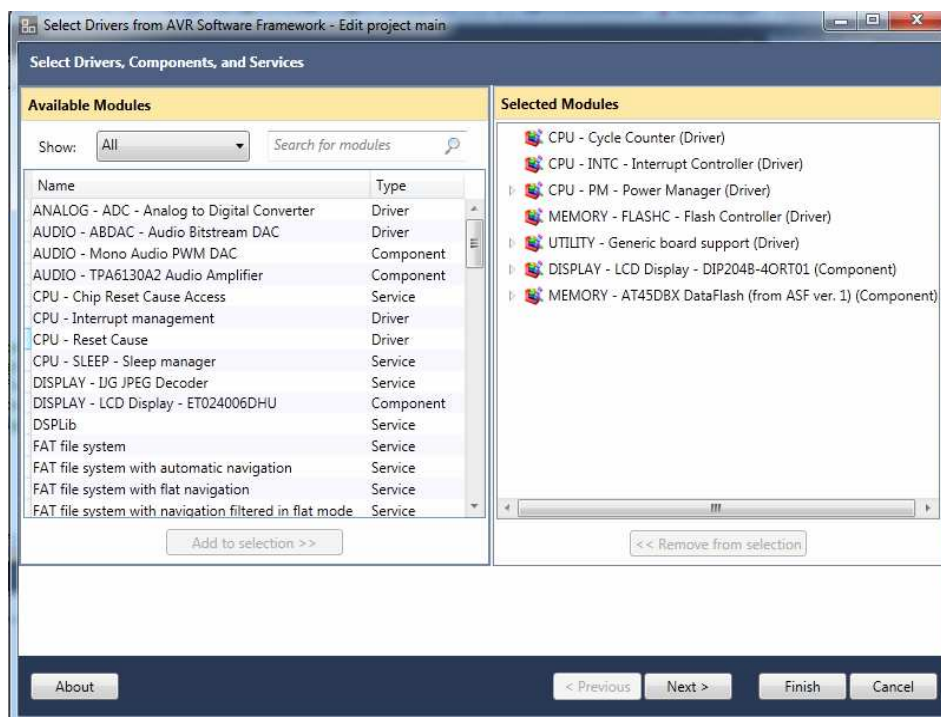
Εικόνα 37 Επιφάνεια εργασίας AVR Studio5, δείχνεται το πλήκτρο GO, τα header files και οι drivers.

Για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής μπορούν να προστεθούν οι drivers ανάλογα με τα περιφερειακά της εφαρμογής. Αν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ένα περιφερειακό

του kit επιλέγετε “project->select drivers from ASF” και εμφανίζεται το παράθυρο με όλους τους drivers:

Η εισαγωγή ενός driver συνοδεύεται με την εισαγωγή ενός header file (*.h) στο φάκελο του προγράμματος. Το *.h αρχείο περιέχει δηλώσεις συναρτήσεων οι οποίες είναι απαραίτητες για τη χρήση της περιφερειακής συσκευής και “συνδέεται” με το αντίστοιχο *.c αρχείο το οποίο περιέχει τον κώδικα αυτών των συναρτήσεων. Το γεγονός ότι φαίνεται τί κρύβεται πίσω από τις συναρτήσεις του εκάστοτε header είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς προσφέρεται η δυνατότητα να ο προγραμματιστής να φτάσει σε χαμηλότερο επίπεδο και να επιτευχθεί η δημιουργία πλήρως καθορισμένων προγραμμάτων.

Σημειώνεται ότι με το κουμπί GO μπορεί να βρεθούν εύκολα και γρήγορα τα αρχεία στα οποία ορίζονται συναρτήσεις, μεταβλητές, ακόμα και pins της CPU!



Εικόνα 38 Προσθήκη driver στην εφαρμογή.

Τα προγράμματα οδήγησης υλικού (drivers) που θα χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη συσκευή είναι το GPIO, SPI, RTC, USB, MACB [5].

Ο GPIO ελέγχει τις εισόδους και τις εξόδους του μικροεπεξεργαστή. Ο κάθε ακροδέκτης μπορεί να έχει μια pull up αντίσταση και να είναι πολυπλεγμένος με έως τέσσερα περιφερειακά. Αυτά ελέγχονται από τους καταχωρητές του GPIO, ο οποίος

έχει προγραμματιστεί να δημιουργεί μια διακοπή υλικού (interrupt) κάθε φορά που ενεργοποιείται η συγκεκριμένη είσοδος.

Ο SPI καθορίζει μια σύγχρονη σειριακή επικοινωνία μεταξύ εξωτερικών συσκευών και το μικροεπεξεργαστή. Μπορεί να είναι σε λειτουργία αφέντη ή σκλάβου (master ή slave). Ο SPI, στην ουσία, είναι ένας καταχωρητής που σπρώχνει τα bit του σειριακά σε άλλους SPI. Κατά την αποστολή δεδομένων μία συσκευή λειτουργεί σαν αφέντης και οι άλλες σαν σκλάβοι. Ο κάθε SPI έχει από δύο γραμμές δεδομένων και από δύο γραμμές ελέγχου. Από αφέντη σε σκλάβο (MOSI) και από σκλάβο σε αφέντη (MISO) είναι οι δύο γραμμές δεδομένων. Οι γραμμές ελέγχου είναι το σειριακό ρολόι (SPCK) και ο επιλογέας σκλάβων (NSS).

Ο RTC κατασκευάζει το ρολόι πραγματικού χρόνου της εφαρμογής και συγχρονίζεται από τον κρύσταλλο του μικροεπεξεργαστή. Μπορεί να κάνει μία διακοπή υλικού κάθε δευτερόλεπτο και να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός ημερολογίου αλλά και ενός μετρητή πραγματικού χρόνου.

Ο USB προέρχεται από τις λέξεις Universal Serial Bus και ο οδηγητής ελέγχει το συγκεκριμένο περιφερειακό. Έχει τις κατάλληλες συναρτήσεις για αποστολή δεδομένων, αρχείων μέσω USB σε εξωτερικές μνήμες ή σε άλλες συσκευές όπως τους H/Y.

Ο MACB ενσωματώνει ένα 10/100 Ethernet MAC (Media Access Control) σύμφωνα με το IEEE 802.3 πρότυπο. Χρησιμοποιεί καταχωρητές ελέγχου και έναν ελεγκτή διευθύνσεων, ικανό για αποστολή και παραλαβή πακέτων και DMA αλληλεπίδραση. Το MACB είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία της συσκευής με το διαδίκτυο και με τη βοήθεια δωρεάν λογισμικού (FreeRTOS) που χρησιμοποιεί την γλώσσα C για την υλοποίηση λειτουργιών, μπορούν να αποσταλούν αρχεία και δεδομένα.

5.1 Το πρόγραμμα του καταμετρητή σημάνσεων.

Όπως δηλώνει και το όνομά του, η συσκευή αυτή είναι ένας καταμετρητής σφαλμάτων.

Στόχος είναι να χρησιμοποιηθεί σε υποσταθμούς, οπότε έχουν ζητηθεί κάποιες συγκεκριμένες λειτουργίες, οι οποίες υλοποιούνται από τον κώδικα. Στο παρακάτω διάγραμμα ροής φαίνεται η δομή του προγράμματος, και πώς λειτουργεί η συσκευή.

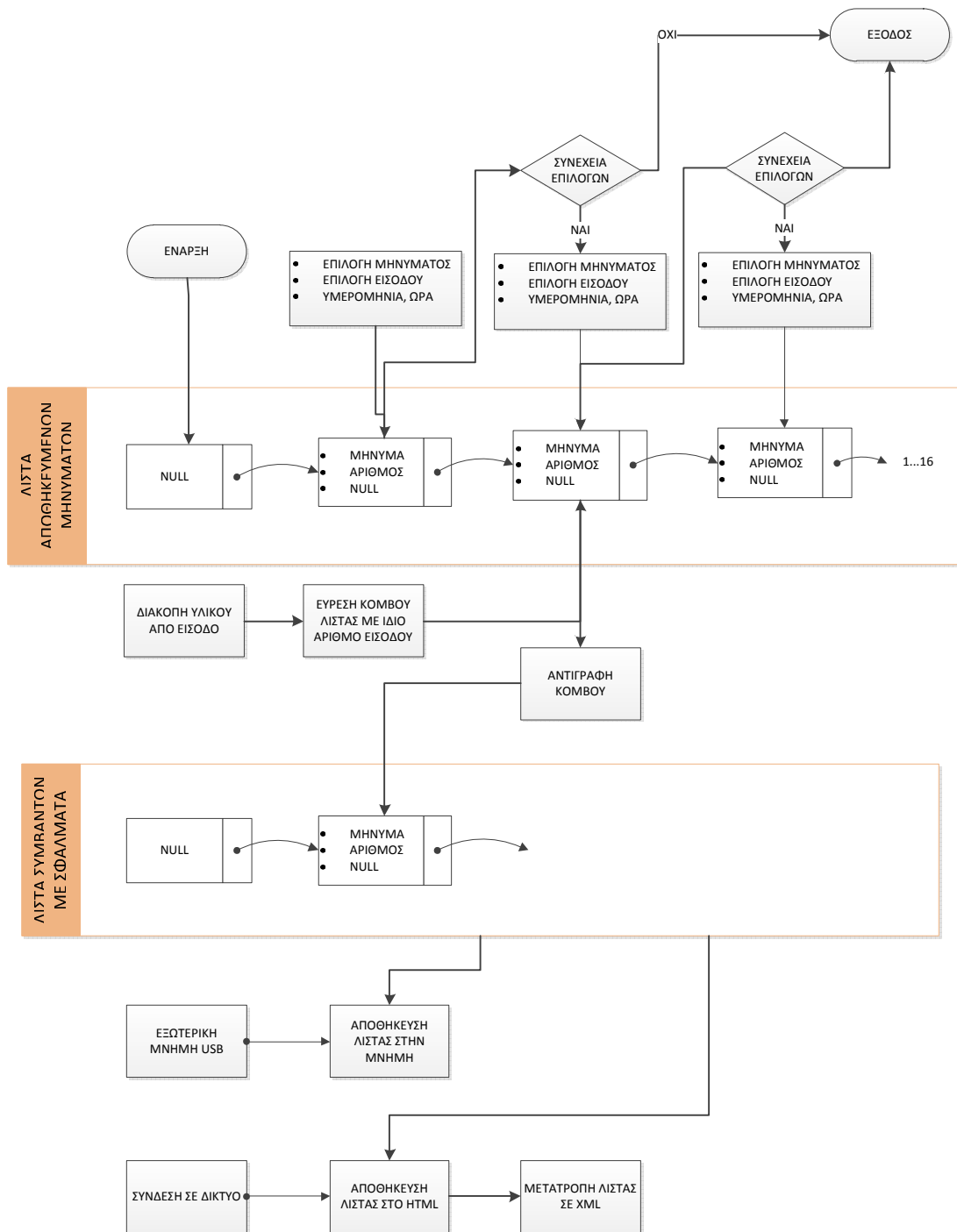
Το διάγραμμα ροής καθρεπτίζει το πρόγραμμα που έχει εγκατασταθεί στη συσκευή και έχει διαμορφωθεί με βάση της απαιτήσεις της συσκευής.

Ο χρήστης αποθηκεύει τα επιθυμητά μηνύματα και καλώδια σε μια λίστα σφαλμάτων που έχει την συγκεκριμένη δομή. Όταν ένα σφάλμα συμβεί, τότε γίνεται εύρεση της εισόδου που του αντιστοιχεί και αποθηκεύεται ο κόμβος της λίστας σε μια άλλη λίστα που ονομάζεται λίστα συμβάντων σφαλμάτων. Η λίστα συμβάντων είναι αυτή που αποθηκεύεται στη μνήμη και μπορεί να υπάρχει πρόσβαση σε αυτή οποιαδήποτε στιγμή. Όταν μια εξωτερική μνήμη συνδεθεί μέσω θύρας USB τότε η λίστα συμβάντων αποθηκεύεται στη μνήμη. Όταν συνδεθεί ένα δίκτυο στη συσκευή τότε η συσκευή λειτουργεί σαν server και στέλνει σε ένα html το σφάλματα που έχουν καταγραφεί. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται πως αλληλεπιδρούν οι λίστες του προγράμματος.

```
struct node
{
    int fault_wire;
    char *taken_fault;
    struct mytm *node_time;
    struct node *next;
};
```

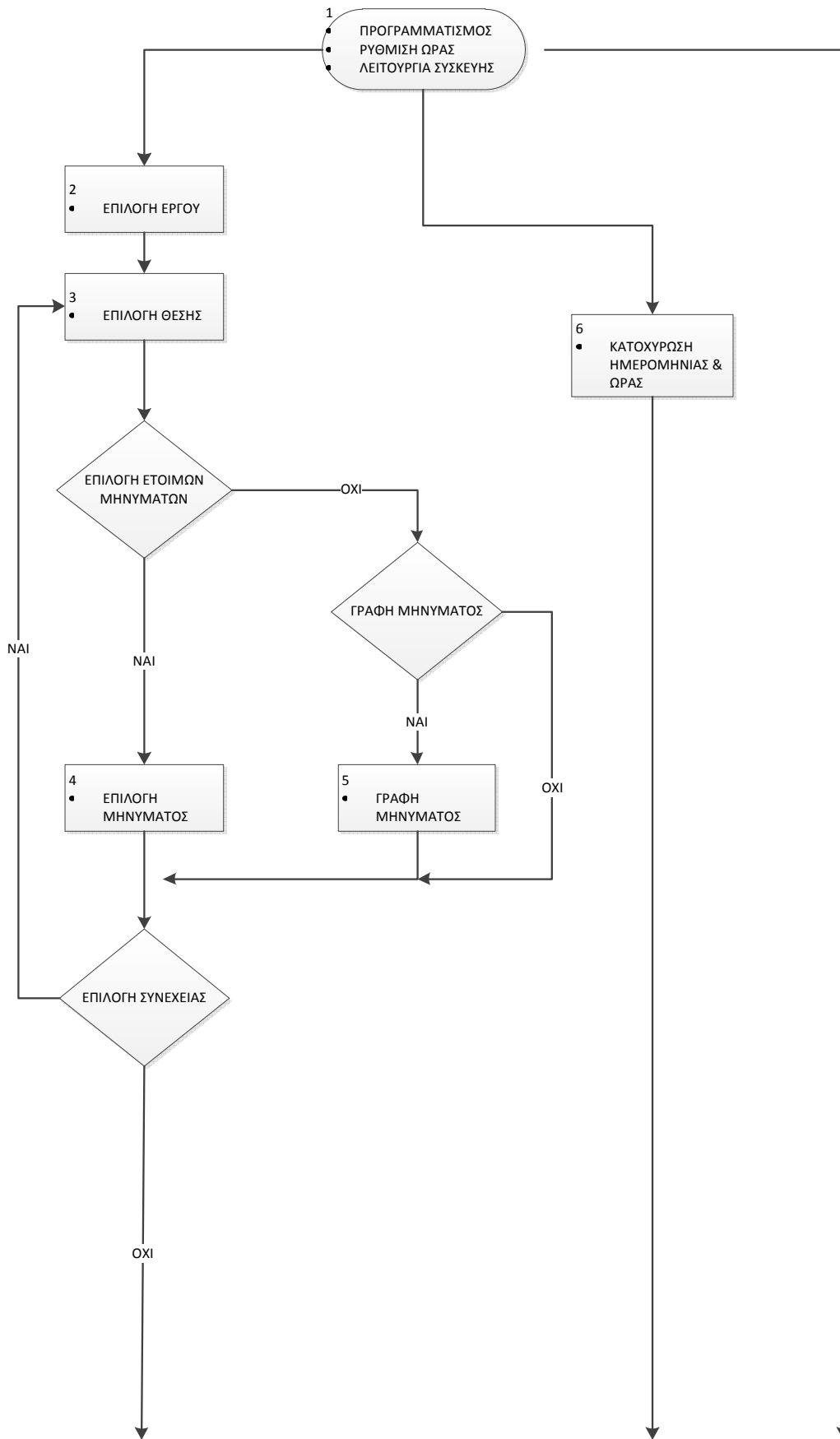
Για την ημερομηνία και την ώρα έχει χρησιμοποιηθεί η παρακάτω δομή.

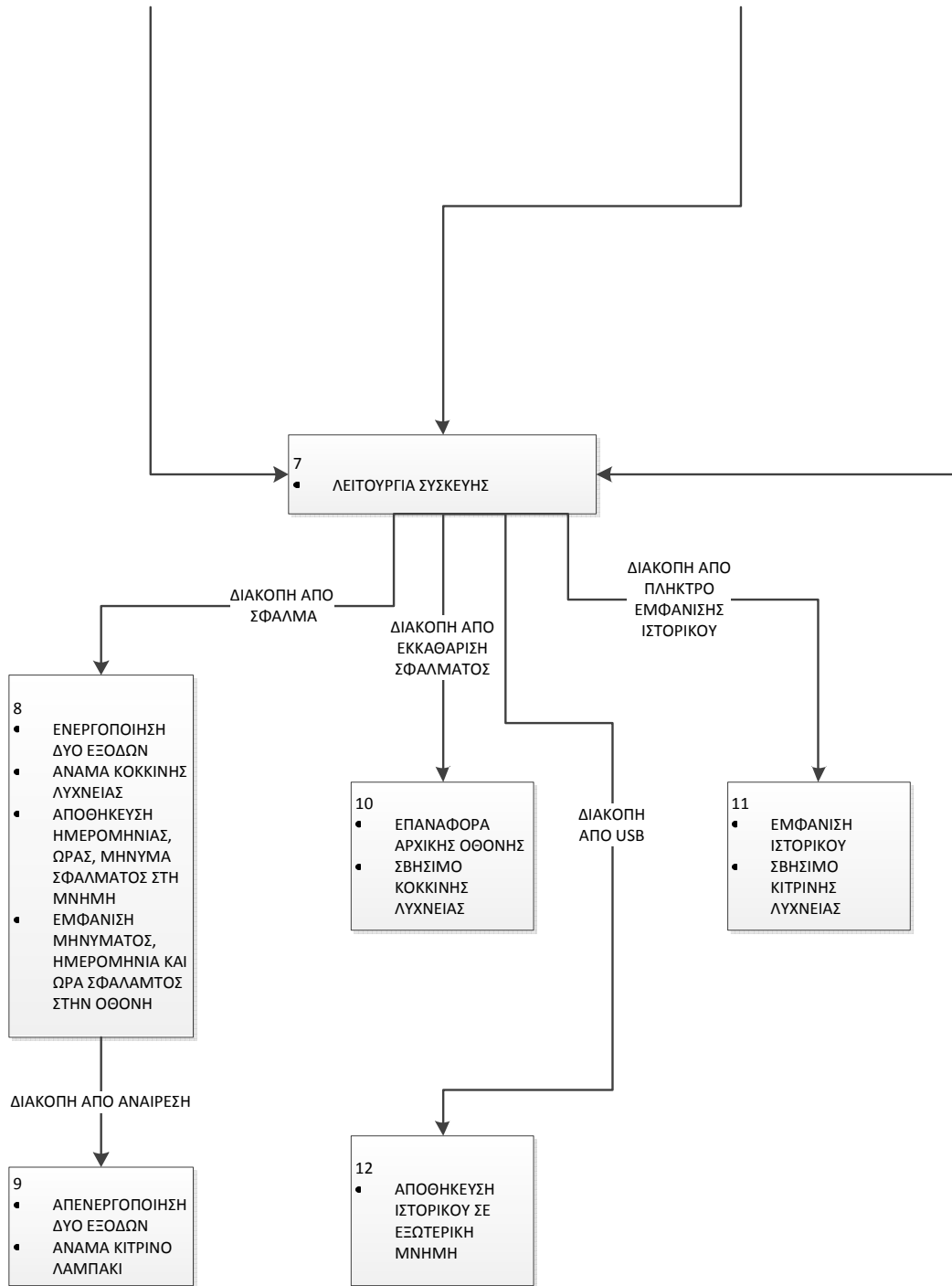
```
struct mytm
{
    int mytm_sec;
    int mytm_min;
    int mytm_hour;
    int mytm_mday;
    int mytm_mon;
    int mytm_year;
};
```



Εικόνα 39 Δομές δεδομένων προγράμματος.

Στο παρακάτω δομικό διάγραμμα παρουσιάζεται η δομή του προγράμματος του ηλεκτρονόμου καταγραφής σφαλμάτων.





Εικόνα 40 Δομικό διάγραμμα προγράμματος.

5.2 Περιγραφή δομικού διαγράμματος

1. Η αρχική οθόνη της συσκευής έχει τρεις επιλογές, τον προγραμματισμό της συσκευής, την αποθήκευση της ημερομηνίας, ώρας και την λειτουργία της συσκευής. Ο προγραμματισμός της συσκευής τρέχει στην συνάρτηση `main` και καλεί ένα σύνολο από συναρτήσεις οι οποίες έχουν ενσωματωθεί στην βιβλιοθήκη συναρτήσεων της οθόνης LCD. Η λειτουργία του μενού επιλογών βασίζεται σε ένα βρόγχο `while` το οποίο περιμένει την διακοπή υλικού (`hardware interrupt`) που θα δημιουργηθεί με το πάτημα ενός πλήκτρου για να τρέξει το επόμενο τμήμα του κώδικα. Ο `driver GPIO` αναγνωρίζει τη διακοπή υλικού (`hardware interrupt`) του συγκεκριμένου πλήκτρου και αλλάζει την κατάσταση των `bits` των καταχωρητών του `GPIO`. Το πρόγραμμα συνδέεται μέσω μεταβλητών με την διακοπές κάθε πλήκτρου και μετακινεί τον επιλογέα στην οθόνη αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιλεγεί η επιθυμητή λειτουργία.
2. Στη φάση του προγραμματισμού ο χρήστης επιλέγει την κατηγορία του έργου που βρίσκεται η εγκατάσταση. Για παράδειγμα πυκνωτές αντιστάθμισης, φωτοβολταικά, πύλη 150 KV. Η επιλογή γίνεται με την ίδια λογική με την λειτουργία του 1. Δηλαδή ένα πλήκτρο ενεργοποιεί μια κατάσταση του `GPIO` και το πρόγραμμα αναγνωρίζει μέσω μεταβλητών τις αλλαγές αυτές. Υπάρχει μια έτοιμη λίστα επιθυμητών εγκαταστάσεων για επιλογή.
3. Στην φάση αυτή έχουμε δημιουργήσει μια δομή δεδομένων τύπου λίστας στην οποία ο κάθε κόμβος έχει τον αριθμό του επιθυμητού σφάλματος από τα 1 έως τα 16 που θα επιτηρηθεί.
4. Ζητείται να επιλεγεί ένα από τα έτοιμα μηνύματα που έχουν αποθηκευτεί στην συσκευή και το οποίο θα αντιστοιχηθεί με την προεπιλεγμένη θέση καλωδίου.
5. Σε περίπτωση μη επιλογής έτοιμου μηνύματος υπάρχει η δυνατότητα γραφής μηνύματος. Αυτό επιτυγχάνεται εμφανίζοντας στην οθόνη όλους τους χαρακτήρες που αναγνωρίζει η οθόνη και με την βοήθεια ενός επιλογέα φτιάχνεται το επιθυμητό μήνυμα.

6. Στο μενού αυτό ο χρήστης φτιάχνει την επιθυμητή ώρα και ημερομηνία από την οποία θα ξεκινήσει να μετράει ο χρόνος. Ο τρόπος γραφής της είναι hh:mm dd/mm/yy και σε αυτή την μορφή το πρόγραμμα αποθηκεύει και εμφανίζει την ώρα και την ημερομηνία του σφάλματος.
7. Στην κανονική λειτουργία της συσκευής, ο μικροεπεξεργαστής περιμένει να γίνει κάποια διακοπή (interrupt) για να τρέξει το αντίστοιχο κομμάτι κώδικα.
8. Στην περίπτωση που γίνει κάποιο σφάλμα, η έξοδος του optocoupler θα γίνει από HIGH σε LOW και θα ενεργοποιήσει την διακοπή που βρίσκεται συνδεδεμένη στο αντίστοιχο ποδαράκι του μικροεπεξεργαστή. Ο κώδικας που θα τρέξει θα ενεργοποιήσει δύο εξόδους μέσω δύο solid state relay και θα εμφανίζει το μήνυμα που έχει αντιστοιχηθεί σε αυτή την είσοδο. Η μία έξοδος θα είναι για τη σειρήνα και η άλλη για το φάρο. Επίσης θα αποθηκεύεται το σφάλμα και η ημερομηνία του στην flush για να μη μπορεί να χαθεί σε περίπτωση έλλειψης. Τέλος θα ανάβει μια κόκκινη ενδεικτική λυχνία πάνω στη συσκευή.
9. Το πλήκτρο επανεκκίνησης (reset) που θα βρίσκεται πάνω στην συσκευή θα απενεργοποιεί τις δύο εξόδους και θα ανάβει ένα κίτρινο λαμπάκι σαν ένδειξη ότι το σφάλμα αποθηκεύτηκε στην μνήμη. Το κόκκινο λαμπάκι θα παραμένει αναμμένο σαν ένδειξη ότι το σφάλμα συνεχίζει να υφίσταται.
10. Σε περίπτωση που γίνει εκκαθάριση σφάλματος, μια διακοπή θα επαναφέρει την αρχική οθόνη λειτουργίας της συσκευής και θα σβήσει το κόκκινο λαμπάκι, αφού το σφάλμα δεν θα υπάρχει.
11. Το πλήκτρο εμφάνισης ιστορικού θα εμφανίζει τα παλιά σφάλματα κατά ημερολογιακή κατάταξη.
12. Όλα τα σφάλματα θα μπορούν να αποθηκευτούν σε μια εξωτερική μνήμη μέσω θύρας USB. Με την τοποθέτηση της μνήμης στη θύρα USB, ο driver USBB αναγνωρίζει την συσκευή και σε συνεργασία με επιπλέον συναρτήσεις δημιουργούν ένα αρχείο με τα αποθηκευμένα μηνύματα ανά ημερολογιακό συμβάν.

Για την υλοποίηση του λογισμικού χρειάστηκαν επιπρόσθετες συναρτήσεις οι οποίες προστέθηκαν στις είδη υπάρχοντες βιβλιοθήκες. Για τη λειτουργία του μενού επιλογών, την επιλογή σφαλμάτων και τη γραφή μηνυμάτων φτιάχτηκαν οι παρακάτω συναρτήσεις.

```
unsigned int count_string(const char *string)
```

Μετράει το πλήθος χαρακτήρων ενός ενιαίου κειμένου.

```
void print_dec_digit (unsigned char i)
```

Τυπώνει ένα χαρακτήρα.

```
void dip204_write_number (long int i)
```

Τυπώνει έναν ακέραιο αριθμό.

```
void dip204_write_greek_string(const char *string,int y)
```

Τυπώνει μια ελληνική λέξη.

```
void write_string (char *string)
```

Γίνεται επιλογή των ASCII χαρακτήρων και αποθηκεύεται ένα μήνυμα.

```
void reset_screen (void)
```

Επαναφορά στην αρχική οθόνη.

```
void clear_line (int i)
```

Καθαρίζει μια γραμμή.

```
void clear_screen (void)
```

Καθαρίζει την οθόνη.

```
int initialisation_device (void)
```

Αρχικό μενού επιλογών.

```
int initialisation_problem (void)
```

Γίνεται επιλογή της εφαρμογής που θα χρησιμοποιηθεί η συσκευή.

```
int initialisation_error (int app,struct node *fault_curr)
```


Γίνεται επιλογή από τα αποθηκευμένα σφάλματα. Και αποθηκεύονται στη λίστα σφαλμάτων.

```
int initialisation_wiring (struct node *fault_curr)
```

Γίνεται επιλογή αριθμού εισόδου καλωδίου.

```
int ask_for_more (void)
```

Συνεχίζει την επιλογή σφαλμάτων.

```
void write_time (struct mytm *dev_time)
```

Γίνεται αποθήκευση της επιθυμητής ημερομηνίας.

Οι παρακάτω συναρτήσεις φτιάχτηκαν για την μόνιμη λειτουργία της συσκευής.

```
struct node* find_node_set_fault (int w, struct node *fault_head)
```

Γίνεται εύρεση του κόμβου τις λίστας αποθηκευμένων μηνυμάτων με τον αριθμό σφάλματος που αντιστοιχεί σε μια είσοδο. Αυτό αποθηκεύεται στη λίστα συμβάντων με τα σφάλματα.

6. ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ

6.1 Επικοινωνία Η/Ν μέσω διαδικτύου

Σήμερα δεν εννοείται συσκευή που να μη μπορεί να συνδεθεί στο διαδίκτυο και να στέλνει τα δεδομένα της σε αυτό. Η επίτευξη αυτού του στόχου έγινε με την εξέλιξη που είχαν τα δίκτυα την τελευταία δεκαετία και συγκεκριμένα η ευρέως χρήση του Ethernet.

Το Ethernet αποτελεί ένα σύνολο από τεχνολογίες πάνω στα δίκτυα υπολογιστών, πρωτοξεκίνησε εμπορικά το 1980 και απέκτησε το πρότυπο IEEE 802.3 το 1985. Στο Ethernet συμπεριλαμβάνονται μέθοδοι καλωδίωσης και τρόποι αποστολής σήματος, που τα χαρακτηριστικά τους βρίσκονται στο μοντέλο OSI. Το αρχικό 10BASE5 Ethernet χρησιμοποιούσε ομοαξονικό καλώδιο, αλλά αντικαταστάθηκε από το καλώδιο περιστρεφόμενων ζευγών και από την οπτική ίνα. Η μετάδοση δεδομένων αυξήθηκε από 10 μεγαμπιτ το δευτερόλεπτο σε 100 μεγαμπιτ το δευτερόλεπτο.

Το πρωτόκολλο του Ethernet χωρίζει τα δεδομένα σε μικρότερα πακέτα που ονομάζονται frames. Το κάθε πακέτο περιέχει πληροφορίες όπως τις διευθύνσεις του αποστολέα και του δέκτη και ενδείξεις σφάλματος αποστολής για την επανάληψη της μετάδοσης. Το Ethernet περιέχει πρωτόκολλα σε κάθε επίπεδο του μοντέλου OSI όπως και το επίπεδο δεδομένων. Μέχρι σήμερα το Ethernet έχει διατηρήσει την αποτελεσματικότητά του έχοντας χαρακτηριστικά όπως τη 48 bit MAC διεύθυνση και τη δομή του frame.

Το MAC προέρχεται από τις λέξεις Έλεγχος Προσπέλασης Μέσων (media access control), έχει μοναδική ονομασία στα δίκτυα υπολογιστών και βρίσκεται στο υποεπίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσων. Χρησιμοποιείται σε πολλές τεχνολογίες δικτύων όπως και το IEEE 802 συμπεριλαμβανόμενο το Ethernet. Λογικά η διεύθυνση MAC χρησιμοποιείται στο πρωτόκολλο διευθυνσιοδότησης και στον έλεγχο πρόσβασης του επιπέδου δικτύου (MAC) του μοντέλου OSI.

Ο ηλεκτρονόμος ένδειξης σημάτων σφαλμάτων και ο ψηφιακός μετρητής ενέργειας κάνουν χρήση του MAC μέσω υλικού. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται το DP83848I της National Semiconductor [9] το οποίο υλοποιεί το Ethernet στο φυσικό επίπεδο και στο επίπεδο δεδομένων του μοντέλου OSI. Περιέχει τα χαρακτηριστικά του IEEE 802.3 και του MAC πρωτοκόλλου. Το DP83848I επικοινωνεί με τον AT32UC3A0512 μέσω σύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (SPI), δηλαδή χρειάζεται

τέσσερις ακροδέκτες το MOSI, MISO, SPCK, NSS. Τα προγράμματα οδήγησης του SPI προστίθενται στο τελικό πρόγραμμα μέσω του Atmel Studio 6. Η τοποθέτηση του DP83848I γίνεται στην πλακέτα του μικροεπεξεργαστή καθώς είναι SMD και υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χώρος, χωρίς να υπάρχει αύξηση του μεγέθους της πλακέτας.

Για τη χρήση όμως του Ethernet για εφαρμογές διαδικτύου χρειάζονται περισσότερα προγράμματα οδήγησης (drivers) όπως το MAC, HTTP, TFTP και επιπλέον κώδικες όπως το FreeRTOS και lwIP. Αυτό συμβαίνει γιατί για να υλοποιηθεί το μοντέλο OSI στο επίπεδο εφαρμογών χρειάζεται κάποια γλώσσα προγραμματισμού, που να επικοινωνεί με το φυσικό επίπεδο και τον μικροεπεξεργαστή. Το FreeRTOS και το lwIP που είναι γραμμένα σε C έχουν φτιαχτεί ειδικά για εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων χρησιμοποιούνται για να υλοποιήσουν το TCP/IP του επιπέδου μεταφοράς δεδομένων του OSI. Βρίσκονται ως επιπρόσθετος κώδικας μέσα στο Atmel Studio 6 είναι ελεύθερο λογισμικό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε εφαρμογή.

Οι συσκευές που σχεδιάζονται με τον μικροεπεξεργαστή AT32UC3A0512 δουλεύουν σαν εξυπηρετητές (servers), δηλαδή τροφοδοτούν τους αναγνώστες με τις πληροφορίες που θέλουν να διαβάσουν. Κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου HTTP (Hypertext transfer protocol) το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο εφαρμογών και είναι υπεύθυνο για την οργανωμένη αποστολή δεδομένων. Το HTTP υλοποιείται με την γλώσσα προγραμματισμού C και είναι συναρτήσεις που δεν μεταβάλλονται από τον προγραμματιστή. Οι συναρτήσεις αυτές υλοποιούν τις μεθόδους του HTTP για τη ανάγνωση και την γραφή αρχείων HTML.

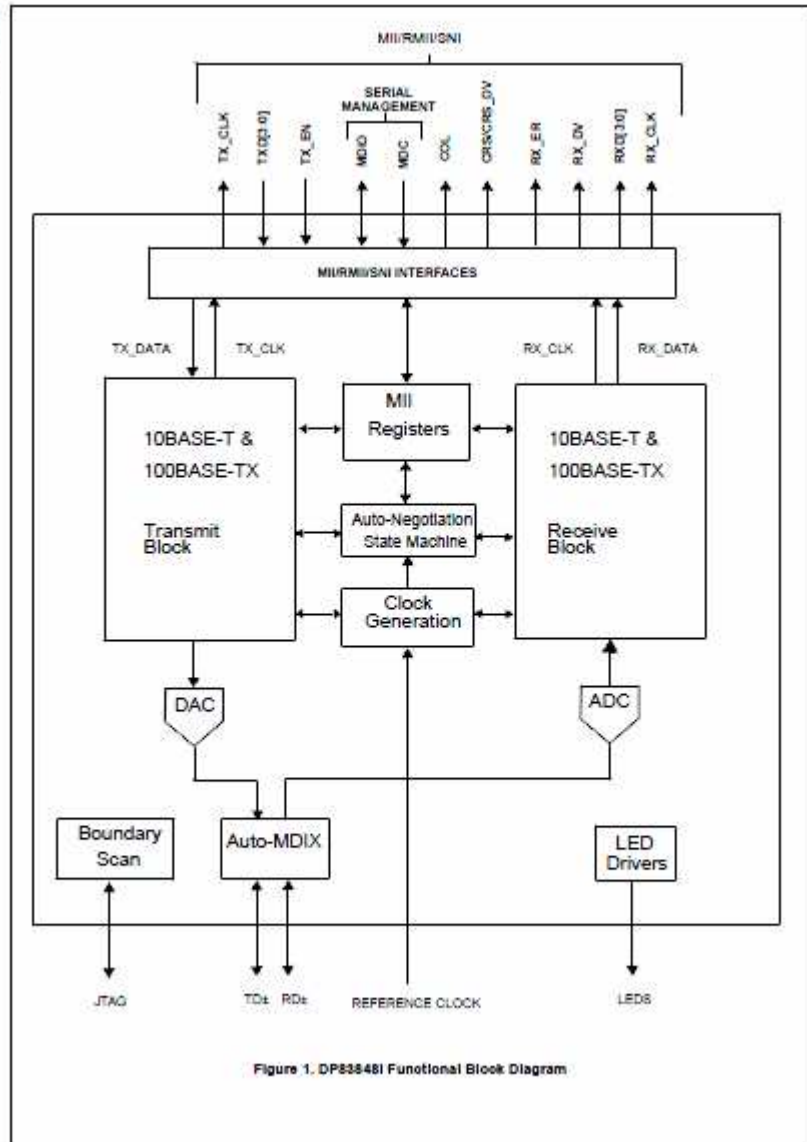
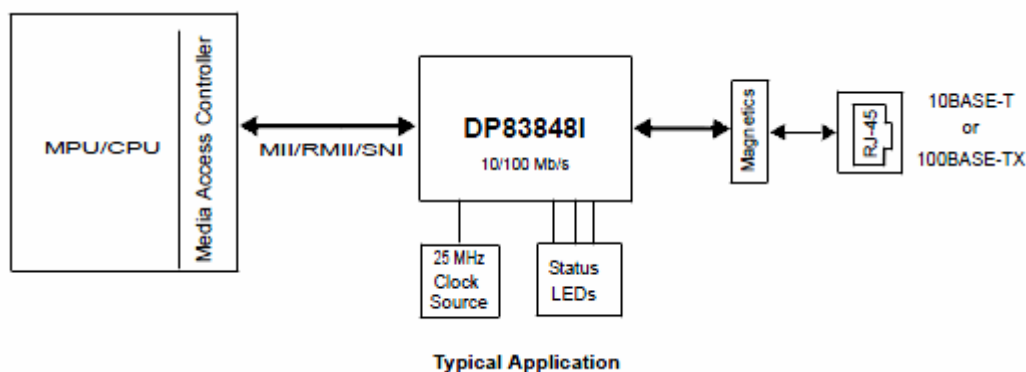


Figure 1. DP83848I Functional Block Diagram

Εικόνα 41 Δομικό διάγραμμα DP83848I.



Εικόνα 42 Τυπική εφαρμογή DP83848I.

Η δουλειά του προγραμματιστή για τις συσκευές είναι στο επίπεδο εφαρμογών δηλαδή να γίνει μια σελίδα στο διαδίκτυο όπου να παρουσιάζονται τα σφάλματα του H/N ένδειξης σφαλμάτων και οι μετρήσεις του ψηφιακού μετρητή ενέργειας. Επίσης πρέπει να δηλωθούν και οι σωστές ονομασίες στον κώδικα του μικροεπεξεργαστή που έχει να κάνει με την αποστολή της σελίδας. Η σελίδα φτιάχνεται με την χρήση της HTML (Hyper Text Markup Language) γλώσσας και αποθηκεύεται στην μνήμη του μικροεπεξεργαστή.

Η HTML επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν ιστοσελίδες οι οποίες περιέχουν κείμενο, γραφικά και δείκτες σε άλλες ιστοσελίδες. Η HTML είναι μια γλώσσα σήμανσης, η οποία για την επιθυμητή παρουσίαση μιας σελίδας χρησιμοποιεί ετικέτες (tags) και οδηγίες (directives) [10]. Όμως για την ανάγκη των εφαρμογών χρειάζεται μια δυναμική παραγωγή της ιστοσελίδας, καθώς αυτή θα ενημερώνεται από τα τρέχον δεδομένα της συσκευής. Ο χειρισμός των φορμών HTML των εφαρμογών γίνεται με το σύστημα Κοινή Διασύνδεση Πύλης Δικτύου (CGI, Common Gateway Interface). Το σύστημα αυτό είναι μια τυποποιημένη διασύνδεση που επιτρέπει σε διακομιστές ιστού να επικοινωνούν με προγράμματα οπισθοφυλακής και να παράγουν σε απάντηση σελίδες HTML. Όταν ο χρήστης στέλνει ή ζητάει κάποια δεδομένα κάνοντας κάποιες δράσεις στη φόρμα HTML, ο φυλλομετρητής πακετάρει σε μια μεγάλη γραμμή τις πληροφορίες που συνέλεξε και τις στέλνει στο διακομιστή για επεξεργασία. Η δουλειά του διακομιστή γίνεται από τη συσκευή μέσω των συναρτήσεων που είναι γραμμένες σε C.

Αυτό που δεν μπορεί να κάνει η μέθοδος CGI είναι να αποκρίνεται στην άμεση αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Για το λόγο αυτόν είναι απαραίτητο να υπάρχουν σενάρια ενσωματωμένα σε σελίδες HTML τα οποία να εκτελούνται στη συσκευή,

αντί στη μηχανή του διακομιστή. Η πιο δημοφιλής γλώσσα σεναρίων είναι η javascript η οποία είναι εμπνευσμένη από κάποιες ιδέες της γλώσσας προγραμματισμού Java. Η Javascript μας δίνει την δυνατότητα με μια μόνο γραμμή εντολής να φορτώνουμε όλα τα δεδομένα που χρειαζόμαστε από τη φόρμα της συσκευής.

Οι φόρμες HTML του ηλεκτρονόμου ένδειξης σφαλμάτων θα έχουν δύο σελίδες, μία που θα δέχεται τα μηνύματα και τις θέσεις των εισόδων από τον χρήστη και μία φόρμα που θα εμφανίζει τα σφάλματα που έχουν συμβεί.

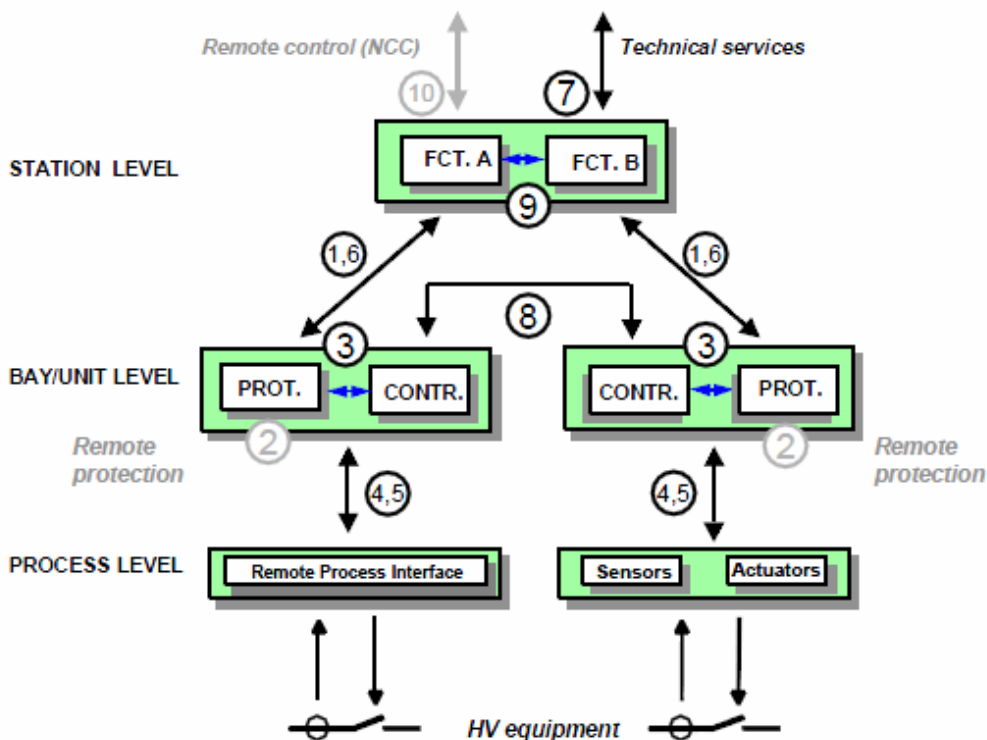
The image shows a web interface for a fault indicator system. At the top, there is a blue header with the text "Home" on the left and "ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ" in the center. Below this, there is a purple sidebar on the left with the text "ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ". The main content area has a blue header with the text "ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΜΥΝΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΙΣΟΔΟΥΣ". Below this, there is a dropdown menu labeled "Εργα" with "Πύλη 150KV" selected. To the right of the dropdown, there are 14 numbered input fields, each with a label from "1:" to "14:" and an empty text box.

Εικόνα 43 Φόρμα HTML συμπλήρωσης μηνυμάτων.

6.2 Επικοινωνία H/N μέσω τοπικού δικτύου

Η ανάγκη για μεγαλύτερη αξιοπιστία ενός υποσταθμού και η εξέλιξη της τεχνολογίας και των επικοινωνιών οδήγησε τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη ενός ενιαίου πρωτοκόλλου επικοινωνίας, το οποίο θα χρησιμοποιείται από H/N διαφόρων κατασκευαστών και τύπων. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται IEC 61850 και ορίζεται από το EN 61850 [12].

Το IEC 61850 έχει ως σκοπό την επικοινωνία H/N, συσκευών και H/Y που έχουν διαφορετικά IEDs μέσω τυποποιημένων λογικών συναρτήσεων (Logical Nodes, LN). Οι πληροφορίες (PICOMS) που μεταδίδονται μέσω των LN διαφοροποιούνται ανάλογα τον τύπο του LN. Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα με τα επίπεδα του IEC 61850.



Εικόνα 44 Επίπεδα πρωτοκόλλου IEC61850.

Στην εικόνα 27, παρατηρούνται οι κάποιιοι αριθμοί που δηλώνουν το είδος της πληροφορίας που μεταφέρεται από επίπεδο σε επίπεδο. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά

IF1: Ανταλλαγή πληροφοριών προστασίας μεταξύ πύλης ή υποσυστήματος και υποσταθμού.

IF2: Ανταλλαγή πληροφοριών προστασίας μεταξύ πύλης και αυτόματου ελέγχου από απόσταση.

IF3: Ανταλλαγή ενδοπληροφοριών μιας πύλης

IF4: Στιγμιαίες ανταλλαγές μετρήσεων Μ/Σ εντάσεως, τάσεως μεταξύ πύλης και κέντρο ελέγχου υποσταθμού.

IF5: Ανταλλαγές εντολών ελέγχου μεταξύ πύλης και κέντρο ελέγχου υποσταθμού.

IF6: Ανταλλαγές εντολών ελέγχου μεταξύ πύλης και υποσταθμού.

IF7: Ανταλλαγές πληροφοριών μεταξύ υποσταθμού και απομακρυσμένου κέντρου ελέγχου.

IF8: Ανταλλαγές άμεσων εντολών ελέγχου και αλληλοασφαλίσεων μεταξύ πυλών.

IF9: Ανταλλαγή ενδοπληροφοριών σε έναν υποσταθμό.

IF10: Ανταλλαγές εντολών ελέγχου μεταξύ υποσταθμού και απομακρυσμένου κέντρου ελέγχου.

Πιο πάνω είχε γίνει αναφορά στον τύπο της πληροφορίας PICOM (Piece of information for COMMunication), αυτή αναλύεται στις παρακάτω κατηγορίες μηνυμάτων.

Τύπος	Ονομασία	Παράδειγμα εφαρμογής
1a	Γρήγορο μήνυμα-εντολή	Εντολή ανοίγματος/κλεισίματος διακόπτη
1b	Γρήγορο μήνυμα-άλλο	Εντολές, απλά μηνύματα
2	Μεσαίας ταχύτητας μήνυμα	Μετρήσεις
3	Χαμηλής ταχύτητας μήνυμα	Παραμέτρους
4	Μηνύματα δεδομένων	Δεδομένα από μορφοτροπείς
5	Αποστολή αρχείων	Μεγάλα αρχεία
6a	Συγχρονισμός μνημάτων a	Συγχρονισμός διαύλου υποσταθμού
6b	Συγχρονισμός μνημάτων b	Συγχρονισμός διαύλου επεξεργασίας δεδομένων
7	Εντολές από κέντρο ελέγχου	Εντολές από σταθμό αλληλεπίδρασης

Το IEC 61850 χρησιμοποιεί τη γλώσσα XML για την επικοινωνία των συσκευών, είναι μια γλώσσα που χρησιμοποιεί πεδία <TAGS> για να ορίζει τα σημεία ενδιαφέροντος του κάθε χρήστη. Η ανταλλαγή μηνυμάτων και πληροφοριών γίνεται μέσω τεσσάρων αρχείων όπου το κάθε ένα έχει ξεχωριστές αρμοδιότητες.

Αυτό το αρχείο περιγράφει της δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά ενός IED. Το όνομα του IED πρέπει να είναι γραμμένο με βάση τους κανόνες του IEC 61850 (TEMPLATE). Όλα τα LNs αποτελούν ξεχωριστές κλάσεις με ξεχωριστά χαρακτηριστικά (attributes). Παρακάτω δίνεται μια αναφορά στο LN GGIO.

GGIO class			
<i>Measured Values</i>			
AnIn1	instMag	AnalogueValue	Analogue input
	q	Quality	
	t	TimeStamp	
	units	Unit	
<i>Controls</i>			
SPCSO1	ctlVal	BOOLEAN	Single point controllable status output
	stVal	BOOLEAN	
	q	Quality	
	t	TimeStamp	
<i>Status information</i>			
Ind1	stVal	BOOLEAN	General indication (binary input)
	q	Quality	
	t	TimeStamp	
IntIn1	stVal	INT32	Integer status input
	q	Quality	
	t	TimeStamp	

Εικόνα 45:GGIO class

DIPS_GGIO1.Ind1.stVal

Με την παραπάνω αναφορά διαβάζεται η δυαδική (BOOLEAN) τιμή του πλήκτρου DIPS_GGIO1 μέσω του χαρακτηρισμού stVal.

- SSD

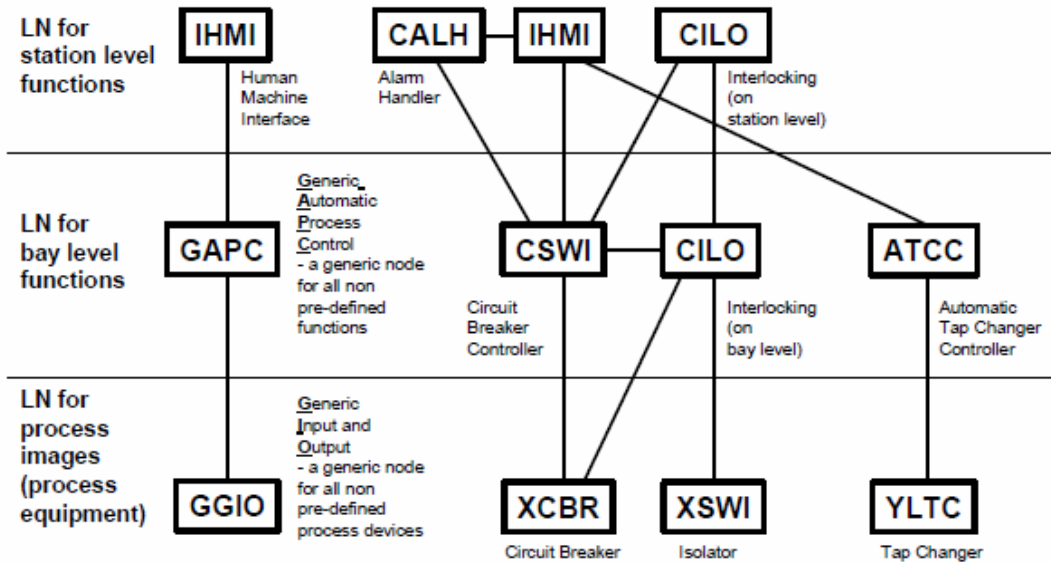
Αυτό το αρχείο περιγράφει το μονογραμμικό διάγραμμα ενός υποσταθμού και τα LNs που είναι συνδεδεμένα πάνω του.

- SCD

Αυτό το αρχείο περιέχει όλα τα IEDs, ένα τμήμα που έχει να κάνει με την διαμόρφωση των επιλογών επικοινωνίας και ένα τμήμα που περιγράφεται ο υποσταθμός.

- CID

Περιγράφει ένα IED, όπως τη διεύθυνση του. Το τμήμα του υποσταθμού που σχετίζεται με το συγκεκριμένο IED περιέχει ονόματα και χαρακτηρισμούς που έχουν σχέση με τον υποσταθμό.



Εικόνα 46 Δομικό διάγραμμα χειρισμού διακόπτη και μέτρησης τάσεων, ρευμάτων.

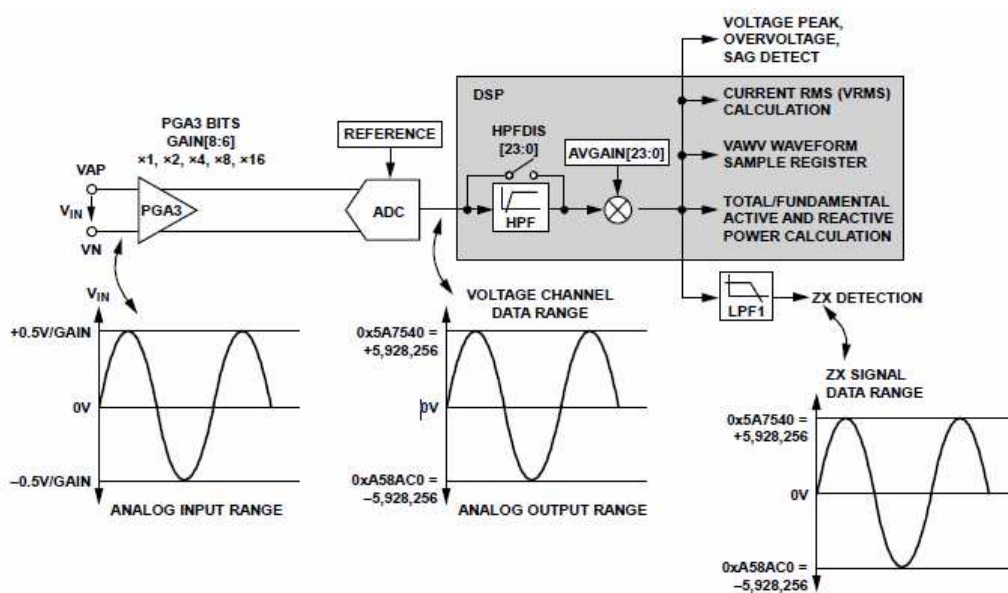
7. ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ- ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

7.1 Αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή

Η ανάπτυξη των ψηφιακών κυκλωμάτων και η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών οδήγησε στην εξαφάνιση των ηλεκτρομηχανολογικών συσκευών μέτρησης και προστασίας. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα περιγραφούν οι μέθοδοι ανάλυσης του ηλεκτρικού σήματος από τις ψηφιακές συσκευές και ο τρόπος υπολογισμού των ηλεκτρικών μεγεθών.

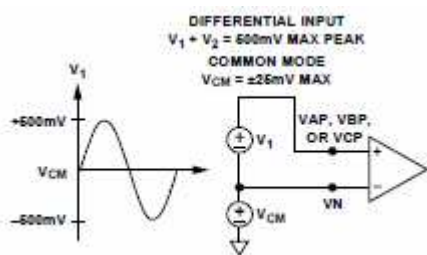
Στον ψηφιακό μετρητή ενέργειας χρησιμοποιείται ο ADE7878 της Analog devices [11]. Η βασικότερη ψηφιακή λειτουργία των μικροεπεξεργαστών όπως ο ADE7878 αλλά και ο AT32UC3A0512 για την μέτρηση ηλεκτρικών σημάτων είναι η μετατροπή των αναλογικών σε ψηφιακά σήματα (Analog to Digital Conversion). Σήμερα δεν εννοείται μικροεπεξεργαστής χωρίς να διαθέτει έστω μια θύρα ADC.

Εκτός από τον αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα υπάρχουν και άλλες σημαντικές λειτουργίες για την ανάλυση ενός ηλεκτρικού σήματος όπως ο ολοκληρωτής, ο διαφορικός τελεστικός ενισχυτής και τα βαθυπερατά, υπερπερατά φίλτρα. Στα παρακάτω δομικά διαγράμματα παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού της ενεργού τιμής της εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιώντας της παραπάνω τεχνολογίες.



Εικόνα 47 Μετατροπή εναλλασσόμενης τάσης σε ψηφιακό σήμα.

Το πιο σημαντικό πρόβλημα στην αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή είναι η μορφή που θα έχει το αναλογικό σήμα που θα εισαχθεί στο μετατροπέα και συγκεκριμένα τα όρια του. Ο μετατροπέας του ADE7878 δέχεται μία εναλλασσόμενη τάση με μέγιστο, ελάχιστο 1V. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε τάση είτε χαμηλή, 230V είτε υψηλή 150KV πρέπει να μετασχηματιστεί στο 1V. Αυτό θα γίνει με την χρήση εξωτερικών Μ/Σ τάσης με τον κατάλληλο λόγο μετασχηματισμού. Το ADE7878 δίνει την δυνατότητα να αλλάξει προγραμματιστικά το μέγιστο ή ελάχιστο του εναλλασσόμενου σήματος μέχρι $\pm 50\%$. Έτσι μπορεί να επιλεγθεί ένα εύρος τάσης εισόδου που να βολεύει την επιθυμητή μέτρηση. Παρατηρείται ότι για μεγαλύτερα εύροι άνω του 50%, θα πρέπει να επιλεγθεί διαφορετικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης. Για παράδειγμα, τα 230V AC του δικτύου και τα 110V AC δεν μπορούν να μετρηθούν από το ίδιο όργανο εκτός και αν ο Μ/Σ έχει δύο διαφορετικούς ακροδέκτες πρωτεύον, ένα για τα 230V AC και ένα για τα 110V AC. Η εναλλασσόμενη τάση αρχικά περνάει από ένα ενισχυτή (operantial amplifier) για λόγους απομόνωσης ο οποίος μπορεί να έχει κέρδος 1, 2, 4, 8 ή 16.



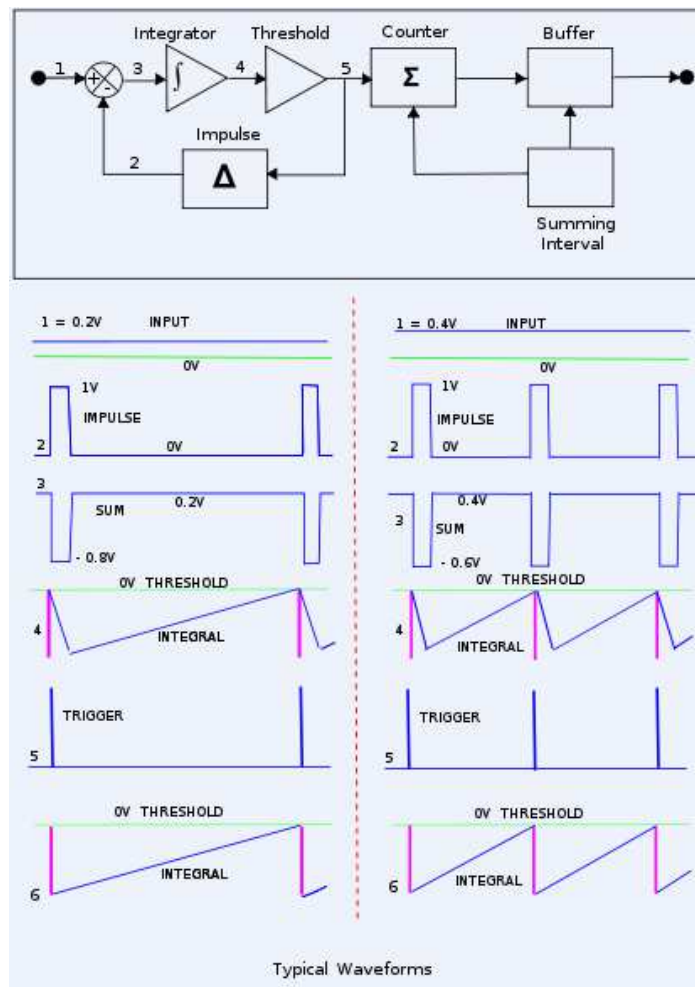
Εικόνα 48 Ενίσχυση εναλλασσόμενης τάσης.

Το ενισχυμένο σήμα θα περάσει από ένα βαθυπερατό φίλτρο (low pass filter) πριν περάσει στον αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα. Ο ADC είναι ένας πρώτου βαθμού Σίγμα-Δέλτα αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας. Η λογική του μετατροπέα βασίζεται στην παραγωγή παλμών με περίοδο ανάλογη της εισόδου.

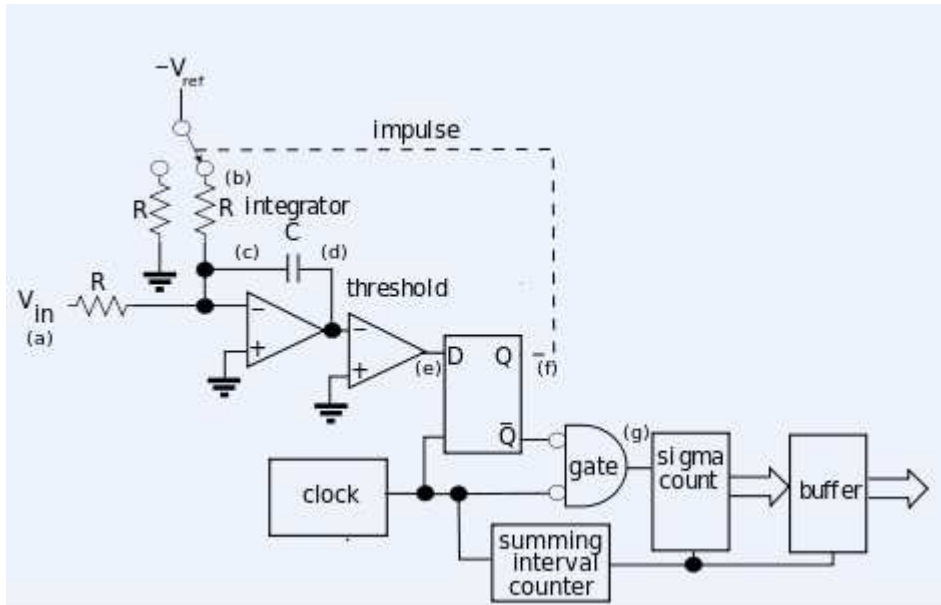
Το αναλογικό σήμα προστίθεται με ένα παλμό συγκεκριμένης συχνότητας και μετά περνάει από έναν ολοκληρωτή. Το σήμα που παράγεται από τον ολοκληρωτή συγκρίνεται με μια ανώτατη τιμή (Threshold) και κάθε φορά που την ξεπερνάει παράγεται ένας ακαριαίος παλμός dirac. Κατά τη διάρκεια που το σήμα του ολοκληρωτή είναι μικρότερο από την ανώτατη τιμή, ένας συγκριτής, που στην ουσία είναι ένας διαφορικός ενισχυτής, παράγει ένα παλμό με διάρκεια όσο υπάρχει διαφορά στην είσοδο του ενισχυτή. Στο επόμενο βήμα το σήμα εισέρχεται σε ένα D

flip flop το οποίο τροφοδοτείται από ένα ρολόι συγκεκριμένης συχνότητας. Το D flip flop παράγει θετικά σήματα όσο έχει είσοδο αλλά με την συχνότητα του ρολογιού. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, γιατί με αυτό τον τρόπο ένας μετρητής μπορεί να μετράει την περίοδο αυτών των παλμών και να μας δίνει την πληροφορία που αντιστοιχεί στο αναλογικό σήμα. Η μέτρηση αυτή αποθηκεύεται σε κάποιον καταχωρητή και μπορεί να έχει εύρος 8, 9, 10 bit. Με απλή μαθηματική πράξη που θα βρísκεται στον κώδικα μπορούμε να εξάγουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα που αντιστοιχεί στην πραγματική τιμή του αναλογικού σήματος. Για το ADE7878 η μετρούμενη εναλλασσόμενη τάση εξάγεται από την παρακάτω σχέση.

$$\text{Voltage Waveform} = \text{ADC output} \times \left(1 + \frac{\text{Voltage Gain Register}}{2^{23}} \right)$$

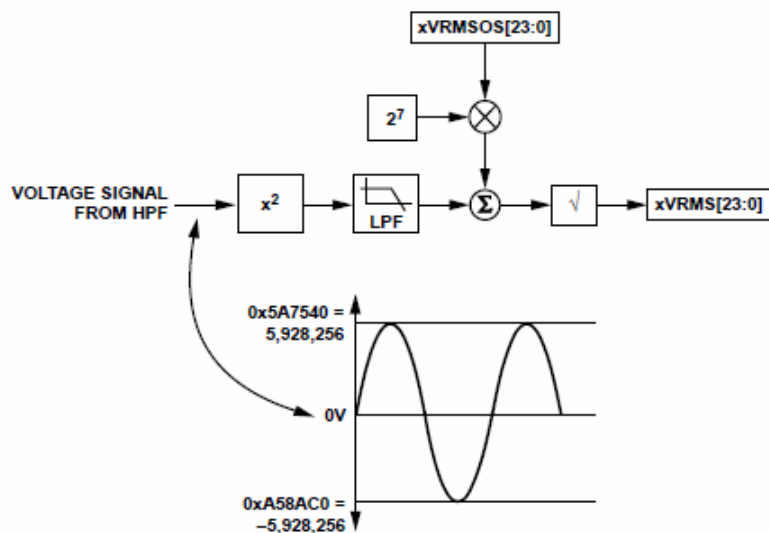


Εικόνα 49 Σίγμα Δέλτα αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα.



Εικόνα 50 Υλοποίηση του Σίγμα Δέλτα ADC.

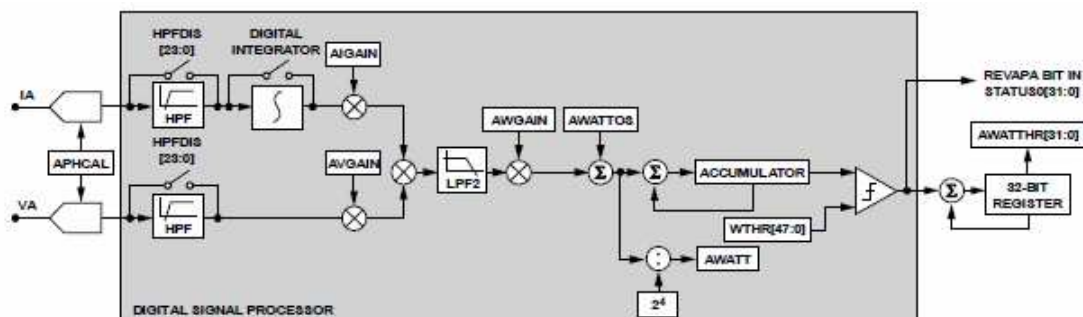
Παρόμοια σχέση υπάρχει και για τον υπολογισμό του ρεύματος. Μετά τον ADC το σήμα περνάει από ένα ψηφιακό βαθυπερατό φίλτρο. Στο επόμενο βήμα πρέπει να υπολογιστεί ψηφιακά η ενεργός τιμή της τάσης. Στο παρακάτω δομικό διάγραμμα φαίνονται τα στάδια υπολογισμού της ενεργού τιμής της τάσης.



Εικόνα 51 Υπολογισμός ενεργού τιμής της τάσης από ψηφιακό σήμα.

Για την υπολογισμό της ενεργού τιμής του ρεύματος χρησιμοποιείται η ίδια σχεδόν διαδικασία.

Η ενεργή ισχύς είναι το γινόμενο της στιγμιαίας τάσης με το στιγμιαίο ρεύμα. Η πραγματική ενέργεια είναι η ενεργή ισχύς στη μονάδα του χρόνου. Αυτό το επιτυγχάνει ο ADE7878 ψηφιακά σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα.



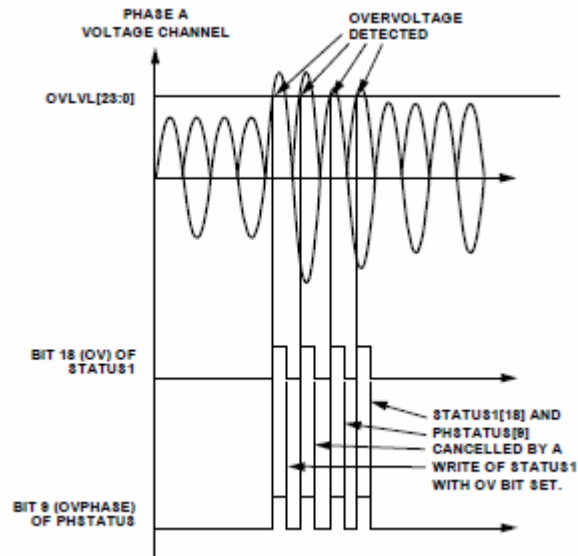
Εικόνα 52 Υπολογισμός πραγματικής ενέργειας.

Όπως παρατηρείται χρησιμοποιείται το ψηφιακό τμήμα για τον υπολογισμό του ρεύματος και της τάσης και μετά τον πολλαπλασιασμό τους, που δίνει την ενεργό ισχύς, προστίθεται σε έναν αθροιστή για τον υπολογισμό της πραγματικής ενέργειας. Ο ADE7878 μπορεί να υπολογίσει με έναν παρόμοιο τρόπο την άεργο και την φαινόμενη ισχύς.

Ο ADE7878 δίνει τη δυνατότητα να κάνει και άλλους υπολογισμούς εκτός από τις μετρήσεις των ηλεκτρικών μεγεθών όπως μέτρηση διαφορά φάσης, έλεγχο υπέρτασης, υπότασης, ακολουθία φάσεων, διαρροή ουδετέρου. Αυτοί οι έλεγχοι γίνονται με ψηφιακές τεχνικές όπως το πέρασμα του μηδενικού άξονα από ένα εναλλασσόμενο σήμα (zero-crossing timeout). Σε αυτή την τεχνική ένας καταχωρητής μειώνει κατά ένα bit τα περιεχόμενα του μέχρι να περάσει το σήμα από το μηδέν. Μετά ξανά ξεκινά να μετράει από την αρχή. Αν ο καταχωρητής μηδενίσει τα δεδομένα του τότε θα γίνει μια διακοπή υλικού (interrupt).

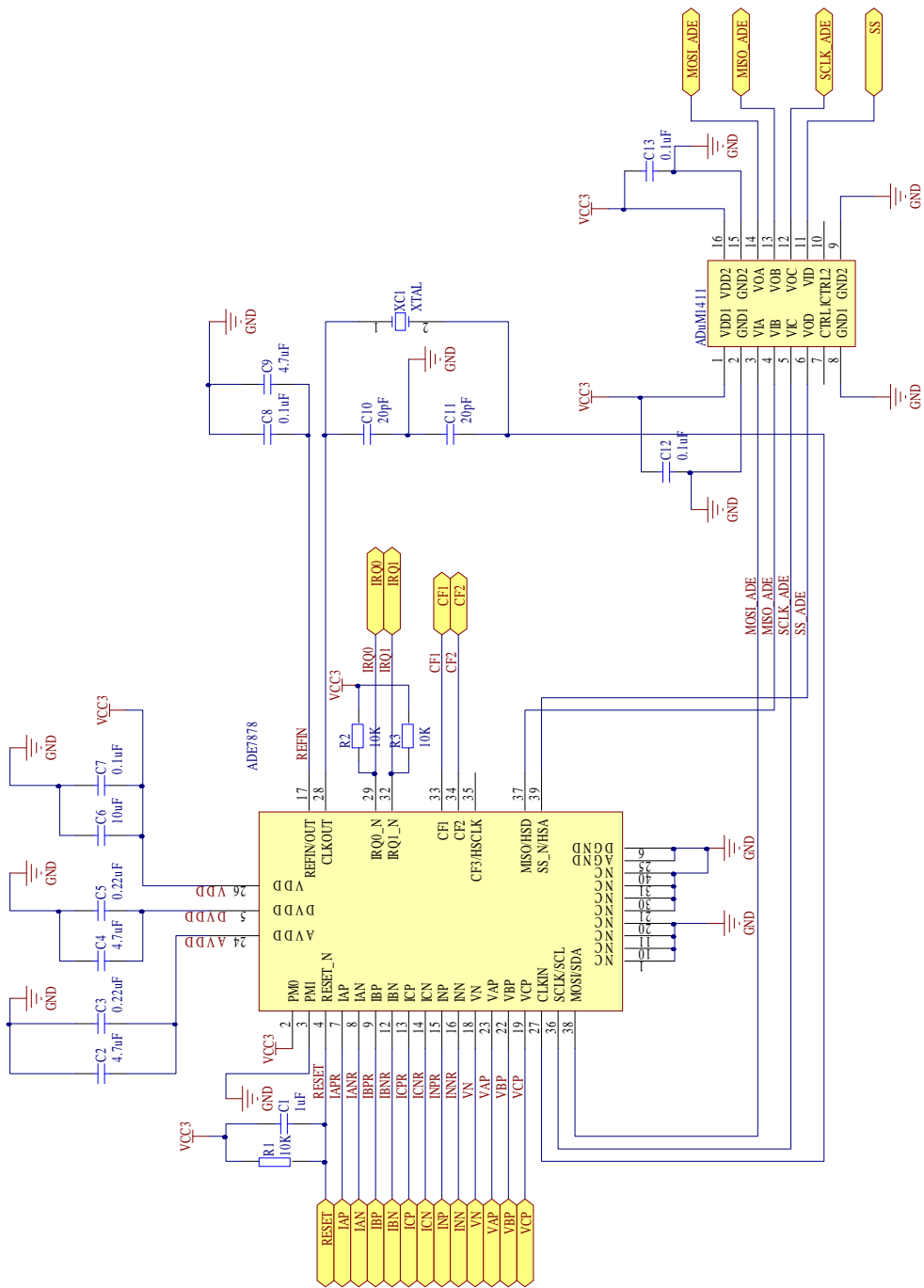
Το πέρασμα από το μηδενικό άξονα χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης ανάμεσα σε δύο σήματα. Αυτά τα περάσματα χρησιμοποιούνται για το ξεκίνημα και το σταμάτημα μετρητών. Οπότε ένας μετρητής μπορεί να μετρήσει το χρόνο που ένα σήμα περνάει το μηδέν μέχρι ένα άλλο σήμα να φτάσει στο μηδέν. Αυτή η μέτρηση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συντελεστή ισχύος.

Για την υπέρταση και την υπόταση αποθηκεύονται σε καταχωρητές τα επιθυμητά όρια που δεν πρέπει το στιγμιαίο εναλλασσόμενο σήμα να ξεπεράσει. Σε περίπτωση που συμβεί μια διακοπή υλικού θα γίνει.



Εικόνα 53 Υπολογισμός υπέρτασης.

Το σχηματικό της πλακέτας που τοποθετήθηκε το ADE7878 παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Όπως παρατηρείται ο ADE7878 είναι ένας μικροεπεξεργαστής που χρειάζεται κρύσταλλο για συγχρονισθεί και οι decoupling πυκνωτές. Στο σχηματικό φαίνονται οι εισοδοί των ρευμάτων και των τάσεων της κάθε φάσης και οι θύρες της σειριακής σύγχρονης επικοινωνίας SPI.



Εικόνα 54 Σχηματικό ADE7878.

8. ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Στο τελικό στάδιο της μελέτης της κάθε συσκευής πρέπει να αποφασιστεί η συσκευασία τους και ο τρόπος που θα εγκατασταθεί στον πίνακα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσκευασιών, ο πιο συνηθισμένος είναι ο DIN ράγας, τύπος O με διαστάσεις 35 x 7.5 mm και 35 x 15 mm. Οι συσκευές πρέπει να έχουν στο πίσω μέρος τους θέση για ράγα με διαστάσεις κατά DIN. Επιπλέον θα υπάρχουν τρύπες για βίδες σε περίπτωση που χρειαστεί να τοποθετηθεί στην πρόσοψη ενός πίνακα.

8.1 Δοκιμές μηχανικής καταπόνησης

Οι δοκιμές μηχανικών ελέγχων αναγράφονται στο IEC-60255 και συμπεριλαμβάνουν δοκιμές δόνησης και απότομης μηχανικής καταπόνησης. Χαρακτηρίζονται από τα αρχικά IP και συνοδεύονται από ένα διψήφιο αριθμό, ο οποίος δηλώνει το επίπεδο προστασίας από εξωτερικές παρεμβάσεις. Οι πιθανοί κίνδυνοι μιας συσκευής από εξωτερικούς παράγοντες μπορεί να είναι η ανθρώπινη παρέμβαση, η υγρασία, το νερό, η σκόνη. Στο πρώτο ψηφίο του συνοδευόμενου αριθμού χαρακτηρίζεται η προστασία από ανθρώπινους παράγοντες μέχρι και υλικά αντικείμενα. Στο δεύτερο ψηφίο χαρακτηρίζεται η ένταση της υγρασίας ή η ποσότητα νερού που μπορεί να αντέξει η συσκευασία. Η ταξινόμηση ξεκινάει από το μικρότερο αριθμό προς το μεγαλύτερο. Για παράδειγμα η προστασία IP45 υποδηλώνει με το ψηφίο 4 ότι προστατεύει το εσωτερικό της συσκευής από υλικά αντικείμενα μέχρι 1 mm. Το ψηφίο 5 δείχνει ότι προστατεύει τη συσκευή από νερό υπό πίεση για διάρκεια μέχρι τρία λεπτά.

Εκτός από τη συσκευασία που είναι απαραίτητη για να αποκτήσει και την τελική της μορφή η συσκευή, πρέπει να γίνουν κάποιες δοκιμές που χαρακτηρίζονται από τα IEC και βελτιώνουν τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια της. Είναι τόσο σημαντικές οι δοκιμές κατά IEC που οι εγκαταστάτες μερικές φορές μπορεί να κόψουν μια αγορά αν δεν πληροί κάποιες από αυτές.

8.2 Μόνωση

Οι δοκιμές για τη μόνωση και τη διηλεκτρική αντοχή της τελικής συσκευής καθορίζονται κυρίως από το IEC-60255-5. Δοκιμές διηλεκτρικής αντοχής γίνονται

μεταξύ όλων των ακροδεκτών και μεταξύ ακροδεκτών και γης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ακροδέκτες δοκιμάζονται με εναλλασσόμενη τάση 2 kV, 50/60 Hz για ένα λεπτό ή 2,5 kV, 50/60 Hz για 1 δευτερόλεπτο.

Άλλη δοκιμή είναι η μέτρηση αντίστασης μόνωσης, η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 100 MΩ για το κοινό σημείο και μεγαλύτερη των 100 kΩ για το διαφορικό κοινό σημείο.

Επίσης γίνεται και η δοκιμή κρουστικής τάσης 5 kV 1,2/50 μs στις εισόδους, εξόδους.

8.3 Ηλεκτρομαγνητική αντοχή

Την ηλεκτρομαγνητική αντοχή μιας συσκευής την καθορίζουν τα IEC-60255-22, IEC-61000-4 και γίνονται διάφορες δοκιμές που καθορίζουν την ποιότητα και τις αντοχές τις συσκευής στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (EMC). Για τις δοκιμές χρειάζονται χρήματα και πολλές φορές οι κατασκευαστές δεν τις κάνουν όλες ή τις κάνουν σταδιακά. Για να φτιαχτεί όμως μια συσκευή σωστά και να αντέχει τα EMC πρότυπα πρέπει ο σχεδιαστής να έχει εμπειρία σε τεχνικές αποφυγής ηλεκτρομαγνητικών σφαλμάτων. Κάποιες από τις δοκιμές που γίνονται είναι:

- Αντοχή μόνωσης σε σχέση με τη διάρκεια ζωής (Immunity test versus real life reliability). Σε αυτή τη δοκιμή μια γεννήτρια παράγει υψηλή εναλλασσόμενη τάση για να δοκιμαστεί στις επαφές και να δώσει πληροφορίες για την αντοχή τους και τη διάρκεια ζωής τους.
- Δοκιμή επαφών με παλμό υψηλής τάσης συχνότητας 5kHz (Fast Transient Burst FTB). Χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει την υψηλή τάση που δημιουργείται από τόξα λόγω της συσσωρευμένης επαγωγικής ενέργειας που στα κυκλώματα.
- Δοκιμή βραχυκύκλωσης με κρουστική τάση 4kV 1,2/50μs – 8/20μs. Προσομοιώνει την αντοχή στα βραχυκυκλώματα λόγω διάσπασης της διηλεκτρικής αντοχής του κενού ή της μόνωσης ενός υλικού.

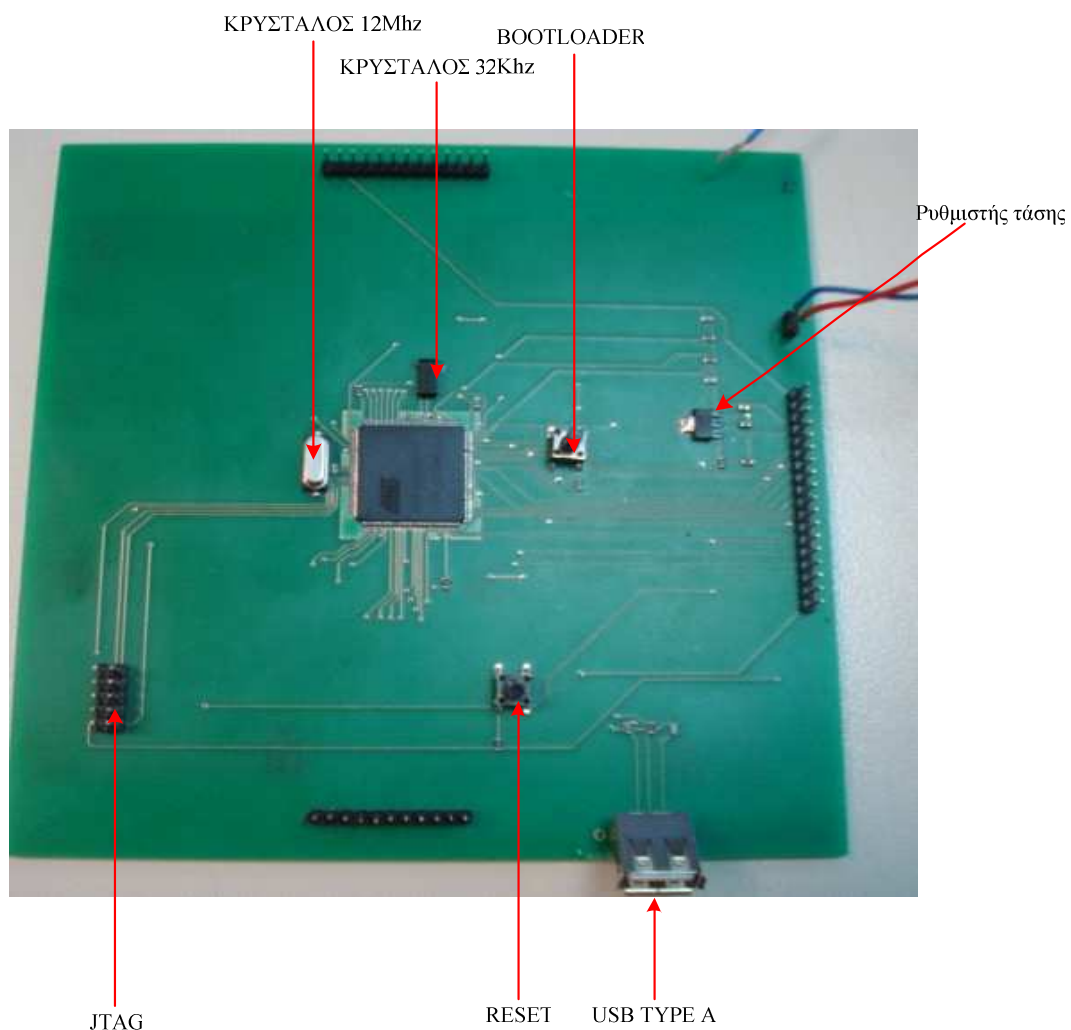
8.4 Περιβαλλοντολογικές δοκιμές

Οι δοκιμές αντοχής σε ακραίες περιβαλλοντολογικές συνθήκες που πρέπει να υποστεί μια συσκευή είναι σημαντικές και αναγράφονται στο IEC60068.

- Εργασία σε χαμηλή θερμοκρασία -5 C για δύο ώρες.
- Όρια χαμηλής θερμοκρασίας -10 C για δύο ώρες.
- Υψηλή θερμοκρασία +45 C για δύο ώρες.
- Όρια υψηλής θερμοκρασίας +55 C για δύο ώρες.
- Υγρασία 93% σε +40 C για 4 ημέρες
- Απότομη αλλαγή θερμοκρασιών από -25 C σε 70 C.
- Αλλαγή υγρασίας 25% σε 55%.

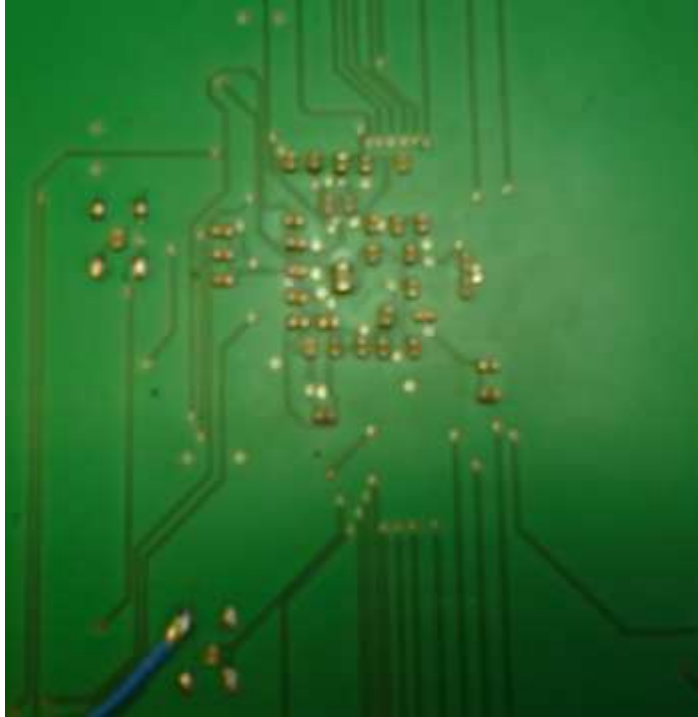
9. ΠΛΑΚΕΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ ΣΗΜΑΝΣΕΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται η πάνω όψη της πλακέτας του μικροελεγκτή. Τα περισσότερα υλικά είναι τύπου SMD (surface mound technology). Στο δεξιό και στο επάνω τμήμα φαίνονται οι ακροδέκτες διασύνδεσης με τις υπόλοιπες πλακέτες του Η/Ν. Στο δεξιό τμήμα παρατηρείται ο ρυθμιστής τάσης LMS8117A για τα 3,3 Volt.



Εικόνα 55 Πάνω όψη πλακέτας μικροελεγκτή.

Οι πυκνωτές (decoupling) τοποθετούνται ακριβώς κάτω από το μικροεπεξεργαστή και κοντά στους ακροδέκτες του. Οι πυκνωτές των 33nF έχουν τοποθετηθεί κοντά στο τσιπ και των 100nF πιο μακριά.



Εικόνα 56 Κάτω όψη πλακέτας μικροελεγκτή.



Εικόνα 57. Αλληλεπίδραση χειριστή με Η/Ν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding. IEEE Std 80-2000
Published by The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.
4/8/2000
- [2] ΕΛΟΤ HD 637 S1. Εγκαταστάσεις ισχύος με ονομαστική τάση πάνω από 1
kV εναλλασσομένου ρεύματος. 20/4/2000.
- [3] SACO 16D1, Annunciator unit, User's manual and Technical description, ABB
- [4] TNY 263-268 TinySwitch II Family. Enhanced, energy efficient, low power
offline switcher. Power Integrations
- [5] AT32UC3A0512 AVR32 Microcontroller. Atmel Corporation 2011.
- [6] HCPL3700. Application note 1004. Avago.
- [7] HFS2. Xiamen Hongfa Electroacoustic corp. MOS Relay
- [8] EA dip204. LCD Module 4x20. Electronic Assembly.
- [9] DP83848I Phyter. Industrial Temperature Single Port 10/100 Mb/s Ethernet
Physical Layer Transceiver. National Semiconductor
- [10] Andrew S. Tanenbaum. Δίκτυα Υπολογιστών 4^η έκδοση, Κλειδάριθμος 2003
- [11] ADE7878 Polyphase Multifunction Energy Metering IC. Analog Devices.
- [12] IEC 61850. Licensed copy: HL South University of Bath 20/4/2007. British
Standards.
- [13] Βασιλείου Β.Πασχαλίδη Ο Υποσταθμός μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- [14] Ground Distance Relays. Understanding the Various Methods of Residual
Compensation, Setting the Resistive Reach of Polygon Characteristics, and
Ways of Modeling and Testing the Relay.
Quintin Verzosa, Jr. "Jun". Doble Engineering Company
- [15] Distance Elements: Linking Theory With Testing. Fernando Calero,
Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
- [16] Θεωρία Προστασίας Υπερέντασης. Γ. Κορρές Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.,
Αθήνα 2005.
- [17] LMS8117A 1A Low dropout linear regulator. National Semiconductor.
- [18] Embedded C Programming and the Atmel AVR. Barnett, Cox and O'Cull. 2th
Edition. Thomson, Delmar Learning
- [19] Προγραμματίζοντας τον Μικροελεγκτή AVR. Dhananjay V. Gadre. Εκδόσεις
Τζιόλα.
- [20] Numerical Distance Protection, principles and applications. Gerhard Ziegler
4th
Edition 2011 Publicis Erlagen.