



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

Πρότυπο ημερήσιας τιμολόγησης καταναλωτή μέσης τάσης
με τη μέθοδο παλμών ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κοσμάς Η. Γερολυμάτος

*Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π*

Αθήνα, Ιανουάριος 2010

.....

Κοσμάς Η. Γερολυμάτος

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

Copyright © Κοσμάς Η. Γερολυμάτος, 2009

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.

*Στον κ. Στράτο Σπεράντζα για την πολύτιμη βοήθειά του
και στους φίλους μου για την ψυχολογική και όχι μόνο υποστήριξη*

Περίληψη

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής γίνεται μια εισαγωγή, όπου αναλύεται ο σκοπός της και επεξηγείται ο τρόπος τιμολόγησης των καταναλωτών μέσης τάσης. Στο πλαίσιο αυτό δίνονται οι συντελεστές χρέωσης της ΔΕΗ αλλά κυρίως επεξηγούνται όλα τα μεγέθη, φυσικά και μη, που είναι απαραίτητα για να προκύψει το τελικό ποσό χρέωσης. Στο πρώτο κομμάτι της εργασίας δίνονται όλα τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρησή μας, από το πιο απλό που είναι το φορτίο, έως και τα πιο σύνθετα, τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC) και τον αναλυτή ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η λειτουργία των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών, έπειτα από μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στη σειρά PLC S7-300 στην οποία ανήκει και το PLC της εφαρμογής μας. Στο τρίτο κεφάλαιο επεξηγείται η αρχή λειτουργίας του αναλογικού μετρητή ενέργειας και δίνονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του αναλυτή ενέργειας που ουσιαστικά αποτελεί απόγονο του πρώτου. Δίνονται ακόμα οι δυνατές συνδεσμολογίες λειτουργίας του αναλυτή και επισημαίνονται όλα αυτά που θα πρέπει να προσεχθούν κατά τη χρήση του. Στο επόμενο κεφάλαιο συναντάμε το ηλεκτρομηχανικό ρελέ το οποίο χρησιμοποιήσαμε για τη σύνδεση του αναλυτή ενέργειας με το PLC. Παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του και γίνεται μια μικρή σύγκριση με τα ρελέ σταθερού τύπου. Στο πέμπτο κεφάλαιο και τελευταίο του πρώτου μέρους αναλύεται το φορτίο που χρησιμοποιήθηκε το οποίο αποτελείται από ένα τριφασικό μεταβλητό αντιστάτη με δυνατότητα επιλογής της αντίστασης ανά φάση και το τριφασικό πηνίο που είναι επίσης μεταβλητό αλλά έχει κεντρικό επιλογέα αντίστασης και για τις τρεις φάσεις. Το κεφάλαιο έξι και πρώτο του δεύτερου μέρους ασχολείται με τον προγραμματισμό που έχει γίνει στο PLC, σε γλώσσα προγραμματισμού ladder, με το πρόγραμμα Simatic Manager της Siemens. Αντίστοιχα το έβδομο κεφάλαιο ασχολείται με την επεξήγηση του προγράμματος εποπτείας και διαχείρισης που φορτώνεται στον υπολογιστή κι έχει δημιουργηθεί με το πρόγραμμα WinCC Flexible 2007 επίσης της Siemens. Το ηλεκτρολογικό σχέδιο του κυκλώματος της μέτρησης δίνεται στο όγδοο κεφάλαιο όπως επίσης και τα περιθώρια σφαλμάτων και οι όποιες παραδοχές έχουν γίνει. Στο ένατο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της μέτρησης και στο δέκατο και τελευταίο κεφάλαιο εκτός από τα συμπεράσματα γίνονται και προτάσεις για αλλαγές που θα βελτίωναν την ακρίβεια της μέτρησης και άλλες που θα καθιστούσαν το πρόγραμμα πιο κατάλληλο για βιομηχανικό περιβάλλον.

Λέξεις Κλειδιά

Τιμολόγηση, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.), αναλυτής ενέργειας, προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (PLC), καμπύλη φορτίου, παλμός τετάρτου, ενεργός, άεργος, παλμός ενέργειας.

Summary

In the first chapter there is an introduction with the purpose of this thesis. Also the way medium voltage consumers are being priced is explained. Moreover, the pricing coefficients are given but mainly, all the values, physical and non-physical are explained. In the first part of the assignment all of the specifications and the properties of the devices used, is given. From the most simple, that is the load, to the most advanced ones, the Programmable Logical Controller (PLC) and the power analyzer. In the second chapter, and first one of part A', the functionality of the PLC is being analyzed, after a short historical review. Special account is given to the S7-300 series PLC, part of which was the PLC of our measurement. In chapter number three the basic principles of the way an analog energy meter works are given, so as the specifications of the power analyzer. All the possible connections and all the things that need to be taken into account before operating the power analyzer are also given. In the next chapter there is the electromechanical relay, which we used for the proper connection of the power analyzer to the PLC. Its technical specifications are given and after that a small comparison to the solid-state relay. In the fifth chapter, and the last one of part A', the load which comprises from a three-phase resistor and a three-phase reactor both with adjustable resistance, is being analyzed. Chapter six, and the first one of part B', deals with the programming done in Ladder language, with the software "Simatic Manager" by Siemens. Respectively, the seventh chapter deals with the explanation of the Scada program loaded to the computer and created with the software "WinCC Flexible 2007", also by Siemens. The electrical design of the measuring circuit and its restrictions are given in chapter eight. In chapter nine the measurement itself is being explained and in the last chapter, chapter number ten, apart from the conclusions, there are also some propositions made for better accuracy and for suitability to an industrial environment.

Keywords

Pricing, National Electricity Company, power analyzer, Programmable Logical Controller (PLC), pulse every 15min, active, reactive, energy pulse.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	9
1.2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ (ΦΥΣΙΚΩΝ) ΜΕΓΕΘΩΝ	9
1.2.3 ΜΕΓΙΣΤΟ ΑΙΧΜΗΣ	10
1.2.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (POWER FACTOR P.F.)	10
1.2.5 ΧΡΕΩΣΤΕΑ ΖΗΤΗΣΗ (ΧΖ).....	11
1.2.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ (CAPACITY FACTOR CF).....	11
1.2.7 ΧΡΕΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	12
1.2.8 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΧΡΕΩΣΗ	12
1.2.9 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΡΕΩΣΕΩΣ	12
1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΟΛΟΓΙΩΝ	14
2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΣ ΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ (PLC).....	15
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ PLC	16
2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ	24
2.4 Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ S7-300.....	26
2.5 ΔΟΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PLC	28
2.6 STEP7 - ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ PLC'S ΤΗΣ SIEMENS.....	32
2.7 ΤΟ PLC ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΑΣ	35
3. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	36
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	36
3.2 MPR-53	39
3.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ.....	38
3.4 ΔΥΝΑΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ.....	38
3.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΟΡΓΑΝΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΦΥΓΗ ΛΑΘΩΝ	40
4. ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΡΕΛΕ	43
5. ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	45
5.1 Ο ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ	45
5.2 ΤΟ ΠΗΝΙΟ	46
6. Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ LADDER ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ SIMATIC MANAGER.....	47
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	47
6.2 ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ («SYMBOL TABLE»)	49
6.3 OB100	50

6.4 OB1(A).....	49
6.5 FC1.....	51
6.6 OB1(B).....	52
7. Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SCADA ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WINCC FLEXIBLE.....	56
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	56
7.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟ ΛΟΓΙΚΟ ΕΛΕΓΚΤΗ.....	57
7.3 ΟΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	60
7.4 ΟΙ «ΣΥΝΤΑΓΕΣ»	62
7.5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	64
7.6 ΟΙ ΠΡΑΞΕΙΣ	65
7.7 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ.....	70
8. ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	75
8.1 ΟΡΓΑΝΑ ΠΟΥ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ.....	71
8.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΟΛΥΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ	72
8.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ.....	73
8.4 ΕΙΚΟΝΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ	73
9. Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ	80
9.1 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ.....	80
9.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	80
9.3 ΤΑ ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	85
9.4 ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΕ ΤΙΜΕΣ.....	89
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
10. ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ	91
10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Η ΔΕΗ τα τελευταία χρόνια έχει αναβαθμίσει τον εξοπλισμό της όσον αφορά τη μέτρηση της κατανάλωσης στους καταναλωτές μέσης τάσης, τόσο με καινούργια πρότυπα επικοινωνίας και αποστολής των απαραίτητων για την τιμολόγηση δεδομένων, όσο και με αναβάθμιση του ίδιου του μετρητικού εξοπλισμού.

Παρόλα αυτά η ανάγκη για μεγαλύτερη οικονομία έκανε τους πελάτες να θέλουν να ελέγχουν οι ίδιοι το πόσο καταναλώνουν. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Πρώτο και βασικότερο είναι να πάρει στα χέρια του ο καταναλωτής την καμπύλη φορτίου. Αυτό θα τον βοηθήσει τόσο να μειώσει τις αιχμές στο φορτίο του και να εξομαλύνει γενικά την καμπύλη αυτή, όσο και να διαπιστώσει αν χρειάζεται να μειώσει την άεργο κατανάλωση. Δεύτερο είναι η έγκαιρη προειδοποίηση για τυχόν διαρροές και τρίτον η δυσπιστία του πελάτη όσον αφορά την τελική χρέωση. Οι λόγοι αυτοί οδηγούν στην ανάγκη για ένα φτηνό αλλά αξιόπιστο μετρητικό μηχανισμό που να δίνει στον πελάτη μια εικόνα της ημερήσιας κατανάλωσης, σε πραγματικό σχεδόν χρόνο και με όσο γίνεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτός είναι και ο πρωτεύον στόχος της διπλωματικής αυτής, που σε δύο βασικά στάδια, το μετρητικό και αυτό της αλληλεπίδρασης με το χρήστη, δίνει όλα τα βασικά μεγέθη που χρειάζονται σε ένα μηχανικό ώστε να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες και να εξασφαλίσει μεγαλύτερη οικονομία στον πελάτη.

Δευτερεύον στόχος της διπλωματικής είναι η παρουσίαση της εργασίας αυτής σε φοιτητές ηλεκτρολόγους μηχανικούς που έχουν επιλέξει το μάθημα «Εποπτεία και διαχείριση ενεργειακών συστημάτων», ώστε να τους γίνει μια εισαγωγή σε απλά θέματα μέτρησης ενέργειας με τη μέθοδο παλμών και χρησιμοποίησης λογισμικού επίβλεψης, ελέγχου και καταγραφής δεδομένων (Scada). Βέβαια η δυσκολία πρόσβασης σε φορτίο μέσης τάσης και ειδικά σε συνθήκες εργαστηρίου μας έκανε να χρησιμοποιήσουμε ένα επαγωγικό φορτίο μικρής σχετικά ισχύος που θα συνδεθεί στη μετρητική διάταξη χωρίς μετασχηματιστή. Αυτό όμως δεν μειώνει την εκπαιδευτική αξία της παρουσίασης αφού με ένα τέτοιο φορτίο και με μια αναλογία που έχουμε ορίσει εμείς ανάλογα και με το χρόνο εκτέλεσης της μέτρησης, παίρνουμε τιμές ενέργειας αντιπροσωπευτικές ενός φορτίου άνω των τριών μεγαβάτ (3MW είναι και η μικρότερη κατανάλωση στις ώρες αιχμής για να επιτρέψει η ΔΕΗ να συνδεθεί ένα φορτίο στη μέση τάση).

1.2 Το τιμολόγιο της ΔΕΗ

1.2.1 Γενικά

Το τιμολόγιο της ΔΕΗ είναι αρκετά πολύπλοκο κι έχει προκύψει μετά από στατιστικές έρευνες, το λογικό κέρδος της εταιρίας αλλά και σύμφωνα με τις δυνατότητες των ελληνικών μονάδων παραγωγής και του δικτύου διανομής. Έτσι λοιπόν επιβραβεύεται ο καταναλωτής που στις ώρες αιχμής θα καταναλώσει λιγότερο αλλά και αυτός που θα έχει ένα πιο «ομαλό» και γραμμικό φορτίο. Στόχος όμως της διπλωματικής αυτής δεν είναι να εξηγήσει το πώς προέκυψε ένα τέτοιο τιμολόγιο αλλά η εξήγηση των μεγεθών που χρησιμοποιεί και το πώς αυτά συνδυάζονται ώστε να μας δώσουν την τελική χρέωση.

Τα βασικά τιμολόγια της ΔΕΗ για καταναλωτές μέσης τάσης είναι τέσσερα και ανά δύο χωρίζονται σε «Γενικής Χρήσης» και «Βιομηχανικά». Γενικής χρήσης είναι τα Β1 και Β2 ενώ τα βιομηχανικά είναι τα Β1Β και Β2Β. Οι συντελεστές χρεώσεως δίνονται στα τέλος της παραγράφου.

Σύμφωνα με τη λογική της ΔΕΗ τιμολογούνται τόσο η ενέργεια που καταναλώθηκε, όσο και η μέγιστη ισχύς που απορρόφησε το φορτίο (Two Part Tariff). Η ΔΕΗ όμως μας προσφέρει επιλογές στα τιμολόγια ανάλογα με τη μέγιστη ισχύ και τη συνολική μηνιαία κατανάλωση. Έτσι αν καταναλώνουμε μεγάλες ποσότητες ενέργειας αλλά έχουμε μικρή σχετικά μέγιστη ισχύ, το φορτίο μας δηλαδή δεν είναι πολύ μεγάλο αλλά καταναλώνει για περισσότερο χρόνο, μας συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε το Β1 τιμολόγιο (Β1Β για βιομηχανίες). Σε αντίθετη περίπτωση μας συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε το Β2 (αντίστοιχα Β2Β για βιομηχανίες).

Το αν δικαιούμαστε να χρεωνόμαστε σύμφωνα με τα βιομηχανικά τιμολόγια που είναι πιο φθηνά και όχι με τα γενικής χρήσης εξαρτάται από το αν παράγουμε κάτι. Στις παραγωγικές μονάδες συμπεριλαμβάνονται βέβαια και οι μεταπρατικές αλλά ένα μεγάλο ξενοδοχείο για παράδειγμα δεν δικαιούται να χρεώνεται με βάση βιομηχανικό τιμολόγιο αν και καταναλώνει στη μέση τάση. Απαιτείται ειδική βεβαίωση που να πιστοποιεί ότι κάποιος πράγματι παράγει για να του χορηγηθεί ένα τέτοιο τιμολόγιο.

1.2.2 Μέτρηση των βασικών (φυσικών) μεγεθών

Ενέργεια

Η ενέργεια που καταναλώνεται μετριέται ανά τέταρτο της ώρας και στο τέλος του μήνα αθροίζεται. Το έναυσμα για να περάσουμε στο επόμενο τέταρτο έρχεται κεντρικά μέσω της ΔΕΗ και ονομάζεται παλμός τετάρτου. Μόλις έρθει ένας τέτοιος παλμός προστίθεται η μέτρηση του προηγούμενου τετάρτου στην μέχρι τότε συνολική κατανάλωση και έπειτα μηδενίζεται. Ομοίως συνεχίζουμε και για τα υπόλοιπα τέταρτα. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται τόσο για την ενεργό όσο και για την άεργο ενέργεια.

Ισχύς

Αν πολλαπλασιάσουμε την κάθε μέτρηση τετάρτου με το τέσσερα θα πάρουμε την κατανάλωση που θα είχαμε αν συνέχιζε με ίδιο τρόπο το φορτίο για μία ώρα. Αυτή η τιμή θεωρείται μέση τιμή της ισχύος τετάρτου για το συγκεκριμένο τέταρτο. Η μέγιστη από τις μέσες τιμές τετάρτου ορίζεται ως η Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση (KMZ). Η Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση όπως θα δούμε παρακάτω επηρεάζει και την χρέωση της ενέργειας.

Για να εξηγηθεί καλύτερα πως προκύπτει η Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση θα δώσουμε ένα μικρό παράδειγμα. Έστω ότι σε κάποιο τέταρτο έχουμε μετρήσει 1000kWh. Αν συνέχιζε αυτό το φορτίο για ολόκληρη την ώρα, σε μια ώρα θα παίρναμε 4000kWh. Όμως οι 4000kWh αντιστοιχούν από τον ορισμό σε φορτίο 4000kW για μια ώρα. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η κατανάλωση που έγινε σε ένα τέταρτο επί το τέσσερα μας δίνει τη μέση τιμή της ισχύος για το συγκεκριμένο τέταρτο.

Η διαδικασία αυτή γίνεται μόνο για την ενεργό ισχύ αφού η μέγιστη άεργος δεν τιμολογείται.

1.2.3 Μέγιστο Αιχμής

Η Μέγιστη Ζήτηση της ισχύος κατά τις ώρες αιχμής ή αλλιώς για συντομία Μέγιστο Αιχμής (MA) είναι η μέγιστη τιμή της ζήτησης ισχύος για τα τέταρτα που περιλαμβάνονται στις ώρες αιχμής. Έτσι αν για παράδειγμα η Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση συμβεί κατά τις ώρες αιχμής θα είναι ίση με το Μέγιστο Αιχμής ενώ σε διαφορετική περίπτωση το Μέγιστο Αιχμής θα είναι μικρότερο.

Για να μην προβούμε σε λανθασμένες μετρήσεις πρέπει να γνωρίζουμε φυσικά ποιες είναι οι ώρες αιχμής. Το χρονικό διάστημα που θεωρούμε ως ώρες αιχμής για τους καταναλωτές μέσης τάσης είναι καθορισμένο με νόμο και συγκεκριμένα με τον νόμο 2773 του 1999.

Ο νόμος αυτός λέει ξεκάθαρα πως:

«Για πελάτες μέσης τάσης, οι ώρες αιχμής εξειδικεύονται και ορίζονται ως οι τρεις ώρες μεταξύ της 11ης πρωινής και της 14ης απογευματινής της ζώνης αιχμής όπως αυτή ορίζεται σύμφωνα με τους ειδικούς όρους των τιμολογίων μέσης τάσης.»

1.2.4 Συντελεστής Ισχύος (Power Factor P.F.)

Η τιμή αυτή ενώ αντιπροσωπεύει αυτό ακριβώς που προδίδει το όνομά της δεν υπολογίζεται με το γνωστό τρόπο. Είναι ο συντελεστής ισχύος της συνολικής κατανάλωσης και έτσι προκύπτει από τις τιμές της ενέργειας. Παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του τιμολογίου και ιδιαίτερα στη χρέωση της ισχύος, αφού όσοι έχουν πάνω από 0.95 συντελεστή ισχύος πριμοδοτούνται σημαντικά ενώ όσοι έχουν κάτω από 0.85 χρεώνονται την ισχύ παραπάνω.

Ο τύπος της είναι:
$$P.F. = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{E_Q}{E_P}\right)^2 + 1}} \quad (1.1)$$

Όπου E_P , E_Q η συνολική ενεργός και η συνολική άεργος ενέργεια αντίστοιχα.

1.2.5 Χρεωστέα Ζήτηση (XZ)

Είναι η τιμή με βάση την οποία γίνεται η χρέωση της ισχύος. Δεν είναι η ίδια μια φυσική τιμή που παίρνουμε από κάποια μέτρηση αλλά προκύπτει έμμεσα από την Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση και τον συντελεστή ισχύος.

Οι τύποι της (ανάλογα με το συντελεστή ισχύος) είναι:

$$XZ = KMZ * (1 + 1,25 * [0,87 / PF - 1]) \quad , PF < 0,95 \quad (1.2)$$

$$XZ = KMZ * 0,85 / PF \quad , PF \geq 0,95$$

Επίσης, όπως αναφέρεται στους ειδικούς όρους του τιμολογίου, μετά από αίτηση του καταναλωτή, η ζήτηση κατά το νυκτερινό ωράριο και τις Κυριακές δεν λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της Χρεωστέας Ζήτησης και της μείωσης της χρέωσης ισχύος. Το μέτρο αυτό ίσως αναφέρεται σε καταναλωτές που καταναλώνουν ενέργεια και τις Κυριακές που η ΔΕΗ δεν έχει πρόβλημα να τους υποστηρίξει αφού η ζήτηση είναι έτσι κι αλλιώς μειωμένη.

1.2.6 Συντελεστής Χρησιμοποίησης (Capacity Factor CF)

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης μπορεί να μην είναι βασική τιμή στην διαδικασία τιμολόγησης αλλά αν κατανοηθεί η χρήση του μπορεί να μας μειώσει αισθητά τις μηνιαίες οφειλές μας.

Ο τύπος υπολογισμού του είναι ο εξής:

$$CF = \frac{100}{24 * 30} \frac{E_P}{KMZ} \quad (1.3)$$

Αν ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερος του 30% τότε έχουμε μια μείωση στη χρέωση της ισχύος (προσοχή, όχι στη συνολική χρέωση) της τάξης των:

$$[50 - 50 * (MA/KMZ)]\% \quad (1.4)$$

1.2.7 Χρέωση Ενέργειας

Όλες οι παραπάνω μεταβλητές, φυσικές και μη, που επεξηγήσαμε είχαν να κάνουν με τη χρέωση της ισχύος. Όμως βασική και πιο δαπανηρή συνήθως είναι η χρέωση της ενέργειας. Εδώ πρέπει να κάνουμε ένα βασικό διαχωρισμό στα δύο τιμολόγια που προσφέρει ως επιλογή η ΔΕΗ. Στο Β2 μπορεί να έχουμε χαμηλότερη χρέωση ισχύος αλλά η χρέωση για την ενέργεια είναι ενιαία. Δηλαδή ανεβαίνει γραμμικά η χρέωση με την κατανάλωση. Αντίθετα στο Β1 τιμολόγιο για ένα αριθμό κιλοβατώραν και πάνω η χρέωση αλλάζει και γίνεται χαμηλότερη. Έτσι επιβραβεύεται αυτός που καταναλώνει σταθερά. Ο αριθμός των κιλοβατώραν πάνω από τις οποίες αλλάζει ο συντελεστής χρέωσης δεν είναι σταθερός και εξαρτάται από την Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Αλλαγή Κλιμακίου Χρέωσης} = 400\text{kWh} * \text{KMZ}$$

1.2.8 Ελάχιστη Χρέωση

Φυσικά για να συμφέρει τη ΔΕΗ να συνδεθεί κάποιος στο δίκτυο μέσης τάσης, το οποίο εκτός από το κόστος παραγωγής της ενέργειας έχει και κάποια πάγια έξοδα συντήρησης, πρέπει να ορίσει και κάποια ελάχιστη χρέωση. Η τιμή της ελάχιστης αυτής χρέωσης όπως και οι υπόλοιποι συντελεστές που είναι απαραίτητοι για την τιμολόγηση δίνονται παρακάτω.

1.2.9 Συντελεστές Χρεώσεως

A. ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

1. Τιμολόγιο Β1

Ισχύς: χρεωστέα Ζήτηση (XZ) 12,0640 €/kW

ενέργεια: οι πρώτες 400 kWh ανά kW (KMZ) 0,07185 €/kWh

οι υπόλοιπες kWh 0,04760 €/kWh

ελάχιστη χρέωση για XZ ≤ 5 kW: 276,38 €

ελάχιστη χρέωση για XZ > 5 kW: 2,7575 €/kW*(XZ-5)+276,38 €

2. Τιμολόγιο B2

ισχύς: χρεωστέα Ζήτηση (XZ) 4,3497 €/kW

ενέργεια: όλες οι kWh 0,09412 €/kWh

ελάχιστη χρέωση για $XZ \leq 5$ kW: 276,38 €

ελάχιστη χρέωση για $XZ > 5$ kW: $2,7575 \text{ €/kW} \cdot (XZ - 5) + 276,38 \text{ €}$

B. ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

1. Τιμολόγιο B1B

ισχύς: χρεωστέα Ζήτηση (XZ) 9,9753 €/kW

ενέργεια: οι πρώτες 400 kWh ανά kW (KMZ) 0,05901 €/kWh

οι υπόλοιπες kWh 0,03915 €/kWh

ελάχιστη χρέωση για $XZ \leq 5$ kW: 228,63 €

ελάχιστη χρέωση για $XZ > 5$ kW: $2,2788 \text{ €/kW} \cdot (XZ - 5) + 228,63 \text{ €}$

2. Τιμολόγιο B2B

ισχύς: χρεωστέα Ζήτηση (XZ) 3,6160 €/kW

ενέργεια: όλες οι kWh 0,07719 €/kWh

ελάχιστη χρέωση για $XZ \leq 5$ kW: 228,63 €

ελάχιστη χρέωση για $XZ > 5$ kW: $2,2788 \text{ €/kW} \cdot (XZ - 5) + 228,6 \text{ €}$

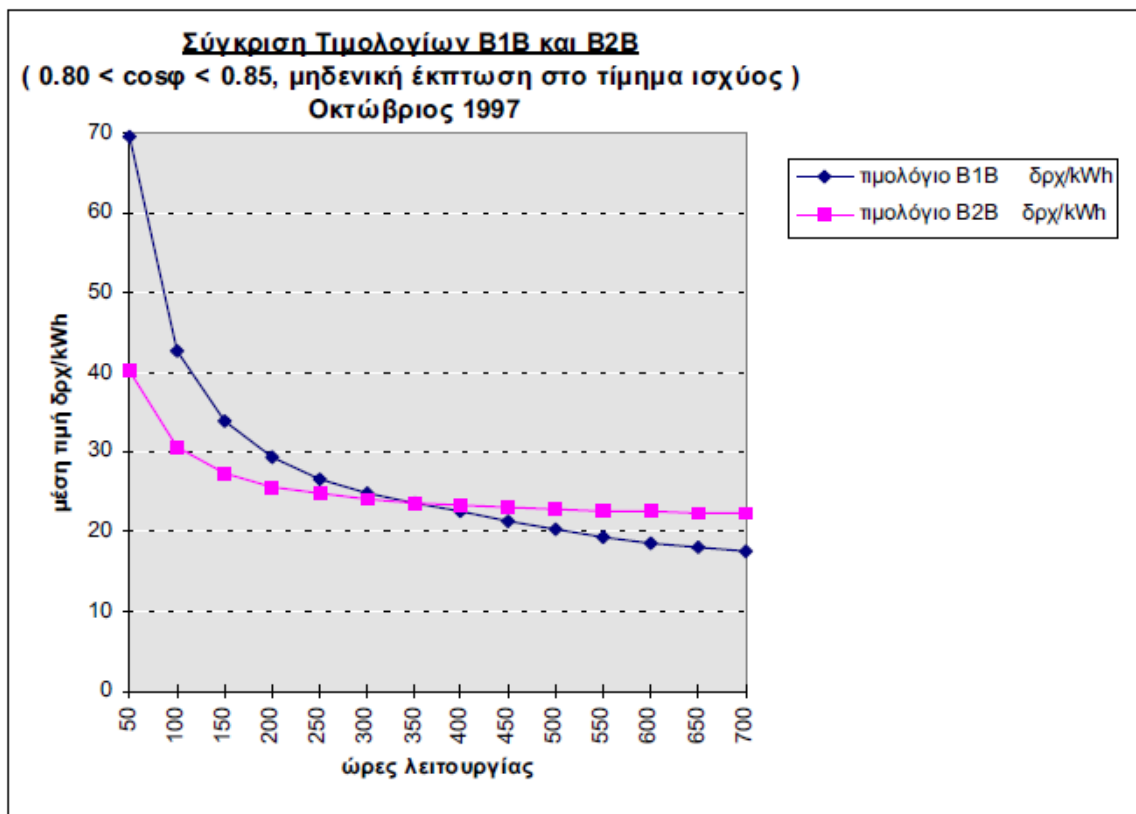
1.3 Σύγκριση τιμολογίων

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα βιομηχανικά τιμολόγια B1B και B2B, τα οποία είναι τα δύο τιμολόγια που χρησιμοποιούνται και πιο συχνά από τους έλληνες καταναλωτές μέσης τάσης. Η ίδια λογική ισχύει και στα τιμολόγια B1 και B2 αντίστοιχα αλλά με μεγαλύτερους συντελεστές χρέωσης.

Η δομή του τιμολογίου B2B διαφέρει από αυτή του B1B ως προς τις προβλεπόμενες τιμές χρέωσης του kW και της kWh, καθώς και ως προς τον υπολογισμό της χρέωσης ενέργειας, όπου έχουμε ένα και όχι δύο κλιμάκια χρέωσης της ενέργειας. Κατά τα άλλα είναι και τα δύο διμερή τιμολόγια (Two Part Tariff), δηλαδή με ξεχωριστή χρέωση για την ισχύ και την ενέργεια. Το τιμολόγιο B1B προβλέπει υψηλότερο τίμημα ισχύος και χαμηλότερο τίμημα ενέργειας σε σύγκριση με το B2B. Έτσι το τιμολόγιο αυτό είναι συμφερότερο για καταναλωτές με μεγαλύτερο συντελεστή χρησιμοποίησης όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1, οι συντελεστές του οποίου έχουν προκύψει από παλαιότερα τιμολόγια της ΔΕΗ, δεν παύει όμως να μας δίνει μια ποιοτική εικόνα για το σε ποιους καταναλωτές απευθύνεται το κάθε τιμολόγιο.

Γίνεται σαφές από το σχήμα αυτό ότι για να συμφέρει κάποιον καταναλωτή το τιμολόγιο B1B η βιομηχανία (ή βιοτεχνία) που το φορτίο αυτό εξυπηρετεί πρέπει

να λειτουργεί πάνω από 300 ώρες το μήνα. Δηλαδή κατά μέσο όρο 10 ώρες την ημέρα συμπεριλαμβανομένων και των αργιών. Αυτό ακριβώς είναι που έχει ωθήσει πολλούς μεγάλους καταναλωτές να λειτουργούν τις εγκαταστάσεις τους σε δύο βάρδιες των 8 ωρών.



Σχήμα 1.1 Σχέση ωρών λειτουργίας και μέσης τιμής χρέωσης της κλοβατώρας για τα βιομηχανικά τιμολόγια της ΔΕΗ. (ΠΗΓΗ: Σύγχρονο Ενεργειακό Management Καταναλωτών Μέσης Τάσης - Ομάδα Εργασίας ΤΕΕ)

2. Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC)

2.1 Εισαγωγή

Η μετάβαση στα συστήματα με ψηφιακά ηλεκτρονικά δεν άλλαξε μόνο τον τρόπο σκέψης των κατασκευαστών αλλά και τη δομή και τον τρόπο λειτουργίας εγκαταστάσεων και μηχανών. Υπήρξαν όμως και αρνητικά σημεία αφού απαιτήθηκε η γνώση υψηλής ηλεκτρονικής για τη σωστότερη εγκατάσταση και συντήρησή τους.

Οι πρώτοι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC - Programmable Logic Controllers) στην αρχή της δεκαετίας του '70 χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την αντικατάσταση των ρελέ.

Η μεγάλη απαίτηση για μείωση του κύκλου παραγωγής άρχισε στην αρχή της δεκαετίας του '80. Η τεχνολογία γινόταν γρηγορότερη και αναπτυσσόταν συνεχώς, παράλληλα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Όπως σε όλους τους τομείς έτσι κι εδώ, η επικοινωνία και η πληροφορία έγιναν η σημαντικότερη βάση για αποδοτική παραγωγή. Οι νέες συσκευές επεξεργάζονται πλέον δεδομένα και ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους ή με υπερκείμενους υπολογιστές.

Οι διαδικασίες παραγωγής γίνονται πιο σύνθετες, οι νεκροί χρόνοι στην παραγωγή μειώνονται συνεχώς, ενώ και οι απαιτήσεις για αυξημένη ποιότητα αυξάνονται. Παράλληλα αλλάζει και ο ρόλος του ανθρώπου στην παραγωγική διαδικασία που τώρα σχεδιάζει, κατασκευάζει, προγραμματίζει, επιτηρεί και επισκευάζει. Το φάσμα της εργασίας μεταφέρεται από τη μυϊκή στην πνευματική.

Κι ενώ η τεχνολογία προχωρά, φθάνουμε στη δεκαετία του '90 όπου τεχνολογικά έγινε μεγάλο άλμα (συσκευές μικρότερες, φθηνότερες, με σημαντικά αυξημένες δυνατότητες συγκριτικά με αυτές της προηγούμενης δεκαετίας) αλλά παράλληλα αυξήθηκε δυσανάλογα το κόστος εκπόνησης των προγραμμάτων και της θέσης σε λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Οι κατασκευαστές ρίχνουν πλέον σημαντικό βάρος στο λογισμικό όπου παρέχονται έτοιμες λύσεις για τομείς του αυτοματισμού με τη βοήθεια βιβλιοθηκών, εκμεταλλεύονται την πρόοδο των ηλεκτρονικών υπολογιστών και χρησιμοποιούν την εξέλιξη στο λειτουργικό τους σύστημα (τεχνολογία Windows) για να μειώσουν τους χρόνους στον προγραμματισμό των PLC (σχόλια προγράμματος, αντιγραφή τμημάτων προγράμματος από ένα πρόγραμμα σε ένα άλλο κλπ). Εμφανίζονται νέες γλώσσες προγραμματισμού για τεχνολόγους σε γραφική μορφή, όπου ο χρήστης μέσω βιβλιοθηκών κι έχοντας γνώση μόνο της παραγωγικής διαδικασίας «συνθέτει» τον αυτοματισμό του. Τα υπόλοιπα γίνονται αυτόματα στο παρασκήνιο για λογαριασμό του. Υποστηρίζεται τέλος και η εξέλιξη στις γλώσσες προγραμματισμού των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Visual Basic, Pascal, C++) για χρήστες που είναι εξοικειωμένοι σε τέτοια περιβάλλοντα.

Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται πλέον στη δικτύωση - ασύρματη ή ενσύρματη για τον προγραμματισμό / επιτήρηση εξ' αποστάσεως μέσω ειδικών συσκευών επικοινωνίας και λογισμικού για ηλεκτρονικό υπολογιστή (SCADA) καθώς και στις επικοινωνίες Internet.

2.2 Περιγραφή και λειτουργία του PLC

Το PLC είναι μία ηλεκτρονική διάταξη η οποία από άποψη λειτουργίας θα μπορούσε να προσομοιωθεί με έναν πίνακα αυτοματισμού. Έχει δηλαδή εισόδους και εξόδους που συνδέονται με τα στοιχεία μιας εγκατάστασης και βέβαια έναν αλγόριθμο που καθορίζει ότι κάποιος συνδυασμός εισόδων παράγει ένα αποτέλεσμα στις εξόδους (π.χ. η ενεργοποίηση ενός τερματικού διακόπτη σταματά τον κινητήρα μιας μεταφορικής ταινίας). Οι ομοιότητες όμως σταματούν εδώ μια και το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των PLC είναι ότι οι «κανόνες» που καθορίζουν τη συμπεριφορά των εξόδων δεν είναι σταθεροί και «συρματωμένοι» όπως σε ένα κλασικό πίνακα αυτοματισμού αλλά μπορούν να μεταβάλλονται με την επέμβαση στο πρόγραμμα του PLC χωρίς καμία επέμβαση στο Hardware του συστήματος. Δηλαδή η λογική της λειτουργίας που ενσωματώνεται στο PLC μέσω του προγραμματισμού του είναι μεταβαλλόμενη. Από κατασκευαστική άποψη ένα PLC αποτελείται από ένα μικροελεγκτή (αποτελούμενο βασικά από μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), από περιοχές μνήμης και από κατάλληλα κυκλώματα για τη λήψη και αποστολή σημάτων εισόδου και εξόδου), ο οποίος επιτρέπει την εισαγωγή και αποθήκευση εντολών από το χρήστη, που ελέγχουν διάφορες παραγωγικές διαδικασίες. Οι εντολές αυτές δίνονται σε ηλεκτρονόμους ή διακόπτες, οι οποίοι με τη σειρά τους διεγείρουν ή δέχονται τις αποκρίσεις των ελεγχόμενων ηλεκτρομηχανικών συσκευών.

Ο αριθμός των ψηφιακών εισόδων και εξόδων ενός PLC καθορίζεται με βάση τις ανάγκες του αυτοματισμού. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των PLC είναι η ευκολία με την οποία μπορούν να αλλάζουν τη συμπεριφορά τους. Αν για παράδειγμα κάποιο PLC έχει ρυθμιστεί για να θέτει εντός και εκτός λειτουργίας κάποιο ηλεκτρονόμο, με τη χρήση δύο κουμπιών, εύκολα μπορεί να κάνει το ίδιο και με ένα. Αρκεί μια μικρή επέμβαση στο λογισμικό του. Είναι προφανής λοιπόν ο λόγος που οι συσκευές αυτές έχουν αντικαταστήσει πολύπλοκα συστήματα αυτοματισμών.

Η ανάγκη για συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού με χαμηλό κόστος, με ευκολία χρήσης και επεκτασιμότητας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή των προγραμματιζόμενων ελεγκτών. Οι χρήσεις τους είναι πολλές και ποικίλες. Αρχικά σχεδιάστηκαν για να αντικαταστήσουν τα κλασικά «πεδία» (πίνακες) με ηλεκτρονόμους για τον έλεγχο διαφόρων μηχανημάτων και συστημάτων. Αργότερα όμως, λόγω των δυνατοτήτων προγραμματισμού τους και της μεγάλης ποικιλίας εξωτερικών συμπληρωματικών μονάδων (π.χ. εισόδων/εξόδων), η χρήση τους εξαπλώθηκε σε πολύ πιο σύνθετες εφαρμογές,

όπως ο έλεγχος και η παρακολούθηση παραγωγικών διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο, αλλά χρησιμοποιήθηκαν και ως ελεγκτές κλειστού βρόχου PID, PD ή PI. Λόγω της ευκολίας στη χρήση αλλά και της μείωσης του κόστους αγοράς τα τελευταία χρόνια τα PLC έχουν αρχίσει να κατακλύζουν και την αγορά των οικιακών μικροσυσκευών.

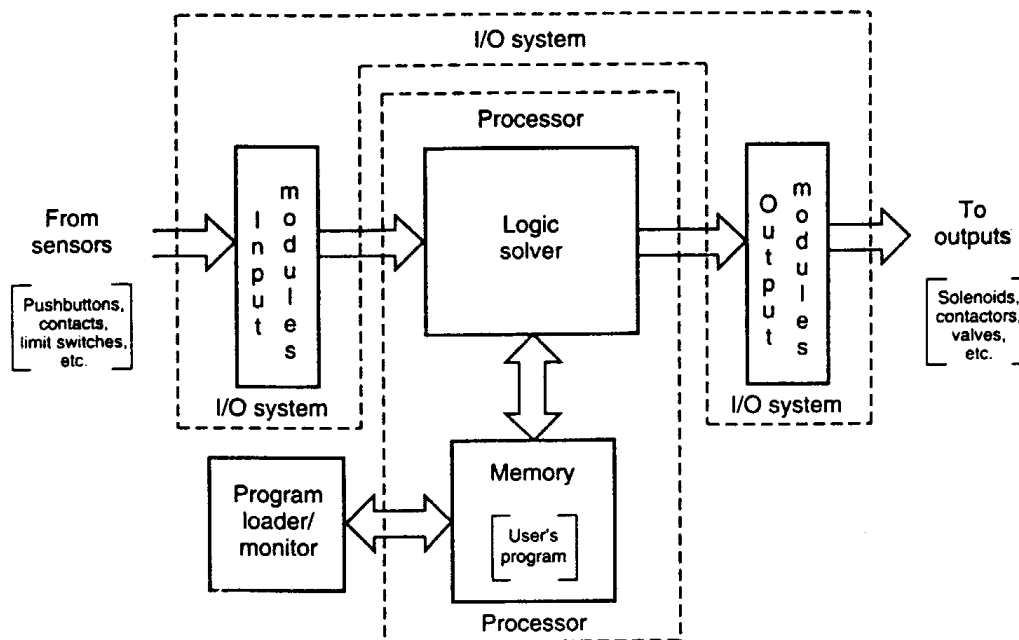
Οι κυριότερες λειτουργίες ενός PLC είναι οι εξής:

- Προγραμματίζεται από το χρήστη πολλές φορές, δηλαδή δε χρειάζεται η μεσολάβηση του κατασκευαστή προκειμένου να γίνουν αλλαγές στο πρόγραμμα.
- Περιλαμβάνει έτοιμες προγραμματιζόμενες ρουτίνες όπως ρουτίνες χρονισμού, ψηφιακής λογικής, μετρητών και άλλες στις οποίες ο χρήστης έχει τη δυνατότητα πρόσβασης.
- Το PLC κατά τη λειτουργία του διαβάζει διαδοχικά τη μνήμη, τις εισόδους και τις εξόδους με προκαθορισμένη σειρά. Αυτό δίνει στον προγραμματιστή τη δυνατότητα να γνωρίζει με ακρίβεια την απόκριση του συστήματος ελέγχου στο πρόγραμμα του PLC.
- Παρέχει διαγνωστικά μηνύματα λάθους. Το PLC πραγματοποιεί περιοδικούς εσωτερικούς ελέγχους της λειτουργίας του επεξεργαστή, της μνήμης, των εισόδων και των εξόδων.
- Δίνεται η δυνατότητα απεικόνισης των καταστάσεων των μεταβλητών, των εισόδων και των εξόδων στην οθόνη σε πραγματικό χρόνο, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος.
- Το περίβλημα του PLC προστατεύει από υγρασία, δονήσεις, θόρυβο ενώ αντέχει και σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Τέλος, το PLC παρέχει τη δυνατότητα προγραμματισμού γενικής χρήσεως, δηλαδή δεν είναι σχεδιασμένο για εξειδικευμένες εφαρμογές, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια μεγάλη κατηγορία εφαρμογών ελέγχου, αποτελεσματικά και αξιόπιστα.

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής είναι συνδεδεμένος σε διάφορα σημεία της παραγωγής, απ' όπου μέσω αισθητήρων και μεταλλακτών λαμβάνει σήματα (ψηφιακά ή αναλογικά) από τις εισόδους του. Τα σήματα αυτά επεξεργάζεται η κεντρική μονάδα (CPU) σύμφωνα με τις εντολές που έχουμε αποθηκεύσει στη μνήμη, εκτελεί λογικές και αριθμητικές πράξεις, και τα αποτελέσματα των λογικών επεξεργασιών (RLO) μεταβιβάζονται στις αντίστοιχες εξόδους του ελεγκτή, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με άλλα σημεία της παραγωγής. Έτσι γίνεται συνεχής έλεγχος και παρακολούθηση της πορείας της παραγωγής, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα πρόβλεψης, για την αντιμετώπιση βλαβών και σφαλμάτων.

Σε κάθε προγραμματιζόμενο ελεγκτή διακρίνουμε τα παρακάτω μέρη:

- Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων
- Μονάδα τροφοδοσίας
- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
- Μονάδα εισόδου
- Μονάδα εξόδου



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή

Οι μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής, τοποθετούνται σε ειδικά πλαίσια, στα οποία ενσωματώνεται σύστημα αγωγών για την επικοινωνία τους. Διακρίνουμε δύο είδη πλαισίων, το κεντρικό πλαίσιο και το πλαίσιο επέκτασης. Στο κεντρικό πλαίσιο τοποθετείται σε συγκεκριμένη θέση η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) και το τροφοδοτικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις το τροφοδοτικό δε διατίθεται ανεξάρτητα, αλλά ενσωματώνεται στο κεντρικό πλαίσιο. Στις υπόλοιπες θέσεις του κεντρικού πλαισίου τοποθετούνται μονάδες εισόδων/εξόδων. Στην περίπτωση, που οι θέσεις του κεντρικού πλαισίου δεν επαρκούν για την τοποθέτηση των μονάδων εισόδων/εξόδων, τότε χρησιμοποιείται το πλαίσιο επέκτασης. Το πλαίσιο αυτό δέχεται μόνο μονάδες εισόδων/εξόδων και συνδέεται με το κεντρικό μέσω ειδικής μονάδας διασύνδεσης και καλωδίου. Τα πλαίσια επέκτασης μπορεί να είναι ένα ή περισσότερα και ο αριθμός τους εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Επίσης μπορεί να βρίσκονται κοντά στο κεντρικό, δηλαδή σε απόσταση έως 2,5 μέτρα, ή σε μεγάλη απόσταση, έως 600 μέτρα.

Οι μονάδες (κάρτες) εισόδου διακρίνονται σε ψηφιακές και αναλογικές και λαμβάνουν σήματα, τα οποία μεταφέρουν στην κεντρική μονάδα για επεξεργασία. Οι μονάδες εξόδου στέλνουν σήματα εντολών προς το ελεγχόμενο σύστημα και διακρίνονται κι αυτές σε αναλογικές και ψηφιακές. Για την

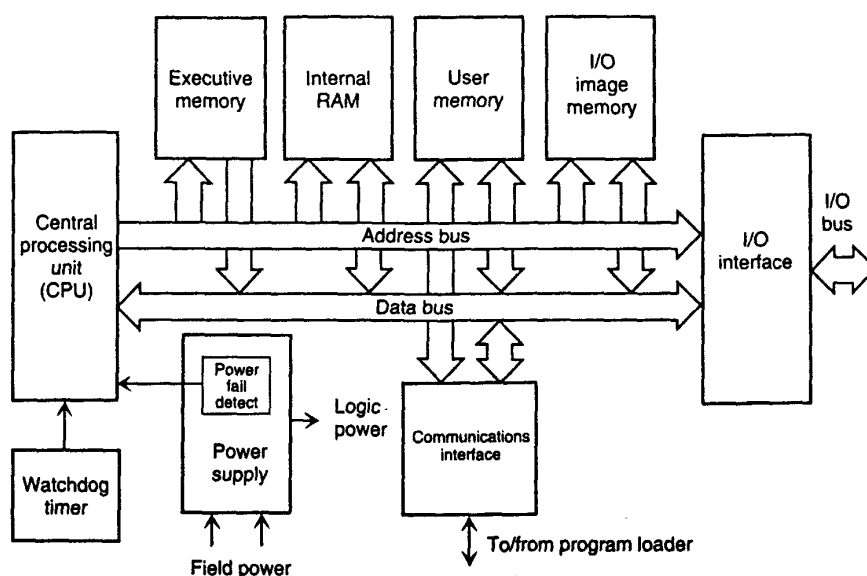
τροφοδοσία των εισόδων/εξόδων συχνά χρησιμοποιείται μονάδα τροφοδοσίας ανεξάρτητη από αυτή του προγραμματιζόμενου ελεγκτή, η οποία μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενης τάσης. Τα κυκλώματα τάσεων εισόδου ή εξόδου περιλαμβάνουν συνήθως 4, 8, 16, ή 32 εισόδους ή εξόδους.

Κάθε είσοδος (έξοδος) χαρακτηρίζεται μονοσήμαντα από τη διεύθυνση byte και τη διεύθυνση bit. Διεύθυνση byte μιας εισόδου (εξόδου) ορίζεται το byte, το οποίο χαρακτηρίζει τη μονάδα εισόδου (εξόδου). Διεύθυνση bit ορίζεται το συγκεκριμένο bit μέσα στο byte, στο οποίο αντιστοιχεί η συγκεκριμένη είσοδος (έξοδος). Μια είσοδος χαρακτηρίζεται ως : Ix.y, όπου I: είσοδος, x:διεύθυνση byte, y:διεύθυνση bit (π.χ. I10.0), ενώ μια έξοδος χαρακτηρίζεται ως : Qx.y, όπου Q:έξοδος, x:διεύθυνση byte, y:διεύθυνση bit (π.χ. Q10.0). Η διεύθυνση byte εξαρτάται από την αρίθμηση των μονάδων, ενώ η διεύθυνση bit είναι ο αριθμός, ο οποίος είναι τυπωμένος πάνω στη μονάδα.

Οι μετατροπείς εισόδου μετατρέπουν τα σήματα εισόδου από τις υπό παρακολούθηση συσκευές σε λογικά σήματα, τα οποία μπορούν να διαβαστούν απευθείας από τον επεξεργαστή του PLC. Το κύκλωμα του λογικού αναλυτή του PLC στη συνέχεια, διαβάζει τις εισόδους και καθορίζει τις καταστάσεις εξόδου με βάση τη λογική του προγράμματος που έχει εισάγει ο χρήστης. Οι μονάδες εξόδου μετατρέπουν τα σήματα εξόδου, που προέρχονται από το λογικό αναλυτή, σε σήματα χρήσιμα για τις υπό έλεγχο συσκευές.

Ένας επεξεργαστής αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά τμήματα:

- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
- Μνήμη
- Δίαυλοι διευθύνσεων και δεδομένων
- Τμήμα εισόδων - εξόδων (I-O)



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα επεξεργαστή

Κεντρική μονάδα επεξεργασίας

Η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (Central Processing Unit - CPU) ελέγχει και εκτελεί όλες τις λειτουργίες του προγραμματιζόμενου ελεγκτή. Υπάρχει ένα εσωτερικό κανάλι επικοινωνίας (bus system) που μεταφέρει πληροφορίες από την CPU στη μνήμη και στις μονάδες I/O και αντίστροφα. Η σχεδίαση της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας καθορίζει την ευελιξία ενός επεξεργαστή PLC και επίσης επηρεάζει την ταχύτητά του. Η ταχύτητα του επεξεργαστή εκφράζεται από το ρυθμό σάρωσης (scan rate) δεδομένης περιοχής μνήμης. Όσο πιο γρήγοροι είναι οι επεξεργαστές τόσο περισσότερο κοστίζουν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πολλά PLC που διατίθενται στην αγορά, καθορίζουν το χρόνο σάρωσής τους χρησιμοποιώντας κυκλώματα μόνο με επαφές και πηνία. Αυτός ο χρόνος σάρωσης είναι πλασματικός καθώς ένα πραγματικό πρόγραμμα περιλαμβάνει και άλλες πιο σύνθετες συναρτήσεις, όπως μετρητές, χρονιστές ή μαθηματικές και λογικές συναρτήσεις, οι οποίες απαιτούν πολύ μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης και σάρωσης. Για την επιλογή ενός PLC θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη, εκτός από το χρόνο σάρωσης της μνήμης του επεξεργαστή, και ο χρόνος απόκρισης των εισόδων - εξόδων.

Η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU) αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Αριθμητική μονάδα (Arithmetic Logical Unit - ALU): Εκτελεί τις αριθμητικές και λογικές πράξεις και αποτελείται από δύο ή τέσσερις κεντρικούς καταχωρητές (Accumulators). Μέσα σε αυτούς τους καταχωρητές αποθηκεύονται οι πληροφορίες από τις εισόδους και τις εξόδους και εκτελούνται οι λογικές και αριθμητικές πράξεις.
- Επεξεργαστής (Processor): Ο επεξεργαστής ακολουθώντας τη ροή του προγράμματος καλεί στη μνήμη και εκτελεί τις αντίστοιχες εντολές σειριακά και συνεχώς με κυκλική διαδικασία. Επεξεργάζεται τις πληροφορίες από τη μνήμη απεικόνισης εισόδων (PII), υπολογίζοντας ταυτόχρονα τους ενεργούς απαριθμητές, τα χρονικά, καθώς και τα σήματα από τις βοηθητικές μονάδες.
- Λειτουργικό Σύστημα (ROM): Το λειτουργικό σύστημα περιέχει προγράμματα του συστήματος (System Programs), που καθορίζουν τον τρόπο εκτέλεσης του προγράμματος ελέγχου, τον τρόπο αντιμετώπισης των εισόδων και εξόδων, την κατανομή της μνήμης και τη διακίνηση δεδομένων. Το λειτουργικό σύστημα δεν μπορεί να τροποποιηθεί.
- Εσωτερική Μνήμη Προγράμματος (Program Memory)
- Μνήμη απεικόνισης εισόδων (PII - Process Image Input Table): Η μνήμη απεικόνισης εισόδων είναι μία καθορισμένη περιοχή της RAM, όπου αποθηκεύονται τα σήματα από τις εισόδους του προγραμματιζόμενου ελεγκτή.
- Μνήμη απεικόνισης εξόδων (PIQ - Process Image Output Table): Η μνήμη απεικόνισης εξόδων είναι μία καθορισμένη περιοχή της RAM, όπου

αποθηκεύονται τα σήματα από τις εξόδους του προγραμματιζόμενου ελεγκτή.

➤ Χρονικά, Απαριθμητές, Βοηθητικά: Είναι μία άλλη περιοχή της RAM όπου υπάρχουν διαθέσιμα τα χρονικά, οι απαριθμητές και τα βοηθητικά.

Μνήμη

Η μνήμη του επεξεργαστή ενός PLC μπορεί να είναι είτε πτητική είτε μη πτητική. Πτητική είναι η μνήμη η οποία χάνει το περιεχόμενό της όταν σταματήσει η τροφοδοσία (όπως για παράδειγμα η μνήμη RAM). Στους ελεγκτές PLC είναι απαραίτητη και η μη πτητική μνήμη ώστε να μη χρειάζεται να ξαναφορτώνεται το πρόγραμμα κάθε φορά που κλείνει η τροφοδοσία.

Στη μνήμη RAM (Random Access Memory) αποθηκεύεται το πρόγραμμα ελέγχου, στο οποίο μπορεί εύκολα να γίνει οποιαδήποτε αλλαγή. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι εάν σταματήσει η τροφοδοσία του προγραμματιζόμενου ελεγκτή με τάση και δεν υπάρχει μπαταρία (battery backup), το πρόγραμμα χάνεται. Για να εξασφαλίσουμε την ακεραιότητα του προγράμματος, πρέπει να το αποθηκεύσουμε σε μία εξωτερική μονάδα μνήμης, EPROM ή EEPROM, όπου παραμένει αναλλοίωτο και δε χάνεται παρά μόνο αν το σβήσουμε εμείς. Στη μνήμη αποθηκεύεται το πρόγραμμα αυτοματισμού και το λειτουργικό πρόγραμμα (operating system) του PLC. Τα είδη των μνημών τα οποία διατίθενται στο εμπόριο και χρησιμοποιούνται από τους προγραμματιζόμενους ελεγκτές είναι:

➤ Battery - Backed - Up CMOS RAM. Πρόκειται για μνήμη ανάγνωσης και εγγραφής κατασκευασμένη από ημιαγωγούς. Τα βασικά στοιχεία αποθήκευσης, τα οποία ονομάζονται κελιά (cells), είναι διατεταγμένα σε σειρές και στήλες και αποθηκεύουν ένα bit πληροφορίας, η δε πρόσβαση σε αυτά είναι άμεση και πάρα πολύ γρήγορη (τυχαία προσπέλαση). Οι αποθηκευμένες πληροφορίες στη μνήμη RAM διατηρούνται μόνο εφ' όσον υπάρχει τροφοδοσία, διαφορετικά χάνονται. Παρόλο που οι περισσότερες μνήμες τυχαίας προσπέλασης είναι πτητικές, οι μνήμες τύπου CMOS καταναλώνουν τόσο λίγη ενέργεια που μια μικρή μπαταρία αρκεί για την ανάκτηση δεδομένων σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας. Αυτές οι μπαταρίες ποικίλουν όσον αφορά το χρόνο ζωής τους. Μπαταρίες με μικρό χρόνο ζωής είναι οι αλκαλικές και οι μπαταρίες υδραργύρου, οι οποίες αντικαθίστανται περιοδικά (από 6 μήνες έως ένα έτος). Αντίθετα, υπάρχουν μπαταρίες με μεγάλο χρόνο ζωής, όπως οι μπαταρίες λιθίου, οι οποίες αντικαθίστανται κάθε 10 χρόνια, ή οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, όπως οι μπαταρίες νικελίου - καδμίου και μολύβδου.

➤ Μνήμη EPROM. Πρόκειται για μνήμη μόνο ανάγνωσης, το περιεχόμενο της οποίας, όμως, μπορεί να σβηστεί και να γραφτεί αρκετές φορές. Η μνήμη αυτή χρησιμοποιείται ως μόνιμη μνήμη αποθήκευσης του προγράμματος μετά την ολοκλήρωσή του, επειδή είναι το ασφαλέστερο μέσο αποθήκευσης για βιομηχανικές συνθήκες. Για να τροποποιηθεί το πρόγραμμα στη μνήμη

EPROM, πρέπει να βγει από τον προγραμματιζόμενο ελεγκτή και επομένως να γίνει αναγκαστική διακοπή της λειτουργίας του, κάτι που αποτελεί μειονέκτημα. Τα δεδομένα αυτού του τύπου μνήμης μπορούν να χαθούν μόνο αν εκτεθούν σε υπεριώδη ακτινοβολία και για το λόγο αυτό λέγονται και UV - EPROM.

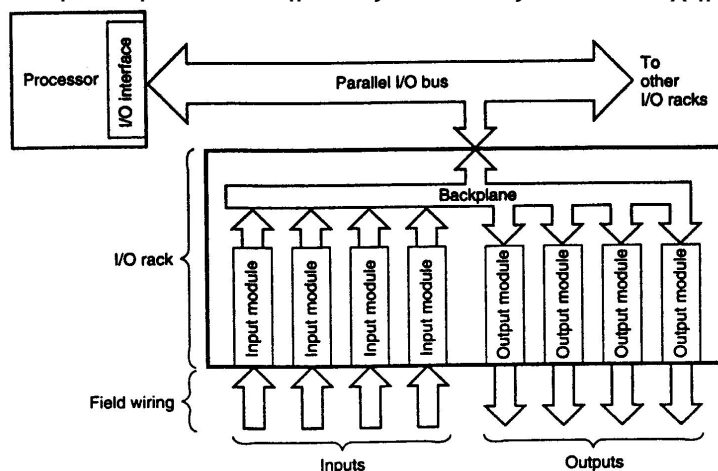
➤ Μνήμη EEPROM. Πρόκειται για μνήμη μόνο ανάγνωσης, το περιεχόμενο της οποίας, όμως, μπορεί να σβηστεί και να γραφτεί αρκετές φορές (όχι άπειρες) με ηλεκτρικό τρόπο. Χρησιμοποιείται ως μόνιμη μνήμη αποθήκευσης του προγράμματος αυτοματισμού μετά την ολοκλήρωση των αλλαγών του. Προτιμάται από τη μνήμη EPROM, επειδή προσφέρει μεγαλύτερη ευκολία στην αποθήκευση του προγράμματος.

Συστήματα εισόδων - εξόδων (I/O)

Τα συστήματα εισόδων - εξόδων των PLC διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

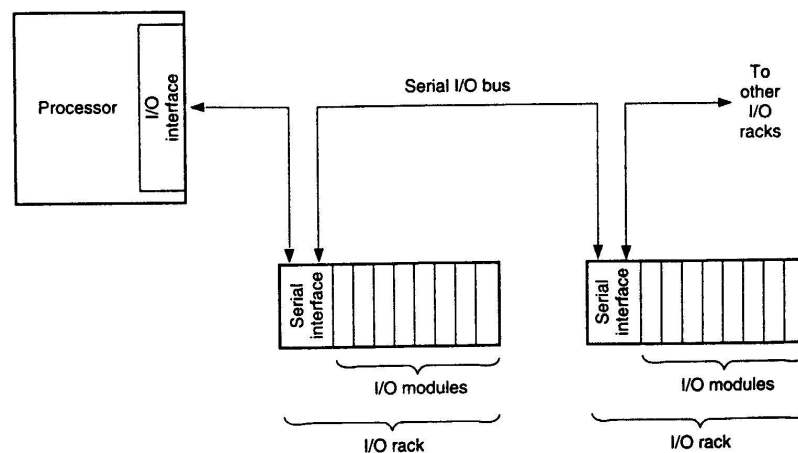
➤ *Άμεσο Σύστημα I/O (Direct I/O System)*. Διατίθεται ένα σήμα εισόδου και ένα σήμα εξόδου, τα οποία αντιστοιχούν στο σύνολο εισόδων και εξόδων που υποστηρίζει ο επεξεργαστής. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται σε μικρά PLC, τα οποία διαθέτουν συγκεκριμένο πλήθος εισόδων και εξόδων στο ίδιο πακέτο με τον επεξεργαστή, και αναφέρεται συχνά ως εσωτερικές εισοδοί - έξοδοι I/O (Internal I/O). Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των άμεσων συστημάτων είναι ότι είναι οικονομικότερα από τα άλλα συστήματα.

➤ *Παράλληλο Σύστημα (Parallel I/O System)*. Ένας δίαυλος I/O ξεκινάει από το τμήμα εισόδων - εξόδων του επεξεργαστή, ενώ ανεξάρτητες μονάδες εισόδου - εξόδου είναι τοποθετημένες στο δίαυλο αυτό. Οι μονάδες αυτές περιλαμβάνουν κατάλληλα κυκλώματα για την αποκωδικοποίηση των σημάτων του διαύλου και τη μετατροπή τους σε επίπεδα τάσης τα οποία μπορούν να οδηγήσουν τα φορτία. Κάθε μία από τις μονάδες αυτές έχει ένα αριθμό από σημεία εισόδων ή εξόδων. Οι περισσότερες «κάρτες» I/O διαθέτουν συνήθως 4, 8, 16, ή 32 σημεία εισόδων - εξόδων. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου παράλληλου συστήματος απεικονίζεται στο σχήμα.



Σχήμα 2.3 Παράλληλο Σύστημα

➤ *Σειριακό Σύστημα (Serial I/O System)*. Παρουσιάζει το πλεονέκτημα της μετάδοσης των δεδομένων εισόδου - εξόδου σε μεγάλες αποστάσεις, δηλαδή από 300m έως 3000m, σε αντίθεση με τα παράλληλα συστήματα τα οποία έχουν περιορισμό στην απόσταση στην οποία μπορούν να επεκτείνουν το δίαυλο εισόδου - εξόδου. Τυπικά μπορούν να επεκτείνουν το δίαυλο σε απόσταση μικρότερη των 15m. Αυτό σημαίνει ότι αν η απαιτούμενη απόσταση ήταν για παράδειγμα 30m, τότε θα απαιτούντο 2 PLCs για την κάλυψη της απόστασης αυτής με παράλληλο σύστημα εισόδου - εξόδου. Ένας σειριακός δίαυλος έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με έναν παράλληλο δίαυλο μέσω κατάλληλου μετατροπέα. Το λειτουργικό διάγραμμα ενός σειριακού συστήματος εισόδου - εξόδου απεικονίζεται στο σχήμα.



Σχήμα 2.4 Σειριακό Σύστημα

Τα τελευταίας τεχνολογίας PLC περιλαμβάνουν αμιγώς σειριακά συστήματα εισόδου - εξόδου, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερο κόστος. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί σε κρίσιμες εφαρμογές χρόνου (time critical applications), κατά τις οποίες γίνεται προσπέλαση και των δύο διαύλων εισόδου - εξόδου, δηλαδή και του σειριακού και του παράλληλου, αντί της προσπέλασης του ενός εκ των δύο. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το σειριακό σύστημα να είναι πιο αργό από το παράλληλο. Επίσης, ένα ακόμα μειονέκτημα των σειριακών συστημάτων είναι ότι πολλά από αυτά μπορεί να αποσυγχρονιστούν από τη λογική σάρωση (logic scanning) εισόδων - εξόδων. Αυτό μπορεί να επιφέρει δυσκολίες στην πρόβλεψη των αποκρίσεων εισόδων και εξόδων σε σήματα που μεταβάλλονται πολύ γρήγορα.

Μονάδα τροφοδοσίας

Η μονάδα αυτή συνδέεται με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και εξασφαλίζει τις απαραίτητες τάσεις για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων του PLC (τυπικές τιμές 5V DC, 12V DC ή 24V DC). Στην περίπτωση απομακρυσμένων μονάδων, απαιτείται επιπλέον μονάδα τροφοδοσίας. Η μονάδα τροφοδοσίας πρέπει να επιλέγεται, έτσι ώστε το ονομαστικό ρεύμα της να είναι

μεγαλύτερο από το ρεύμα που απορροφούν οι υπόλοιπες μονάδες του προγραμματιζόμενου ελεγκτή.

Σχετικά με την τροφοδοσία του PLC, θα πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες προδιαγραφές:

- Το κάλυμμα του τροφοδοτικού πρέπει να είναι κατάλληλο, ώστε η θερμοκρασία που αναπτύσσεται να απάγεται και έτσι να αποφεύγεται η υπερθέρμανση. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος.
- Η τροφοδοσία θα πρέπει να ελέγχεται από εργαστήρια ή εταιρίες, όπως το Underwriters Laboratories (UL) και το Canadian Standards Association (CSA), ώστε να πληροί κάποια πρότυπα. Στα προαναφερθέντα εργαστήρια γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας και της ηλεκτρικής απομόνωσης.
- Η τροφοδοσία θα πρέπει επίσης να πληρεί πρότυπα σχετικά με την απομόνωση και τον ανεπιθύμητο θόρυβο.

2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης προγραμματιζόμενων ελεγκτών

Συγκριτικά με τον κλασικό αυτοματισμό τα πλεονεκτήματα του προγραμματισμού με PLC είναι πάρα πολλά. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Είναι συσκευές γενικής χρήσεως - δεν είναι κατασκευασμένοι για ένα συγκεκριμένο είδος παραγωγής.
- Δεν ενδιαφέρει ο συνολικός αριθμός των επαφών, χρονικών, απαριθμητών κλπ που θα χρησιμοποιηθούν μιας και αποτελούν στοιχεία μνήμης της CPU και όχι φυσικές οντότητες.
- Η λειτουργία του αυτοματισμού μπορεί να αλλάξει σε οποιοδήποτε στάδιο θελήσουμε (μελέτη, κατασκευή, θέση σε λειτουργία ή αργότερα) χωρίς επέμβαση στο υλικό.
- Εύκολος οπτικός εντοπισμός με μία ματιά, της λειτουργίας ή μη στοιχείων της εγκατάστασης με τη βοήθεια των LED που υπάρχουν σε όλες τις κάρτες εισόδου / εξόδου. Με τη βοήθεια συσκευής προγραμματισμού μπορεί να παρακολουθηθεί και η ροή εκτέλεσης του προγράμματος.
- Η κατασκευή του πίνακα που θα τοποθετηθεί το PLC γίνεται παράλληλα με τον προγραμματισμό του, πράγμα το οποίο οδηγεί στη συντομότερη παράδοση του αυτοματισμού.
- Πολύ συχνό είναι το φαινόμενο ο τεχνικός να κληθεί να επισκευάσει μια βλάβη και να δει έκπληκτος ότι άλλα υπάρχουν στα σχέδια και άλλα βλέπει αυτός στην εγκατάσταση. Το πρόβλημα αυτό δεν υπάρχει στα PLC αφού πάντα υπάρχει μόνο ένα «σχέδιο» αποθηκευμένο - το τελευταίο πρόγραμμα που του έχουμε περάσει. Εάν θέλουμε να έχουμε περισσότερα προγράμματα, αυτό είναι δυνατό με τη χρήση δισκετών.

- Τα PLC ως ηλεκτρονικές συσκευές καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο χώρο στον πίνακα σε σχέση με τα υλικά του κλασσικού αυτοματισμού, καταναλώνουν δε πολύ λιγότερη ενέργεια από αυτά.
- Τοποθετούνται άφοβα και σε πεδία ισχύος - ο κατασκευαστής δίνει οδηγίες γι' αυτές τις περιπτώσεις οι οποίες πρέπει να τηρούνται (αποστάσεις, γειώσεις κλπ).
- Οι γλώσσες προγραμματισμού καλύπτουν όλο το φάσμα των ανθρώπων που καλούνται να ασχοληθούν με την τεχνολογία αυτή. Υπάρχει γλώσσα γι' ανθρώπους με γνώση στο συμβατικό αυτοματισμό (Ladder), γλώσσες για όσους έχουν υπόβαθρο σε υπολογιστές (Statement List, SCL, FBD, C++) καθώς και γλώσσες εξειδικευμένες για διάφορες τεχνολογίες (GRAPH 7, HIGRAPH, CSF).
- Τέλος, σαν ψηφιακές συσκευές σήμερα πια μας δίνουν τη δυνατότητα να συνδέσουμε επάνω τους οθόνες, εκτυπωτές, πληκτρολόγια και να καταργήσουμε έτσι τα κλασσικά μιμικά διαγράμματα και τους πίνακες χειρισμών. Εύκολη είναι επίσης και η διασύνδεση μεταξύ τους γι' ανταλλαγή πληροφοριών, ο τηλεχειρισμός και η τηλεποπτεία, ο εξ' αποστάσεως προγραμματισμός τους και η σύνδεσή τους στο Internet.

Τα μειονεκτήματα της χρήσης ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή, σε σχέση με τον κλασσικό αυτοματισμό με ηλεκτρονόμους (relays), είναι τα παρακάτω:

- Όταν έχουμε μία απλή εφαρμογή, η χρήση ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή είναι περισσότερο ακριβή από ένα πεδίο με ηλεκτρονόμους. Εάν παρουσιαστεί μία βλάβη στον προγραμματιζόμενο ελεγκτή, είναι δυνατόν να μην επισκευάζεται και να χρειάζεται αντικατάσταση τμήματος ή και ολόκληρου του ελεγκτή, ενώ αν είχαμε ένα πεδίο με relays θα ήταν αρκετό να αντικαταστήσουμε ένα μόνο relay.
- Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές είναι ευαίσθητοι στον ηλεκτρονικό θόρυβο, γεγονός που απαιτεί ειδικές κατασκευές και προστασίες.
- Η εγκατάσταση, η παρακολούθηση της λειτουργίας και η συντήρηση ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό ή εκπαίδευση του υπάρχοντος, πράγμα που σημαίνει αυξημένο κόστος.

Στάδια εργασίας

Έξι είναι τα στάδια εργασίας που πρέπει ν' ακολουθηθούν για να υλοποιηθεί ένας αυτοματισμός:

- 1) Τεχνική περιγραφή, καταγραφή δηλαδή των απαιτήσεων του πελάτη όσο αφορά τη σημερινή κατάσταση της εγκατάστασης, τις απαιτήσεις από τον αυτοματισμό αλλά και τις πιθανές μελλοντικές της επεκτάσεις.
- 2) Επιλογή τύπου και μονάδων PLC. Η επιλογή γίνεται πάντα με βάση τεχνικοοικονομικά κριτήρια, την καλύτερη τεχνική λύση δηλαδή με το

χαμηλότερο κόστος, μέσα από μια πληθώρα συστημάτων και των συνιστωσών τους.

3) Εκπόνηση σχεδίων - κατασκευή του πίνακα όπου θα τοποθετηθεί το PLC.

4) Προγραμματισμός - υλοποίηση των προδιαγραφών που έθεσε ο πελάτης. Το πρόγραμμα δοκιμάζεται εν μέρει για τη σωστή του λειτουργία, αφού μια ολοκληρωμένη δοκιμή του είναι πρακτικά αδύνατη στο γραφείο καθόσον οι συνθήκες είναι συνήθως πολύ πιο διαφορετικές από αυτές της εγκατάστασης.

5) Θέση σε λειτουργία - το PLC τοποθετημένο στον πίνακα μεταφέρεται και τοποθετείται στην εγκατάσταση, συρματώνεται με τα περιφερειακά στοιχεία (κινητήρες, βάνες, τερματικούς), γίνεται έλεγχος για τη σωστή συρμάτωση και τέλος μεταφέρεται το πρόγραμμα στο PLC. Εδώ γίνεται ο οριστικός έλεγχος της σωστής, σύμφωνα με την τεχνική περιγραφή, λειτουργίας του αυτοματισμού.

6) Δημιουργείται φάκελος του έργου με τα τελικά διορθωμένα σχέδια και το πρόγραμμα εκτυπωμένο με επεξηγηματικά σχόλια.

2.4 Ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής S7-300

Ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής S7-300 (σχήμα 2.5), ανήκει στην οικογένεια SIMATIC S7, της SIEMENS. Ο ελεγκτής αυτός προσφέρει:

- Μεγάλη υπολογιστική ισχύ
- Ολοκληρωμένο σύνολο εντολών
- Ενσωματωμένη θύρα επικοινωνίας MPI (Multi Point Interface)
- Δυνατότητα σύνδεσης στα βιομηχανικά δίκτυα SIMATIC NET
- Προστασία με κωδικό
- Εύκολη σύνδεση μεταξύ των μονάδων



Σχήμα 2.5 S7-300

Χαρακτηριστικά μιας CPU 312C της Siemens (Πίνακας 1)

Μνήμη εργασίας για πρόγραμμα και δεδομένα (1 εντολή=3 byte)	10 kbyte / 4 key εντολές
Χρόνος εκτέλεσης για 1020 δυαδικές εντολές	0,4 - 0,8 msec
Bit μνήμης (flag)	2048
Απαριθμητές	64
Χρονικά	128
Ψηφιακές εισοδοι - έξοδοι	266 μέγιστο

Αναλογικές είσοδοι - έξοδοι	64 μέγιστο
Θύρα επικοινωνίας	MPI (Δυνατότητα Σύνδεσης Πολλαπλών Σημείων)
Ρολόι πραγματικού χρόνου	Ενσωματωμένο
Σύνδεση με το δίκτυο	AS - Interface PROFIBUS Ind. Ethernet

Στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας του ελεγκτή υπάρχει διακόπτης με τον οποίο καθορίζουμε τον τρόπο λειτουργίας της. Διακρίνουμε τις παρακάτω 4 θέσεις λειτουργίας:

- **MRES** : Στη θέση αυτή επιτυγχάνεται reset της μνήμης.
- **STOP** : Στη θέση αυτή δεν εκτελείται πλέον το πρόγραμμα και όλες οι έξοδοι αποκτούν τη στάθμη.
- **RUN** : Στη θέση αυτή γίνεται επεξεργασία του προγράμματος και δεν μπορούν να γίνουν αλλαγές σε αυτό.
- **RUN-P** : Στη θέση αυτή γίνεται επεξεργασία του προγράμματος, αλλά επιτρέπεται να γίνουν αλλαγές σε αυτό μέσω της συσκευής προγραμματισμού.

Στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας του προγραμματιζόμενου ελεγκτή υπάρχουν οι παρακάτω ενδεικτικές λυχνίες:

- **SF** : Όταν είναι αναμμένη, σημαίνει ότι έχουμε σφάλμα στη CPU
- **BATF** : Όταν είναι αναμμένη, σημαίνει χαμηλή τάση ή έλλειψη μπαταρίας
- **DC5V** : Όταν είναι αναμμένη, σημαίνει ότι υπάρχει
- **FRCE** : Όταν είναι αναμμένη, σημαίνει ότι τουλάχιστον μία είσοδος ή έξοδος είναι έτοιμη να ενεργοποιηθεί.
- **RUN** : Όταν είναι αναμμένη, σημαίνει ότι η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας.
- **STOP** : Όταν είναι αναμμένη, σημαίνει ότι η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) έχει σταματήσει να λειτουργεί, χρειάζεται επανατοποθέτηση (reset) της μνήμης.

Η σειρά προγραμματιζόμενων ελεγκτών S7, αποτελείται από ένα τροφοδοτικό, μία μονάδα μνήμης (CPU) και κάρτες (modules) εισόδου - εξόδου (I/O). Ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής παρακολουθεί και ελέγχει κάποιο σύστημα μέσω του προγράμματος STEP7. Με το λογισμικό STEP7 δημιουργούμε ένα πρόγραμμα στα πλαίσια ενός project. Οι κάρτες I/O αντιστοιχούνται σε ένα πρόγραμμα STEP7, μέσω των διευθύνσεων (addresses).

2.5 Δομή Προγράμματος PLC

Υπάρχουν δύο τρόποι προγραμματισμού των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών:

2.5.1 Γραμμικός προγραμματισμός (Linear Programming)

Χρησιμοποιείται για απλές εφαρμογές αυτοματισμού. Όλο το πρόγραμμα βρίσκεται σε ένα block (το block οργάνωσης OB1). Ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής επεξεργάζεται το block αυτό κυκλικά, δηλαδή αφού φθάσει στην τελευταία εντολή ξαναπηγαίνει στην αρχή.

Ο γραμμικός προγραμματισμός είναι απλός και γρηγορότερος από το δομημένο προγραμματισμό, είναι όμως δύσχρηστος για πολύπλοκους αυτοματισμούς, όπου αυξάνονται οι πιθανότητες προγραμματιστικών λαθών.

2.5.2 Δομημένος Προγραμματισμός (Structured Programming)

Ο δομημένος προγραμματισμός χρησιμοποιείται για την επίλυση δύσκολων προβλημάτων αυτοματισμού. Με αυτόν τον τρόπο χωρίζουμε το πρόγραμμα σε ανεξάρτητα τμήματα (blocks) και απλοποιούμε κατά πολύ το πρόγραμμα. Κάθε ανεξάρτητο κομμάτι (block) αποτελεί ένα αυτοτελές πρόγραμμα με συγκεκριμένη εφαρμογή. Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιούμε block προγράμματος σε περισσότερες από μία εφαρμογές.

Σε κάθε δομημένο πρόγραμμα, στο block οργάνωσης OB1, προγραμματίζουμε την κλήση των άλλων blocks και μέσα σε οποιοδήποτε άλλο block μπορούμε να καλέσουμε ένα άλλο. Δεν επιτρέπεται όμως να φθάσουμε σε «βάθος» μεγαλύτερο από 16 επίπεδα.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του δομημένου προγραμματισμού είναι τα ακόλουθα:

- Στο δομημένο προγραμματισμό είναι εύκολη η αλλαγή ενός μέρους του προγράμματος, αλλάζοντας το περιεχόμενο ενός block ή αντικαθιστώντας το με ένα άλλο.
- Στην περίπτωση που θέλουμε να δοκιμάσουμε το πρόγραμμα, η δοκιμή του και η ανεύρεση σφαλμάτων είναι πολύ πιο εύκολη, διότι ελέγχουμε μικρά τμήματα σε αντίθεση με ένα τεράστιο πρόγραμμα.(σχήμα)

Το ολικό «βάθος» (Nesting Depth) του προγράμματος είναι το άθροισμα του «βάθους» της κυκλικής (OB1), της ελεγχόμενης από διακοπές (OB3), και της ελεγχόμενης από το χρόνο (OB13) επεξεργασίας του προγράμματος. Έτσι κατά τον υπολογισμό του βάθους του προγράμματος, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη ότι το πρόγραμμα μπορεί υπό ορισμένες συνθήκες να διακόψει την κυκλική επεξεργασία και να εκτελέσει το OB3 (επεξεργασία ελεγχόμενη από το χρόνο - Interrupt Driven Processing), οπότε πρέπει να συμπεριλαμβάνουμε και το «βάθος» του OB3 στον υπολογισμό, ακόμη και εάν αυτό δεν κληθεί. Εάν

ξεπεράσουμε το «βάθος» των 16 επιπέδων, τότε ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής πηγαίνει στη θέση λειτουργίας “STOP”.

Το λειτουργικό σύστημα του προγραμματιζόμενου ελεγκτή καλεί το OB1 κυκλικά. Στην περίπτωση γραμμικού προγραμματισμού, όλες οι εντολές του προγράμματος περιέχονται μέσα στο OB1 και ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής μόλις φθάσει στο τέλος του OB1 ξαναπηγαίνει στην αρχή και ξαναεκτελεί τις εντολές. Αυτή είναι η κυκλική επεξεργασία στο γραμμικό προγραμματισμό. Στην περίπτωση δομημένου προγραμματισμού, η OB1 περιέχει μόνο εντολές κλήσης blocks. Μόλις κληθούν και εκτελεστούν όλα τα blocks και φθάσουμε στο τέλος του OB1 τότε η επεξεργασία ξαναρχίζει από την αρχή. Αυτή είναι η κυκλική επεξεργασία στο δομημένο προγραμματισμό.

Κάθε φορά που ξεκινά η επεξεργασία ενός προγράμματος, αρχίζει η παρακολούθηση του χρόνου κύκλου, δηλαδή του χρόνου που χρειάζεται για να εκτελεστούν μία φορά όλες οι εντολές. Μόλις τελειώσει ο 1^{ος} κύκλος, ο χρόνος μηδενίζεται και αρχίζει να μετράει από την αρχή με την έναρξη του νέου κύκλου. Υπάρχει ένα όριο για το χρόνο κύκλου, το οποίο είναι περίπου 300ms. Εάν ο κύκλος του προγράμματος ξεπεράσει το χρόνο αυτό, ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής πηγαίνει αυτόματα σε κατάσταση “STOP”. Στην περίπτωση όμως που το πρόγραμμα είναι πολύπλοκο και χρειάζεται χρόνο επεξεργασίας μεγαλύτερο από 300ms, μπορούμε να προγραμματίσουμε το OB31 ώστε να μηδενίζουμε το μετρητή χρόνου. Άλλες περιπτώσεις όπου ο χρόνος κύκλου είναι εκτός ορίου, είναι όταν έχουμε ατελείωτες επαναλήψεις (endless loops) στο πρόγραμμα ή όταν υπάρχει βλάβη στον προγραμματιζόμενο ελεγκτή.

Γενικά ο γραμμικός προγραμματισμός είναι αποτελεσματικός μόνο για απλά προγράμματα με μικρές απαιτήσεις μνήμης. Πολύπλοκες διαδικασίες αυτοματισμού ελέγχονται ευκολότερα με υποδιαίρεσή τους σε μικρότερες διεργασίες και ανάπτυξη δομημένων προγραμμάτων.

Βασικές αρχές σχεδίασης προγράμματος

Στη CPU, εκτελούνται συνεχώς δύο διαφορετικά προγράμματα:

- Το λειτουργικό σύστημα (Operating System)
- Το πρόγραμμα εφαρμογής (Application Program)

Λειτουργικό σύστημα

Κάθε CPU έχει ένα λειτουργικό σύστημα, το οποίο οργανώνει όλες τις λειτουργίες και τις ακολουθίες (sequences) στη CPU, οι οποίες δε συσχετίζονται με μία συγκεκριμένη διαδικασία ελέγχου. Οι εργασίες του λειτουργικού συστήματος περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Θερμή επανεκκίνηση
- Ενημέρωση του πίνακα εισόδων (PII) και «έξοδος» του πίνακα εξόδων (QII)
- Κλήση του προγράμματος εφαρμογής
- Ανίχνευση διακοπών και κλήση των αντίστοιχων OBs

- Ανίχνευση και διαχείριση σφαλμάτων
- Διαχείριση της περιοχής μνήμης
- Επικοινωνία με συσκευές προγραμματισμού

Πρόγραμμα εφαρμογής

Ο χρήστης κατασκευάζει το πρόγραμμα εφαρμογής και το «κατεβάζει» (download) στη CPU. Οι εργασίες του προγράμματος εφαρμογής περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Προσδιορισμός συνθηκών θερμής επανεκκίνησης
- Επεξεργασία δεδομένων εισόδου και έξοδο καταλλήλων τιμών
- Προσδιορισμό αντιδράσεων σε διακοπές ή διαταραχές

Η γλώσσα STEP7 επιτρέπει στο χρήστη τη δόμηση του προγράμματος σε επιμέρους αυτόνομα τμήματα. Αυτό έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Ευκολότερη κατανόηση μεγάλων προγραμμάτων
- Τυποποίηση επαναλαμβανόμενων διαδικασιών
- Απλούστευση οργάνωσης του προγράμματος
- Ευκολία τροποποίησης και διόρθωσης του προγράμματος καθώς μπορούμε να ελέγχουμε τα τμήματα του προγράμματος ξεχωριστά

Τα τμήματα επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικού συστήματος και προγράμματος εφαρμογής καλούνται Οργανωτικά Τμήματα. Καλούνται από το λειτουργικό σύστημα και ελέγχουν την κυκλική και την καθοδηγούμενη από διακοπές (Interrupt driven) εκτέλεση του προγράμματος αλλά και τον τρόπο εκκίνησης του PLC. Προγραμματίζοντας τα OBs προσδιορίζουμε την ανταπόκριση της CPU. Υπάρχουν διάφοροι τύποι blocks σε ένα πρόγραμμα εφαρμογής STEP7.

Τα Organization Blocks (OBs, FBs, SFBs, FCs, SFCs) περιέχουν τμήματα του προγράμματος και είναι γνωστά ως «λογικά τμήματα» (blocks). Ο επιτρεπόμενος αριθμός blocks ανά τύπο block και το επιτρεπόμενο μέγεθος κάθε block εξαρτώνται από τον τύπο της CPU. Τα OBs καθορίζουν τη σειρά με την οποία εκτελούνται τα επιμέρους τμήματα του προγράμματος. Η εκτέλεση ενός OB μπορεί να διακοπεί καλώντας ένα διαφορετικό OB. Το πιο OB επιτρέπεται να διακόψει κάποιο άλλο OB εξαρτάται από την προτεραιότητά του. Μεγαλύτερης προτεραιότητας OB μπορούν να διακόψουν μικρότερης προτεραιότητας OB.

Τα συμβάντα τα οποία οδηγούν στο να κληθεί ένα OB ονομάζονται διακοπές (interrupts). Η προτεραιότητα των OBs είναι συνήθως προκαθορισμένη. Μπορεί να έχουμε την ίδια προτεραιότητα σε διάφορα OBs. Εάν κάποια OBs έχουν την ίδια προτεραιότητα, η σειρά επεξεργασίας τους γίνεται σύμφωνα με τα συμβάντα εκκίνησής τους. Όταν δημιουργούμε λογικά blocks (OBs, FBs, FCs), μπορούμε να δηλώσουμε προσωρινά τοπικά δεδομένα.

Υπάρχουν δύο τρόποι επεξεργασίας ενός προγράμματος:

Κυκλική επεξεργασία προγράμματος

Η κυκλική επεξεργασία του προγράμματος είναι ο κανονικός τρόπος εκτέλεσης σε έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή, και σημαίνει ότι το λειτουργικό σύστημα «τρέχει» σε έναν κύκλο (loop) και καλεί το οργανωτικό τμήμα OB1 μία φορά σε κάθε κύκλο του κυρίου προγράμματος.

Επεξεργασία καθοδηγούμενη από συμβάντα

Η κυκλική επεξεργασία του προγράμματος μπορεί να διακοπεί από διάφορα συμβάντα (διακοπές). Εάν συμβεί μια τέτοια διακοπή, το block το οποίο εκτελείται διακόπτεται, και καλείται ένα διαφορετικό block, που αντιστοιχεί σ' αυτή την ειδική διακοπή. Μόλις το OB εκτελεστεί, το κυκλικό πρόγραμμα επανέρχεται στο σημείο απ' όπου διακόπηκε. Κατ' αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα εφαρμογής μπορεί να διαιρεθεί σε υπορουτίνες και να κατανεμηθεί μεταξύ διαφορετικών OBs. Εάν το πρόγραμμα, για παράδειγμα, πρόκειται να αντιδράσει σε ένα σημαντικό σήμα που συμβαίνει σπάνια, η υπορουτίνα που συσχετίζεται μ' αυτό μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα OB καθοδηγούμενο από το αντίστοιχο συμβάν.

Γλώσσα προγραμματισμού

Τα PLC από μόνα τους είναι ουδέτερες συσκευές αφού δεν είναι από πριν κατασκευασμένες για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Κάθε φορά, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης προγραμματίζονται να κάνουν τη μεν ή τη δε ενέργεια. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι προγραμματισμού που ποικίλουν ακριβώς γιατί ποικίλουν και τα επίπεδα γνώσης και εμπειριών του κάθε προγραμματιστή. Οι ουσιαστικές διαφορές είναι στο τι βλέπουμε στην οθόνη του υπολογιστή μας, αφού το τελικό αποτέλεσμα είναι πάντα ένα και το αυτό - η γλώσσα μηχανής MC7 (Machine Code 7) που καταλαβαίνει το PLC. Οι διάφορες γλώσσες μετατρέπονται σε γλώσσα μηχανής κατά τη μεταφορά του προγράμματος από τη συσκευή προγραμματισμού στο PLC.

Υπάρχουν τρεις τυποποιημένες μορφές προγραμματισμού που έχουν επικρατήσει διεθνώς:

- Λίστα εντολών (STL - Statement List)
- Σχέδιο επαφών (LAD - Ladder Diagram) και
- Διάγραμμα λογικών πυλών (FBD - Function Block Diagram)

Η **STL** είναι γλώσσα προγραμματισμού με μορφή κειμένου. Η σύνταξη των εντολών είναι παραπλήσια με αυτή του κώδικα μηχανής (Machine Code), όπου οι εντολές και οι λειτουργίες ακολουθούνται από διευθύνσεις. Η γλώσσα αυτή είναι αυτή που ενδείκνυται αν θέλουμε να έχουμε βέλτιστη χρήση της μνήμης και εκτέλεση του προγράμματος.

Η **LAD** είναι γλώσσα προγραμματισμού με γραφικά στο STEP7. Η σύνταξη των εντολών μοιάζει με το διάγραμμα κυκλώματος κλασσικού αυτοματισμού και

επιτρέπει να παρακολουθούμε εύκολα τη ροή του σήματος από τις επαφές και τα πηνία.

Η **FBD** είναι κι αυτή γλώσσα προγραμματισμού με γραφικά. Οι εντολές εδώ αναπαρίστανται με λογικά blocks, παρόμοια με αυτά που συναντάμε στην άλγεβρα Boole. Κι εδώ όπως και στα διαγράμματα στην ψηφιακή τεχνολογία μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη ροή του σήματος ανάμεσα στα «κουτιά».

Και οι τρεις αυτές μορφές υπάρχουν ενσωματωμένες στο πακέτο προγραμματισμού Step7. Η επιλογή τους είναι ελεύθερη και μπορεί να γίνει οποιοσδήποτε συνδυασμός στα όρια ενός project - κάποια FC να είναι δημιουργημένα σε LAD, άλλα σε FBD κλπ. Υπάρχει η δυνατότητα να μετατρέπουμε ένα block από μια μορφή απεικόνισης σε μια άλλη. Αυτό είναι πάντα δυνατό από LAD ή FBD σε STL ενώ δεν ισχύει πάντοτε το αντίθετο, αφού στη λίστα εντολών μπορούν να προγραμματισθούν πράγματα που είναι αδύνατο να απεικονισθούν σε γραφική μορφή.

2.6 STEP7 - ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ PLCs ΤΗΣ SIEMENS.

Η STEP7 είναι το επίσημο πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιείται για την παραμετροποίηση και τον προγραμματισμό των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών της σειράς SIMATIC της SIEMENS. Αποτελεί μέρος του ευρύτερου προϊόντος SIMATIC και υπάρχει στο εμπόριο σε διάφορες εκδόσεις. Όλες οι εκδόσεις υποστηρίζουν όλους τους συμβατούς IBM/AT ηλεκτρονικούς υπολογιστές και απαιτούν λειτουργικό σύστημα Windows 95/98 ή Windows NT/XP. Το περιβάλλον της STEP7 ταιριάζει απόλυτα με το λειτουργικό και είναι καθαρά παραθυρικό. Το τυπικό πακέτο λογισμικού παρέχει στον χρήστη υποστήριξη σε όλες τις φάσεις δημιουργίας μιας αυτοματοποιημένης διεργασίας. Οι εφαρμογές που περιέχει, προσφέρουν στον χρήστη τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Δημιουργία και διαχείριση έργων (projects).
- Παραμετροποίηση και αντιστοίχιση παραμέτρων στο υλικό.
- Παραμετροποίηση και δημιουργία διαύλων επικοινωνίας.
- Διαχείριση συμβόλων.
- Δημιουργία προγράμματος για τους Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές.
- Φόρτωση (download) του προγράμματος στους ελεγκτές.
- Δοκιμή του συστήματος αυτοματισμού.
- Διάγνωση λαθών.

Οι δυνατότητες αυτές παρέχονται από ξεχωριστά εργαλεία, που συνθέτουν το πακέτο λογισμικού STEP7. Το κάθε εργαλείο παρουσιάζεται σε αυτοτελές παράθυρο με ορισμένες δυνατότητες. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τα εργαλεία αυτά σημειώνοντας κάποιες βασικές λειτουργίες τους και επισημαίνοντας την χρησιμότητά τους.

SIMATIC Manager

Το SIMATIC Manager είναι η εφαρμογή διαχείρισης όλων των δεδομένων που μπορεί να περιέχει ένα έργο αυτοματισμού ανεξαρτήτως ποιος Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής χρησιμοποιείται. Τα απαραίτητα εργαλεία επεξεργασίας των δεδομένων αυτών είναι διαθέσιμα στο χρήστη.

Symbol Editor

Το Symbol Editor διαχειρίζεται όλα τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα. Με συμβολικά ονόματα μπορούμε να θεωρούμε δεδομένα εισόδου/εξόδου, έτοιμες συναρτήσεις, μεταβλητές κ.α. Το πρόγραμμα αυτοματισμού για ένα PLC μπορεί να γραφεί είτε με απόλυτες διευθύνσεις, είτε με συμβολικά ονόματα. Οι διαθέσιμες λειτουργίες είναι οι ακόλουθες:

- Ορισμός συμβολικών ονομάτων και σχολίων για σήματα εισόδου / εξόδου, στοιχεία μνήμης και συναρτήσεις.
- Ταξινόμηση συμβολικών ονομάτων που αφορούν είτε απλές μεταβλητές I/O, είτε συναρτήσεις (υπορουτίνες).
- Εισαγωγή από ή εξαγωγή προς άλλες εφαρμογές των Windows.

Ο πίνακας συμβόλων που δημιουργείται με το Symbol Editor είναι διαθέσιμος και σε κάθε άλλο εργαλείο. Κάθε αλλαγή στις ιδιότητες ενός συμβόλου, όποτε και αν γίνει, αναγνωρίζεται αυτόματα απ' όλα τα άλλα εργαλεία.

Diagnosing Hardware

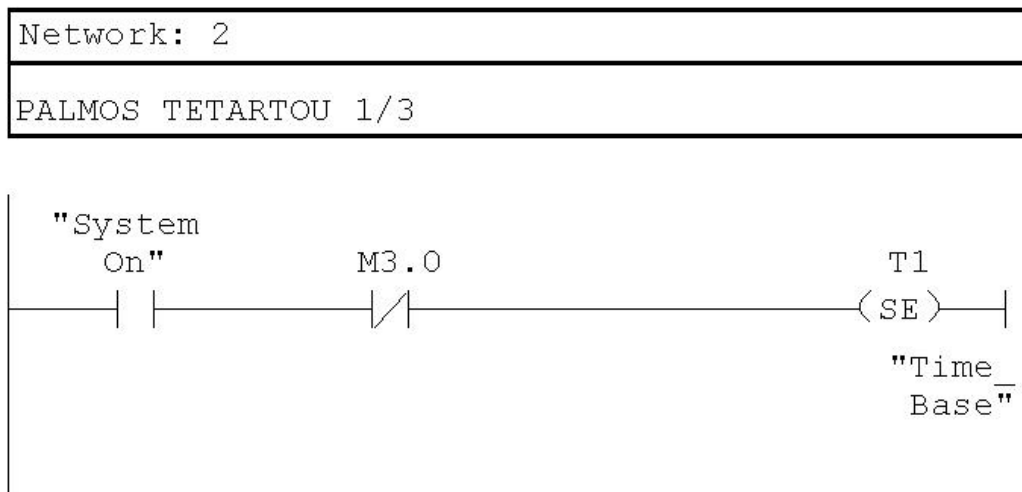
Οι συναρτήσεις διάγνωσης υλικού δίνουν στον χρήστη μια γενική εικόνα της κατάστασης του Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή. Υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης ενδεικτικών συμβόλων που να υποδηλώνουν τότε μια μονάδα έχει σφάλμα και τότε όχι. Με διπλό "κλικ" στη μονάδα αυτή παρέχεται αναλυτική πληροφόρηση του σφάλματος. Οι πληροφορίες που δίνονται εξαρτώνται από την εκάστοτε μονάδα.

- Παρουσίαση γενικών πληροφοριών για την μονάδα (π.χ. σειριακός αριθμός, έκδοση, όνομα) και για την κατάσταση αυτής (π.χ. σφάλμα).
- Απεικόνιση των σφαλμάτων σε κάθε μονάδα.
- Προβολή μηνυμάτων διάγνωσης. Ειδικότερα για τις μονάδες επεξεργασίας οι συνήθεις πληροφορίες που παρουσιάζονται είναι οι ακόλουθες:
 - Αιτίες σφαλμάτων κατά την επεξεργασία ενός προγράμματος του χρήστη.
 - Μέτρηση της χρονικής διάρκειας του κύκλου σάρωσης του PLC (μεγαλύτερος, μικρότερος και τελευταίος κύκλος μηχανής).
 - Δυνατότητες επικοινωνίας.
 - Απεικόνιση δεδομένων (μέγιστος αριθμός εισόδων / εξόδων, διαθέσιμη μνήμη, απαριθμητές, χρονιστές, συναρτήσεις).

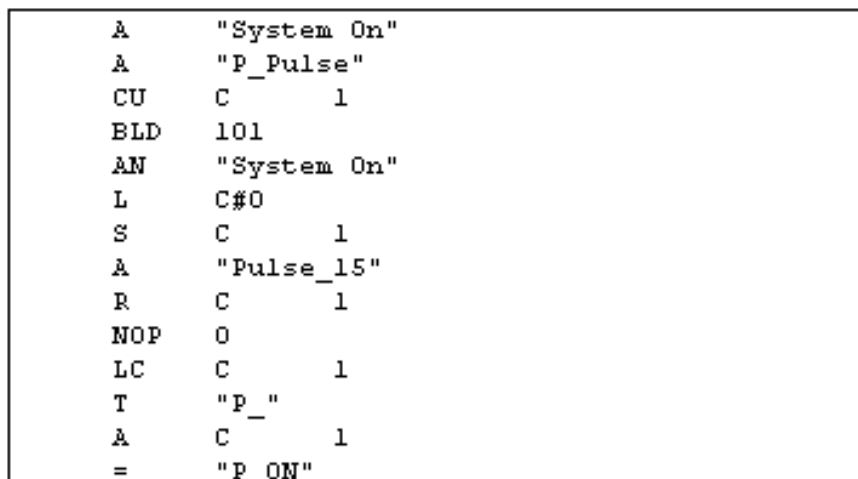
Programming Languages

Υποστηρίζονται όλες οι γλώσσες προγραμματισμού (Ladder Logic, Statement List και Function Block Diagram) για τον προγραμματισμό των S7-300 και S7-400.

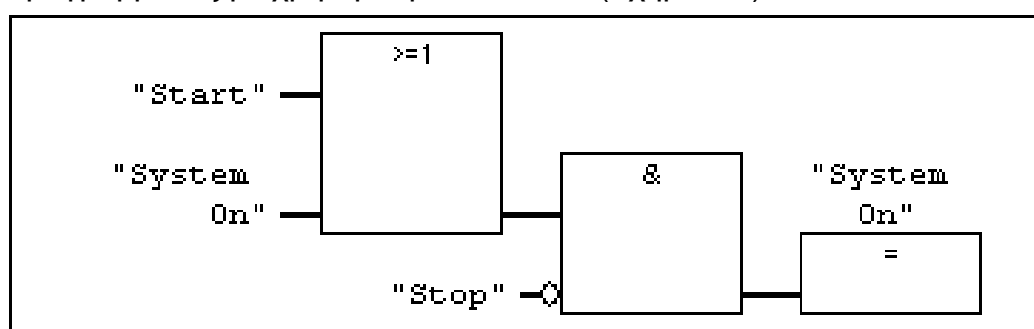
➤ Ladder Logic (ή LAD) είναι η γραφική απεικόνιση της γλώσσας προγραμματισμού STEP7. Η σύνταξή της είναι παρόμοια με τα παραδοσιακά κυκλώματα αυτοματισμού με γραφικά σύμβολα για όλα τα στοιχεία, ρελέ, διακόπτες, αισθητήρες κ.τ.λ. (Σχήμα 2.6)



➤ Statement List (ή STL) είναι η απεικόνιση του προγράμματος με εντολές παρόμοιες με αυτές του κώδικα μηχανής. (Σχήμα 2.7)



➤ Function Block Diagram (ή FBD) είναι η γραφική απεικόνιση του προγράμματος με χρήση λογικών πυλών. (Σχήμα 2.8)



Hardware Configuration

Η χρησιμότητα του εργαλείου αυτού έγκειται στην παραμετροποίηση και αντιστοίχιση παραμέτρων του υλικού σε ένα έργο αυτοματισμού. Οι παρακάτω εργασίες είναι διαθέσιμες στον χρήστη.

- Για τον ορισμό του υλικού του Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή επιλέγουμε τα στοιχεία από ένα διαθέσιμο κατάλογο υλικού.
- Υπάρχει η δυνατότητα αντιστοίχισης παραμέτρων σε κάποια μονάδα. Για παράδειγμα παράμετροι επικοινωνίας για κάποιον επικοινωνιακό επεξεργαστή.

NetPro (Network Configuration)

Στην εφαρμογή NetPro γίνεται η παραμετροποίηση κάθε δυνατής επικοινωνίας μεταξύ Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών.

Επεκτάσεις

Εκτός από τις εφαρμογές που ήδη αναφέραμε, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης προαιρετικών πακέτων επέκτασης, που παρέχουν στο χρήστη περαιτέρω διευκολύνσεις. Για παράδειγμα μπορούν να εγκατασταθούν γλώσσες προγραμματισμού υψηλότερου επιπέδου και τεχνολογικά προσανατολισμένα λογισμικά. Επίσης, υπάρχουν προγράμματα λογισμικού για την χρησιμοποίηση ειδικών τεχνικών ελέγχου, όπως για παράδειγμα το FuzzyControl++, για την υλοποίηση ασαφών ελεγκτών ή το NeuroFuzzy για την υλοποίηση νευροασαφών ελεγκτών. Τέλος υπάρχουν εξειδικευμένες διεπαφές ανθρώπου και μηχανής.

2.7 Το PLC της εφαρμογής μας

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έγινε χρήση του προγραμματιζόμενου ελεγκτή S7-300 της Siemens. Χρησιμοποιήθηκε τροφοδοτικό τύπου PS 307 2A, κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) τύπου 312C με ενσωματωμένη κάρτα 10 ψηφιακών εισόδων και 6 ψηφιακών εξόδων και μία αναλογική κάρτα 8 εισόδων για την ανάγνωση του σήματος από το αναλογικό αισθητήριο στάθμης. Επίσης για τον προγραμματισμό του PLC έγινε χρήση του πακέτου λογισμικού Simatic Manager έκδοση 5.4 όπως απαιτείται από το λογισμικό WinCC flexible 2007.



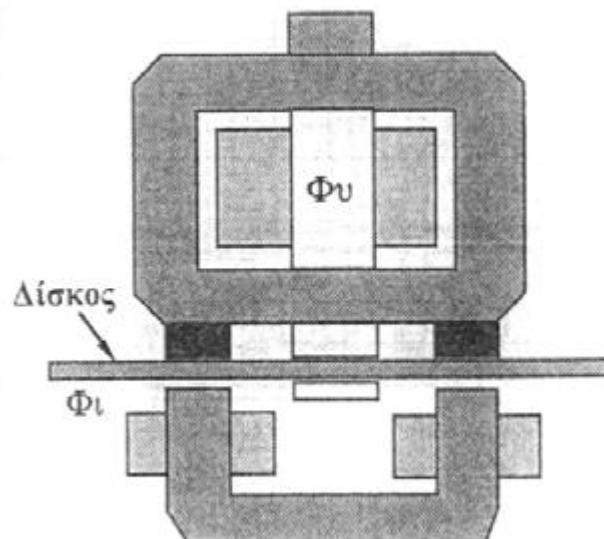
3. Αναλυτής Ενέργειας

3.1 Γενικά

Είναι η πολύπλοκη σε λογική ηλεκτρονική συσκευή που μας δίνει με μεγάλη ακρίβεια την κατανάλωση ενέργειας ανά πάσα στιγμή παίρνοντας σαν είσοδο την τάση και το ρεύμα στην είσοδο της εγκατάστασης. Μας δίνει όμως και επιπλέον πληροφορίες όπως είναι το συνημίτονο, η συνολική άεργος αλλά και η μέγιστη κατανάλωση ενεργού ισχύος, και γενικά σχεδόν όλα τα δεδομένα που μας είναι απαραίτητα για την τιμολόγηση.

Πρόγονος του αναλυτή ενέργειας είναι το γνωστό μας ενεργόμετρο που βρίσκεται ακόμα και σήμερα έξω σχεδόν από κάθε σπίτι. Το πρώτο ενεργόμετρο ή αλλιώς «ρολόι» κατασκευάστηκε από τον άγγλο μηχανικό και εφευρέτη Elihu Thomson το 1888 κι λειτουργία του βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Οι συσκευές αυτές πετύχαιναν με πολύ μικρές απώλειες (περίπου στα 2Watt έχει ένα τυπικό ενεργόμετρο) να μετρούν με ικανοποιητική ακρίβεια την κατανάλωση μιας εγκατάστασης.

Οι επαγωγικοί αυτοί μετρητές αποτελούνται από δυο σταθερούς ηλεκτρομαγνήτες, τον αμπερομετρικό και τον βολτομετρικό, που επενεργούν πάνω σε ένα δίσκο από αλουμίνιο. Ο αμπερομετρικός ηλεκτρομαγνήτης δημιουργεί μία ροή Φ_i ανάλογη προς την ένταση που απορροφά ο καταναλωτής, ενώ ο βολτομετρικός ηλεκτρομαγνήτης δημιουργεί μία ροή Φ_u ανάλογη προς την τάση που εφαρμόζουμε στον καταναλωτή. Λόγω κατασκευής οι δυο μαγνητικές ροές Φ_i και Φ_u βρίσκονται σε φασική απόκλιση μεταξύ τους και δημιουργούν συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 3.1 Σχηματική απεικόνιση αναλογικού μετρητή ενέργειας

Φ_u = μαγνητική ροή συστήματος τάσης.

Φ_i = μαγνητική ροή συστήματος έντασης.

Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες αναπτύσσονται δινορρεύματα στο δίσκο, πάνω στα οποία ασκούνται δυνάμεις Laplace με αποτέλεσμα να έχουμε περιστροφή. Στο δίσκο του οργάνου ασκείται μία μικρή ροπή και όταν δεν έχουμε συνδεδεμένη κατανάλωση στο όργανο. Για να αποφύγουμε τη μικρή ροπή στρέψης που αναπτύσσεται σ' αυτή την περίπτωση, τοποθετούμε στο όργανο ένα μικρό μόνιμο μαγνήτη και ένα μικρό σιδερένιο κομμάτι στον άξονα.

Όταν στο μετρητή συνδέσουμε έναν άεργο καταναλωτή, ο δίσκος δεν θα περιστραφεί. Η κινούσα ροπή M_k που αναπτύσσεται στο όργανο είναι ανάλογη της τάσης U , του ρεύματος I , του συνημίτονου της γωνίας φ και μιας σταθεράς c , δηλαδή:

$M_k = CUI \sin \varphi$ (C = στροφές που παίρνει ο δίσκος, για να έχουμε μία Kwh).

Με βάση τα παραπάνω ο δίσκος μετράει την πραγματική ισχύ που απορροφά, ο καταναλωτής, επί το χρόνο που αυτός είναι συνδεδεμένος στο κύκλωμα. Επομένως ο μετρητής μετράει την ενέργεια που καταναλώνεται από ένα μονοφασικό καταναλωτή. Όταν ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας είναι τριφασικός, χρησιμοποιούνται τρεις αμπερομετρικοί και τρεις βολτομετρικοί ηλεκτρομαγνήτες κατάλληλα συνδεδεμένοι, για να μπορεί ο μετρητής να μετράει ενέργεια που καταναλώθηκε από τριφασικό ή μονοφασικό φορτίο.

3.2 MPR53

Η λειτουργία που ήταν απαραίτητο να έχει ο αναλυτής ενέργειας που θα χρησιμοποιούσαμε για την εφαρμογή αυτή ήταν οι παλμοί ενεργού και άεργου ενέργειας. Για κάθε ένα κλάσμα ενέργειας που καταναλώθηκε δηλαδή να παράγεται σαν έξοδος ένας παλμός. Αυτό που δεν μας δείχνει από μόνο του όμως ένα τέτοιο μηχάνημα είναι η κατανάλωση σε σχέση με το χρόνο. Στοιχείο που θα μας βοηθήσει να μειώσουμε τις μηνιαίες οφειλές μας προς τους προμηθευτές μας και σκοπός της διπλωματικής αυτής. Θα ήταν λοιπόν περιττή η επεξήγηση σε βάθος του τρόπου λειτουργίας ενός «Αναλυτή Ενέργειας» αφού αυτό που ενδιαφέρει είναι το πώς τον χρησιμοποιήσαμε εμείς για να φτάσουμε στο σκοπό μας.

Το μοντέλο αναλυτή που χρησιμοποιήθηκε είναι το MPR53 της εταιρίας ENTES που εδρεύει στην Τουρκία. Το MPR53 σχεδιάστηκε για να μετράει όλα τα ηλεκτρικά μεγέθη ενός δικτύου. Τα μετρούμενα μεγέθη γίνονται εμφανή σε 5 ξεχωριστές οθόνες. Αυτό μας επιτρέπει να παρακολουθούμε περισσότερες από 50 παραμέτρους ταυτόχρονα. Οι σχέσεις μετασχηματισμού τόσο της τάσης όσο και του ρεύματος είναι ρυθμιζόμενες. Καταγράφονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές της φασικής τάσης, του φασικού ρεύματος και του συνολικού ρεύματος και οι στιγμιαίες τιμές του φασικού ρεύματος του συνολικού ρεύματος και της ενεργού, άεργου και της φαινομένης ισχύος.

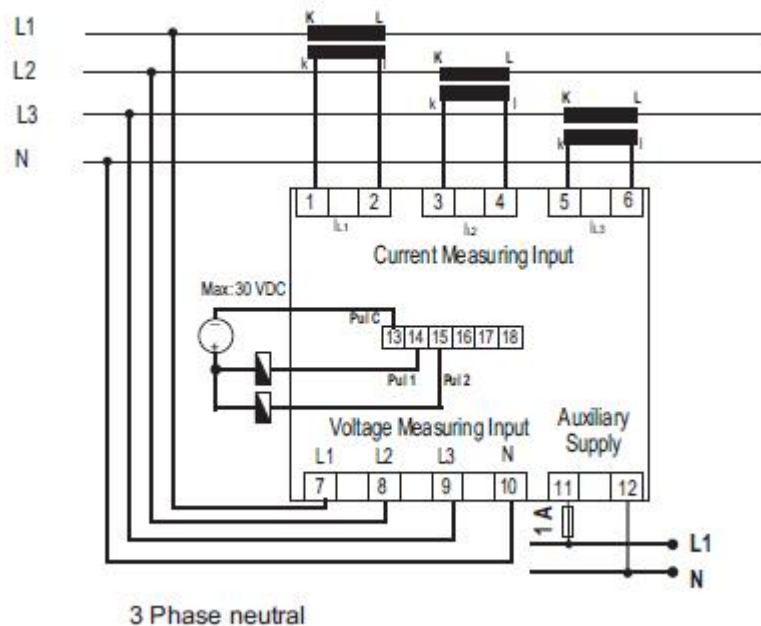
3.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά (Πίνακας 2)

Τάση Λειτουργίας (Un)	: 230V 50/60Hz
Συχνότητα Λειτουργίας (f)	: 50/60Hz
Κατανάλωση βοηθητικής τάσης	: <4VA
Κατανάλωση μετρούμενης τάσης	: <1VA
Τάση εισόδου (Uin)	: 10-300VAC 50-60Hz (L-N)
	: 10-500VAC 50/60Hz (L-L)
Ρεύμα εισόδου (Iin)	: 0.05-5.5A ~
Όρια μετρήσεων	: 10V... 200kV AC
	: 0 ... 200M (W, Var, VA)
	: 999999999.999 kWh, kVarh
Κλάση ακριβείας οργάνου	: 1±1ψηφίο [(%10-%110)×Πλήρη κλίμακα]
Αναλογία Μετασχηματιστή Τάσεως	: 1 ... 2000
Αναλογία Μετασχηματιστή Ρεύματος	: 1 ... 2000
Παλμοί εξόδου	: NPN τρανζίστορ
Περίοδος Παλμού	: Min 1.6 sec (400 msec πλάτος παλμού)
Ρεύμα λειτουργίας	: Max. 50mA
Τάση λειτουργίας	: 5 ... 24V DC, Max. 30V DC
Θερμοκρασία λειτουργίας	: -5°C ... +50°C
Οθόνη	: Κόκκινου led
Δείκτης προστασίας	: IP40
Υλικό περιβλήματος	: Άφλεκτο
Τοποθέτηση	: Πόρτα
Βάρος	: 0.45kg

3.4 Δυνατές συνδεσμολογίες

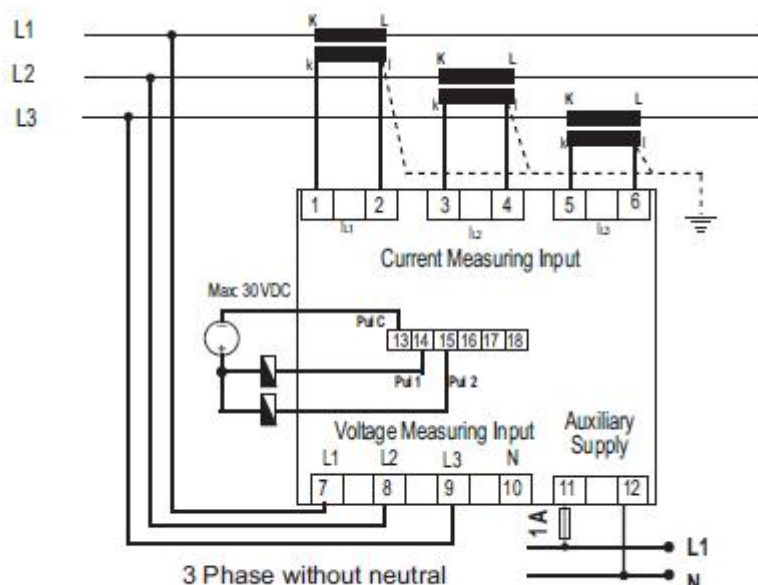
Είναι πολύ σημαντική η σωστή συνδεσμολογία για οποιοδήποτε πείραμα ή εργαστηριακή μέτρηση για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος, την ακεραιότητα των οργάνων αλλά κυρίως για την ίδια την ασφάλεια των ερευνητών και λοιπών παρευρισκομένων στον ίδιο χώρο.

Οι δυνατές συνδεσμολογίες για τριφασικό φορτίο, που αφορούν στο κομμάτι του αναλυτή είναι τρεις.



Σχήμα 3.2 Συνδεσμολογία με ουδέτερο

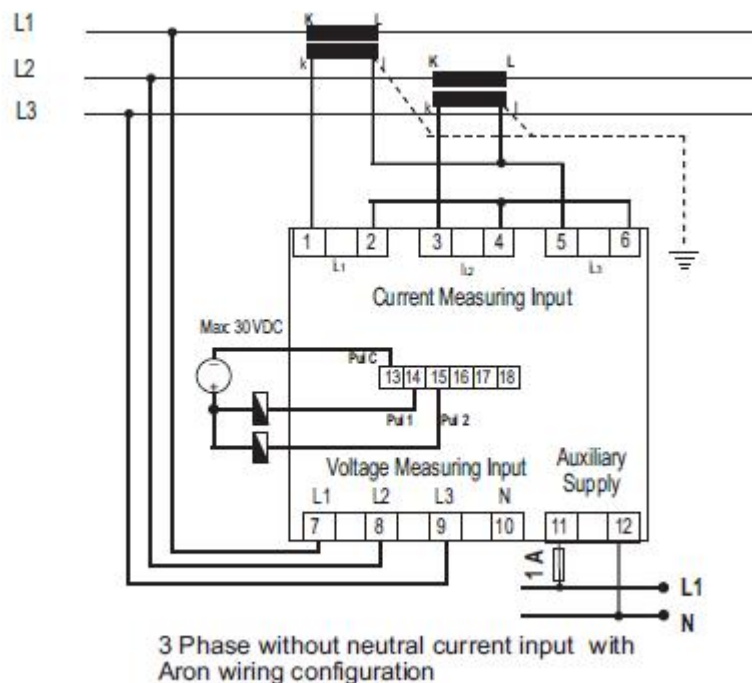
Πιο συχνά συναντάμε την συνδεσμολογία με ουδέτερο, μιας και σε όλες τις εγκαταστάσεις χαμηλής τάσεως έχουμε και ουδέτερο, αφού συνήθως τα φορτία δεν καταμερίζονται ομοιόμορφα στις τρεις φάσεις. Το ρεύμα του ουδετέρου δε μετρείται άμεσα αλλά προκύπτει έμμεσα από τη συνιστώσα των ρευμάτων των τριών φάσεων. Είναι η πιο απλή και εύχρηστη από τις τρεις δυνατές συνδεσμολογίες.



Σχήμα 3.3 Συνδεσμολογία χωρίς ουδέτερο

Δεύτερον έχουμε τη συνδεσμολογία χωρίς ουδέτερο. Αυτή χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε φορτία μέσης τάσης όπου δεν συναντάμε ουδέτερο (Οι τάσεις και

τα ρεύματα εισόδου έχουν προκύψει από μετασχηματιστές). Εδώ πρέπει να προσέξουμε ότι τα δευτερεύοντα των μετασχηματιστών ρεύματος πρέπει να γειωθούν. Αυτό συμβαίνει γιατί λείπει ο κόμβος αναφοράς (δηλαδή ο ουδέτερος) και επιβάλλει την ύπαρξη γείωσης.



Σχήμα 3.4 Συνδεσμολογία Aron

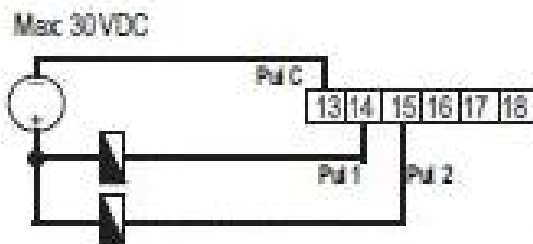
Τέλος συναντάμε τη συνδεσμολογία Aron η οποία είναι μεν πιο πολύπλοκη αλλά μας εξοικονομεί ένα μετασχηματιστή ρεύματος χωρίς να κάνει συμβιβασμούς στην ακρίβεια των μετρήσεων. Η μέτρηση του ρεύματος της τρίτης φάσης προκύπτει από το αρνητικό άθροισμα των άλλων δύο φάσεων, αφού όπως είναι γνωστό σε ένα τριφασικό συμμετρικό φορτίο το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων είναι μηδέν (όπως επίσης και το ρεύμα ουδέτερου). Αυτό βέβαια μας περιορίζει κάπως αφού μπορούμε να εφαρμόσουμε τη συνδεσμολογία αυτή μόνο σε μεγάλους καταναλωτές (καταναλωτές μέσης τάσης) και κάνει απαραίτητη την ύπαρξη γείωσης.

Έχει προβλεφθεί βέβαια και η σύνδεση σε μονοφασικό φορτίο το οποίο όμως δεν παρουσιάζει καμιά δυσκολία στη σύνδεση και είναι περιττό να αναλυθεί. Πρέπει να σημειωθεί όμως εδώ ότι για τη σωστή μέτρηση του μονοφασικού φορτίου πρέπει να γεφυρώσουμε τις τρεις φάσεις στην είσοδο της τάσης του αναλυτή. Εάν δεν κάνουμε αυτή την ενέργεια ο αναλυτής θεωρεί ότι η τάση εισόδου είναι ίση με το ένα τρίτο της πραγματικής.

3.5 Ασφάλεια οργάνου και αποφυγή λαθών

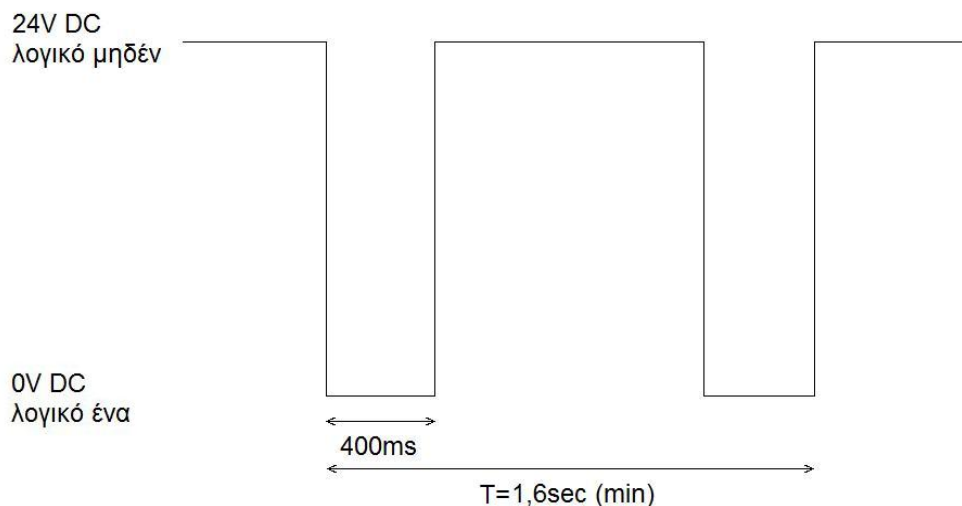
Υπάρχουν κάποιες λεπτομέρειες που πρέπει να ξεκαθαριστούν και που μπορούν να μας οδηγήσουν σε λανθασμένες μετρήσεις ή και καταστροφή του οργάνου

αν δεν ληφθούν υπ' όψιν. Κατ' αρχήν η βοηθητική τάση ή τάση τροφοδοσίας της συσκευής πρέπει να προέρχεται από την φάση L1 (ή αλλιώς R) και να είναι ασφαλισμένη με ασφάλεια ενός Ampere σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η τάση τροφοδοσίας του κυκλώματος δημιουργίας των παλμών εξόδου πρέπει να μην ξεπερνάει τα 30 Volt συνεχούς τάσης και να μπορεί να δώσει τουλάχιστον 50mA σαν έξοδο. Επίσης η είσοδοι τάσης δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνούν τα 500V AC και οι εισοδοι ρεύματος τα 5,5A AC.



Σχήμα 3.5 Κύκλωμα παλμών εξόδου του αναλυτή

Όπως φαίνεται κι από το παραπάνω σχήμα ο κοινός κόμβος των επαφών στις οποίες μεταφέρονται οι παλμοί ενέργειας είναι ο θετικός. Δηλαδή το σήμα που παίρνουμε από τα Pul1 και Pul2 έχει σαν λογικό 1 την μηδενική τάση και σαν λογικό μηδέν τα 24 Volt DC. Είναι δηλαδή της μορφής:



Σχήμα 3.6 Παλμοί εξόδου σε συνάρτηση με το χρόνο

Στις επαφές του PLC μας όμως έχουμε κοινό κόμβο τον αρνητικό και η σύνδεση είναι εσωτερική και αδύνατον να αλλάξει. Έτσι υποχρεωθήκαμε να προσθέσουμε δύο ρελέ τα οποία στην είσοδο θα έχουν κοινό κόμβο το θετικό ενώ στην έξοδο τον αρνητικό. Πιο αναλυτικά θα δούμε τη συνδεσμολογία στο κεφάλαιο 8. Τα δύο αυτά ρελέ είναι της εταιρίας SANYOU και πιο συγκεκριμένα ο τύπος τους είναι ο DSY2Y-S-224L. Τα χαρακτηριστικά τους θα αναλυθούν παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι χάριν ευκολίας και στα δύο κυκλώματα (pul1, pul2) χρησιμοποιήθηκε η ίδια πηγή τάσεως όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5, αυτή του PLC (24V DC).



Σχήμα 3.7 Ο αναλυτής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε.

4. Ηλεκτρομηχανικό ρελέ

Τα δύο ρελέ της εφαρμογής μας όπως είπαμε και πιο πάνω είναι τα DSY2Y-S-224L της εταιρίας SANYOU. Είναι ρελέ κλειστού τύπου και ο μηχανισμός τους είναι ηλεκτρομηχανικός. Έχουν δύο μεταγωγικές επαφές (CO δηλαδή Change Over) και αντίσταση εισόδου 2,88KΩ στα 24V. Δηλαδή, σύμφωνα πάντα με τον κατασκευαστή, σε κατάσταση λειτουργίας τα διαπερνά ρεύμα περίπου 8,3mA, ποσότητα πολύ μικρότερη από το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαπεράσει τα NPN τρανζίστορ του αναλυτή ενέργειας ($I_{max}=50mA$ βλ. παράγραφο 3.3). Βλέπουμε δηλαδή ότι τηρούν τις προϋποθέσεις της εφαρμογής μας.

Αναλυτικά η επεξήγηση του κωδικού των ρελέ είναι η εξής:

- DSY2Y είναι ο κωδικός του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο προϊόν.
- Το S (Sealed) μας δείχνει ότι είναι κλειστού τύπου.
- Το πρώτο 2 δείχνει πως έχει δύο εξόδους ανά είσοδο (στην περίπτωση μας δύο εξόδους).
- Το 24 είναι τα Volt εισόδου στο πηνίο (το λογικό 1)
- Τέλος το L μας δείχνει την «ευαισθησία» του ρελέ και μεταφράζεται σε 20mW κατανάλωσης στην είσοδο.

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά συνοψίζονται στους παρακάτω δύο πίνακες:

1. Γενικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 3)

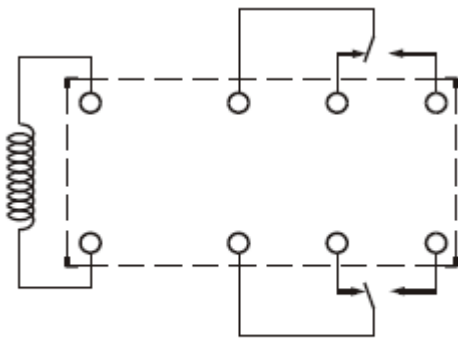
Χρόνος έναυσης	6msec. Max.	
Χρόνος παύσης	4msec. Max.	
Αντίσταση μόνωσης	1MΩ Min.	
Διηλεκτρική αντοχή	Ανάμεσα σε επαφές	750V AC για 1 λεπτό
	Επαφής - πηνίου	1000V AC για 1 λεπτό
Αντοχή στις δονήσεις	Λειτουργική	10-55Hz/1,5mm πλάτος
	Καταστροφική	10-55Hz/1,5mm πλάτος
Αντοχή στα χτυπήματα	Λειτουργική	20G Min.
	Καταστροφική	100G Min.
Λειτουργική αντοχή	Μηχανική	100,000,000
	Ηλεκτρική	100,000
Θερμοκρασία λειτουρ.	-40°C ~ +85°C	
Βάρος	4,6 gr (περίπου)	

2. Χαρακτηριστικά επαφής (Πίνακας 4)

Υλικό	Κράμα ασημιού (AgPd30+AuAg8)
Ονομαστικό φορτίο	1A/120VAC
Μέγιστη ένταση	2A
Μέγιστη τάση	125VAC
Μέγιστη ισχύς	120VA
Αντίσταση	100mΩ (1A/6VDC)

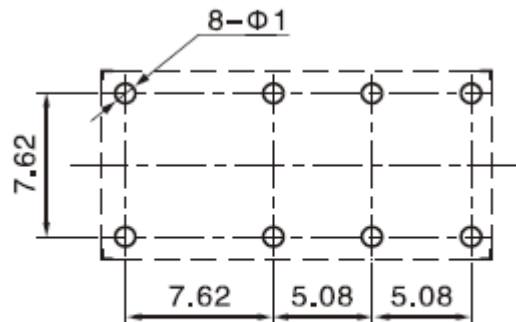
Τα ηλεκτρομηχανικά ρελέ μειονεκτούν σε σύγκριση με τα σταθερού τύπου ρελέ (solid-state relays) τα οποία δεν έχουν καθόλου κινητά μέρη. Είναι πολύ αργά σε απόκριση και έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής, αφού τα κινητά μέρη φθείρονται. Από την άλλη είναι πιο φθηνά και εύκολα εμπορεύσιμα, έτσι αν δεν το απαιτεί η εφαρμογή, είναι προτιμητέα από τα σταθερού τύπου.

Η μέγιστη συχνότητα εξόδου παλμών του αναλυτή ενέργειας MPR-53 είναι $f=1/T=1/1,6\text{sec}=0,625\text{Hz}$, έτσι λοιπόν δεν έχουμε πρόβλημα με την καθυστέρηση που εισάγει το ρελέ, που είναι της τάξης των 6ms. Αν είχαμε όμως έναν άλλο αναλυτή ενέργειας με μεγαλύτερη συχνότητα παλμών (της τάξης των 50Hz ή μεγαλύτερη) θα είχαμε πρόβλημα και θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε οπωσδήποτε ρελέ σταθερού τύπου που έχει σχεδόν μηδενικό χρόνο απόκρισης.



Wiring Diagram (bottom view)

Σχήμα 4.1 Κάτοψη ηλεκτρολογικού διαγράμματος



P.C.B. Layout (bottom view)

Σχήμα 4.2 Κάτοψη μηχανολογικού σχεδίου



Σχήμα 4.3 Το ρελέ της εφαρμογής μας.

5. Το φορτίο

5.1 Ο Αντιστάτης

Το φορτίο που χρησιμοποιήθηκε ήταν για να προσομοιώσει το φορτίο ενός καταναλωτή μέσης τάσης αφού το τελευταίο δεν ήταν προσβάσιμο σε μας. Αποτελείται από ένα τριφασικό ρυθμιζόμενο αντιστάτη και ένα τριφασικό ρυθμιζόμενο πηνίο. Η κύρια διαφορά των δύο αυτών φορτίων είναι ότι στη μεν αντίσταση μπορούμε να ρυθμίσουμε κάθε φάση ανεξάρτητα ενώ στο πηνίο υπάρχει μια κεντρική ρύθμιση και για τις τρεις φάσεις. Αυτό όμως δεν μας δημιουργεί κάποιο πρόβλημα αφού το φορτίο ενός καταναλωτή μέσης τάσης, και ιδιαίτερα μιας παραγωγικής μονάδας, μπορεί να θεωρηθεί συμμετρικό.

Η ρυθμιζόμενη αντίσταση έχει δύο αντιστάτες ανά φάση συνδεδεμένες παράλληλα.

Ο πάνω αντιστάτης παρουσιάζει την εξής αντίσταση ανά θέση:

0. Άπειρη / 1. $R=161\Omega$ / 2. $R=80\Omega$ / 3. $R=54\Omega$
4. $R=41\Omega$ / 5. $R=33\Omega$

Αντίστοιχα ο κάτω αντιστάτης έχει:

0. Άπειρη / 1. $R=820\Omega$ / 2. $R=410\Omega$ / 3. $R=273\Omega$
4. $R=205\Omega$ / 5. $R=164\Omega$

Βλέπουμε ότι με τους αντιστάτες συνδεδεμένους παράλληλα μπορούμε να πετύχουμε πολλές διαφορετικές τιμές αντίστασης. Για παράδειγμα με τον πάνω αντιστάτη στη θέση 1. και τον κάτω στη θέση 3. θα πάρουμε περίπου 100Ω αντίστασης, τιμή που δεν προκύπτει από κανένα από τους δύο αντιστάτες ξεχωριστά.

Κάθε φάση του αντιστάτη είναι ασφαλισμένη με 10A ασφάλεια αν κι εμείς χρησιμοποιούμε μικρότερο ρεύμα έχοντας τον περιορισμό από τον αναλυτή που παίρνει είσοδο ρεύματος μέχρι 5A.



Σχήμα 5.1 Ο αντιστάτης που χρησιμοποιήθηκε

5.2 Το πηνίο

Παράλληλα με την κάθε φάση του αντιστάτη συνδέσαμε την αντίστοιχη φάση του ρυθμιζόμενου πηνίου. Όπως είπαμε και νωρίτερα στο πηνίο δεν μπορούμε να ρυθμίσουμε την κάθε φάση ανεξάρτητα αλλά και τις τρεις συνολικά. Οι συνολικές θέσεις του διακόπτη είναι δώδεκα από τις οποίες όμως εμείς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο τις οκτώ.

Οι τιμές των αντιστάσεων αυτών ανά φάση στα 50Hz είναι οι εξής:

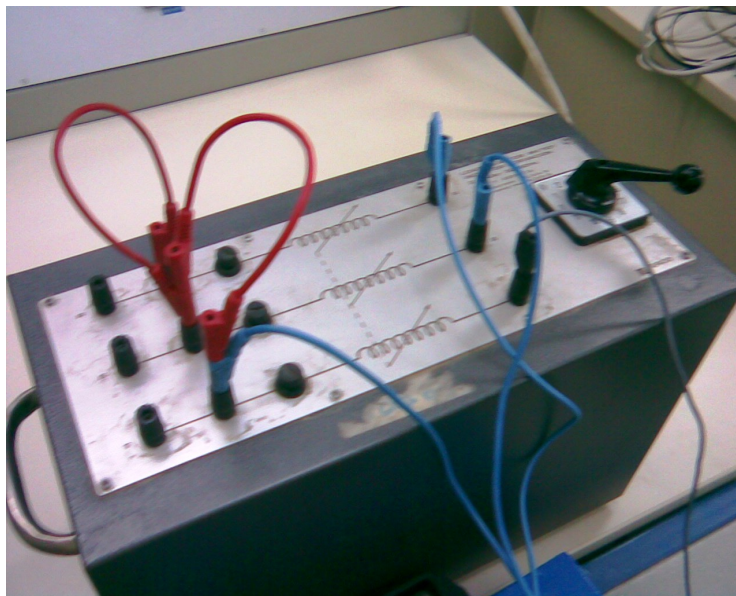
0. Άπειρη / 1. $X=400\Omega$ / 2. $X=200\Omega$ / 3. $X=133,3\Omega$ / 4. $X=100\Omega$

5. $X=80\Omega$ / 6. $X=66,6\Omega$ / 7. $X=57,1\Omega$ / 8. $X=50\Omega$

Η μέτρηση των αντιστάσεων αυτών έγινε μέσω του νόμου του Ohm, ελλείπει ειδικού πολύμετρου. Εφαρμόσαμε δηλαδή στα άκρα του πηνίου μια εναλλασσόμενη τάση ίση με 12V και μετρήσαμε το ρεύμα που τα διαπερνούσε, θεωρώντας ότι ο πυρήνας του πηνίου είναι γραμμικός.

Πέρα από την θέση 8, η αντίσταση γίνεται πολύ μικρή και με φασική τάση την ονομαστική της ΔΕΗ, δηλαδή τα 230V AC το ρεύμα που θα τα διαπερνούσε θα ήταν μεγαλύτερο από τα 5A που μπορεί να μετρήσει ο αναλυτής ενέργειας αλλά και μπορεί να περάσει κι από το ίδιο το πηνίο. Η κάθε φάση του πηνίου σύμφωνα και με τον κατασκευαστή του είναι ασφαλισμένη με ασφάλεια των 5A. Έτσι από κει και κάτω τα πηνία είναι χρήσιμα μόνο για εν σειρά συνδεσμολογία, εκτός και αν εφαρμοστεί μικρότερη τάση.

Πρέπει να προστεθεί εδώ ότι και το πηνίο παρουσίασε κάποια μικρή ωμική αντίσταση που, όπως αυτή του αντιστάτη, μετρήθηκε με ηλεκτρονικό πολύμετρο. Η αντίσταση αυτή δεν ξεπέρασε τα 4Ω ανά φάση στην θέση 1. (όπου $X=400\Omega$) και μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.



Σχήμα 5.2 Το πηνίο που χρησιμοποιήθηκε

6. Η ανάπτυξη του προγράμματος σε Ladder στο περιβάλλον προγραμματισμού του Simatic Manager.

6.1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμά μας είναι χωρισμένο σε δύο σκέλη. Το πρώτο και βασικότερο είναι οι λογικές διεργασίες και οι πράξεις που εκτελούνται στο PLC. Το δεύτερο έχει να κάνει με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο εκτός από την απεικόνιση των αποτελεσμάτων και τον χειρισμό εκτελούνται και κάποιες πράξεις. Έχουμε επιλέξει να ελαχιστοποιήσουμε τις πράξεις που εκτελούνται στο PLC με την εξής λογική. Ένα PLC αυτής της σειράς της Siemens (S7-300) ή παρόμοιων δυνατοτήτων πολύ πιθανό να προϋπάρχει στην εγκατάσταση. Αυτό μπορεί να εκτελεί κάποιο περιορισμένο αριθμό πράξεων ώστε να μην επηρεάζονται (καθυστερούν) οι διεργασίες. Επιπλέον έχει περιορισμένη μνήμη την οποία δεν πρέπει να σπαταλάμε. Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε όσο το δυνατόν λιγότερους υπολογιστικούς πόρους ώστε να μείνουν πιο πολλοί διαθέσιμοι για τις υπόλοιπες λειτουργικές διεργασίες της εγκατάστασης. Εξοικονομούμε έτσι ένα μεγάλο ποσό αφού δε χρειάζεται να αγοράσουμε PLC αν προϋπάρχει ή αν δεν συμβαίνει αυτό, το κόστος του PLC που θα πάρουμε θα είναι μικρότερο αφού μπορούμε να κάνουμε την ίδια δουλειά και με μειωμένες υπολογιστικές δυνατότητες.

6.2 Πίνακας μεταβλητών (“Symbol Table”)

Ο πίνακας μεταβλητών είναι μια καλή αρχή για να γίνει πιο εύκολα κατανοητό το πρόγραμμα αφού είναι πιο απλό για ένα χρήστη να διαβάζει ονόματα που παραπέμπουν στη χρησιμότητα της κάθε μεταβλητής παρά θέσεις μνήμης που πρέπει να θυμάται και να συνδυάσει σωστά. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει εκεί συγκεντρώνονται όλες οι μεταβλητές στις οποίες έχουμε δώσει μια ονομασία (δεύτερη στήλη) και αναγράφεται η θέση τους στη μνήμη (τρίτη στήλη) και το είδος τους (ακέραιες, δεκαεξαδικές, κινητής υποδιαστολής, λογικές κ.ά.)(τέταρτη στήλη). Στον πίνακα αυτό βρίσκονται ακόμη όλες οι συναρτήσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί στο πρόγραμμα.

Τέλος στην αριστερή στήλη του πίνακα μπορούμε να δούμε σε τι κατάσταση βρίσκεται η μεταβλητή κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος ενώ στη δεξιά στήλη έχουμε τη δυνατότητα να προσθέσουμε σχόλια που να καθιστούν το πρόγραμμα πιο εύκολο στην κατανόηση για κάποιον που το ανοίγει για πρώτη φορά.

Symbol Table (Πίνακας 5)

Status	Symbol	Address	Data type	Comment
	COLD RESTART	OB 102	OB 102	Cold Restart
	COMPLETE RESTART	OB 100	OB 100	Complete Restart
	Cycle Execution	OB 1	OB 1	
	EP_15	MW 28	INT	
	EP_15_DI	MD 46	DINT	

	EP_Total	MD 32	DINT	
	EQ_15	MW 30	INT	
	EQ_15_DI	MD 50	DINT	
	EQ_Total	MD 42	DINT	
	KWh/Pulse	MW 36	INT	
	LogTag	M 21.0	BOOL	
	P_	MW 16	WORD	
	P_INT	MW 22	INT	
	P_ON	Q 124.0	BOOL	
	P_Pulse	I 124.0	BOOL	
	Pulse_15	M 3.1	BOOL	
	Q_	MW 18	WORD	
	Q_INT	MW 24	INT	
	Q_ON	Q 124.1	BOOL	
	Q_Pulse	I 124.1	BOOL	
	RESTART	OB 101	OB 101	Restart
	Start	I 124.2	BOOL	
	Stop	I 124.3	BOOL	
	System On	M 10.0	BOOL	
	Time_Base	MW 38	S5TIME	

Από τα ονόματα και μόνο των μεταβλητών μπορούμε να πάρουμε μια ιδέα για τη χρήση τους, εκτός ίσως από τις μεταβλητές LogTag και Time_Base για τις οποίες θα γίνει επεξήγηση στο σημείο όπου χρησιμοποιήθηκαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεταβλητές που ξεκινούν με EP και EQ αντιστοιχούν σε φυσικά μεγέθη και πιο συγκεκριμένα έχουν μονάδες ενέργειας (kWh και kVarh αντίστοιχα), ενώ οι μεταβλητές P_, Q_, P_INT και Q_INT αντιστοιχούν σε αριθμούς παλμών, δεν έχουν δηλαδή μονάδες.

6.3 OB100

Η συνάρτηση αυτή εκτελείται μία φορά, κάθε φορά που ο διακόπτης εκκίνησης του PLC μεταβαίνει από τη θέση "STOP" στη θέση "RUN". Η διεργασία OB100 ονομάζεται και "Complete Restart" γιατί εκτελείται μετά από κάθε επανεκκίνηση.

```
Network: 1
"SYSTEM ON" RESET
```



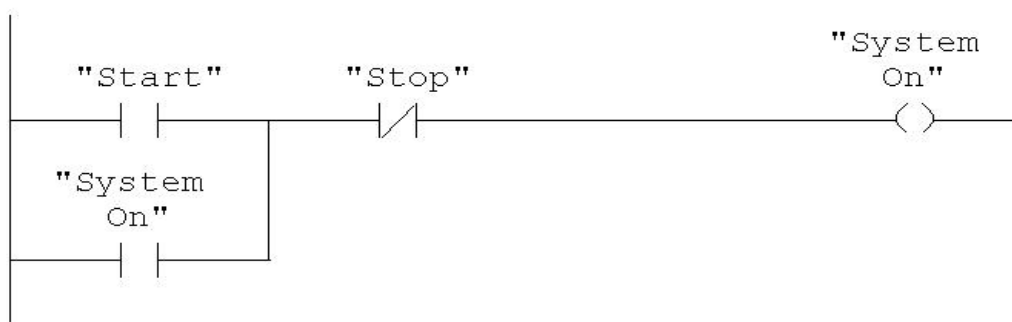
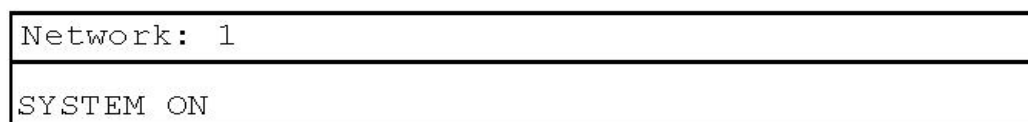
Σχήμα 6.1 OB100

Η μόνη λογική διεργασία που εκτελεί αυτή η συνάρτηση είναι να μηδενίζει τη μεταβλητή “System On” εάν αυτή είναι «λογικό 1». Έτσι με την εκκίνηση της συνάρτησης OB1 έχουμε εξασφαλίσει ότι το “System On” θα είναι μηδέν. Αυτό το κάνουμε κυρίως για λόγους συγχρονισμού μεταξύ των διεργασιών των προγραμμάτων που εκτελούνται στο PLC και στον υπολογιστή όπως θα δούμε και παρακάτω.

6.4 OB1(a)

Η OB1 είναι η βασικότερη συνάρτηση του PLC. Εκτελείται κυκλικά και σταματά μόνο όταν σταματήσει να λειτουργεί και το PLC ή παρατηρηθεί κάποιο σφάλμα που τερματίζει τη λειτουργία του.

Το πρώτο πράγμα που θα παρατηρήσουμε είναι ότι δεν υπάρχει το τυπικό δίκτυο εκκίνησης που μπαίνει στην αρχή κάθε συνάρτησης OB1 και ενεργοποιεί τη μεταβλητή “System On”. Το δίκτυο αυτό ελέγχεται συνήθως από δύο εισόδους του PLC και έχει αυτή τη μορφή.



Σχήμα 6.2 Τυπικό κύκλωμα εκκίνησης

Αυτό συμβαίνει διότι η μεταβλητή “System On” ελέγχεται από το Scada πρόγραμμα που δημιουργήσαμε με το πρόγραμμα WinCC της Siemens.

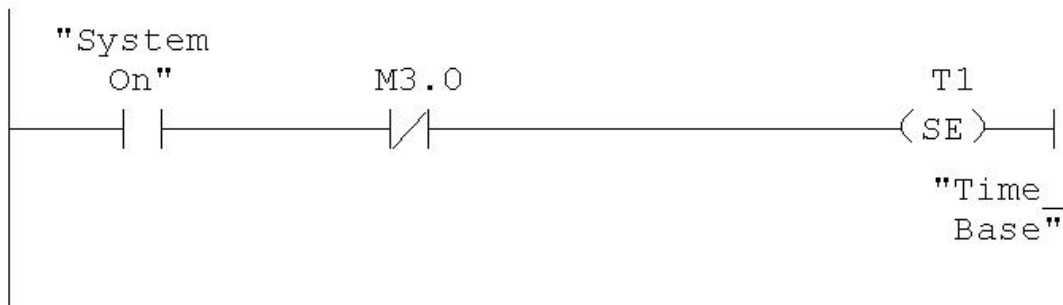
Τα τρία πρώτα κυκλώματα πρέπει να τα δούμε συγκεντρωτικά, γιατί είναι τμήματα της ίδιας διεργασίας. Μαζί δημιουργούν ένα παλμό ανά χρόνο “Time_Base” τον οποίο ορίζουμε από το WinCC RT (RunTime) στην αρχή της εκτέλεσης. Ο παλμός αυτός ουσιαστικά είναι ο παλμός τετάρτου, το σήμα δηλαδή ότι τελείωσε το τέταρτο και πρέπει να μηδενιστεί ο μετρητής παλμών τετάρτου αφού τα περιεχόμενά του περάσουν σε κάποιο συνολικό μετρητή.

Όπως λειτουργούσε το σύστημα τιμολόγησης της ΔΕΗ μέχρι πριν από λίγα χρόνια τον παλμό αυτό τον έδινε ίδια η ΔΕΗ κεντρικά ανά 15 λεπτά σε όλους τους καταναλωτές μέσης τάσης. Στη δική μας περίπτωση δεν μπορούμε να πάρουμε από κάπου αυτό τον παλμό κι έτσι χρειάστηκε να τον δημιουργήσουμε.

Ο χρόνος αυτός (“Time_Base”) κυμαίνεται από 15 λεπτά, για μια πραγματική μέτρηση, έως και 1 λεπτό, για μια γρήγορη εκτέλεση για ακαδημαϊκούς λόγους.

Network: 2

PALMOS TETARTOU 1/3



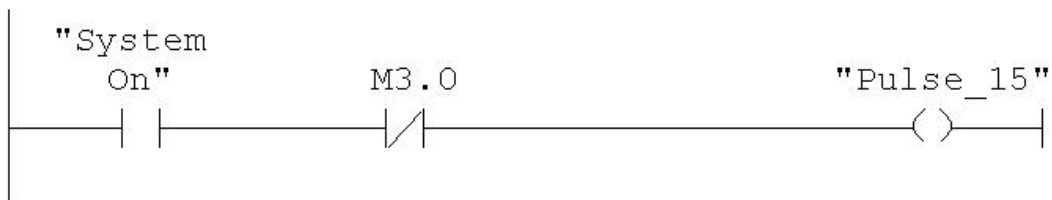
Network: 3

PALMOS TETARTOU 2/3



Network: 4

PALMOS TETARTOU 3/3



Σχήμα 6.3 Κυκλώματα δημιουργίας του παλμού τετάρτου

Στο πρώτο αυτό δίκτυο βλέπουμε πως το χρονικό που έχουμε επιλέξει είναι ένα Extended Pulse Timer (SE). Το χρονικό αυτό ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου ενεργοποιείται από ένα παλμό και έχει τη δυνατότητα να επανεκκινήσει όταν δεχτεί παλμό στην είσοδό του ενώ είναι ήδη ενεργό. Βλέπουμε ακόμη πως δεν μπορεί να ενεργοποιηθεί το χρονικό εάν δεν έχει πρώτα γίνει η μεταβλητή "System On" λογικό 1.

Η λογική των τριών δικτύων έχει ως εξής. Όταν γίνει το System On" λογικό 1 και εφόσον η μεταβλητή M3.0 είναι μηδέν ενεργοποιείται το χρονικό T1. Για όσο χρόνο το χρονικό T1 είναι ενεργό (δηλαδή για χρόνο ίσο με "Time_Base") η μεταβλητή M3.0 είναι 1. Έτσι σύμφωνα με το τρίτο δίκτυο δεν παίρνουμε έξοδο Pulse_15 ίση με 1 σ' αυτό το χρονικό διάστημα. Με το πέρας χρόνου "Time_Base" όμως το T1 γίνεται μηδέν. Κατά συνέπεια γίνεται και η M3.0 μηδέν

για ένα κύκλο εκτέλεσης και επίσης μόνο για ένα κύκλο εκτέλεσης γίνεται το "Pulse_15" 1 αφού θα έχουμε και "System On" ίσο με 1.

Στον επόμενο κύκλο εκτέλεσης, εφόσον το M3.0 είναι μηδέν ενεργοποιείται εκ νέου το T1 και κάνει την M3.0 ένα και το "Pulse_15" λογικό μηδέν.

Παρατηρούμε από το τρίτο δίκτυο ότι το "System On" πρέπει να είναι ένα για να πάρουμε παλμό τετάρτου. Αυτό συμβαίνει γιατί η εκτέλεση στο PLC ξεκινά πριν να γίνει το "System On" ένα. Αν δεν είχαμε τοποθετήσει δηλαδή τον ανοιχτό διακόπτη "System On" στο τρίτο δίκτυο θα παίρναμε συνέχεια "Pulse_15" ίσο με 1, μέχρι να γίνει το "System On" ένα. Αυτός είναι κι ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε επιπλέον μεταβλητή και όχι την "NOT M3.0" για τη δημιουργία των παλμών τετάρτου.

Network: 5



Σχήμα 6.4 Κύκλωμα κλήσης της βοηθητικής συνάρτησης

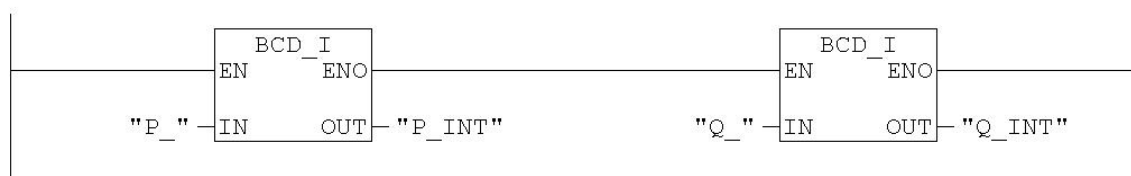
Στο τέταρτο δίκτυο της συνάρτησης βλέπουμε ότι ο παλμός τετάρτου καλεί τη συνάρτηση FC1, στην οποία εκτελούνται οι απαραίτητες πράξεις πριν το μηδενισμό των θέσεων μνήμης όπου είναι αποθηκευμένοι οι παλμοί τετάρτου. Σταματά μετά από αυτό το δίκτυο η εκτέλεση της συνάρτησης OB1 και εκτελείται μια φορά η συνάρτηση FC1. Μετά το τέλος της εκτέλεσης της FC1 επιστρέφει το πρόγραμμα στην εκτέλεση της συνάρτησης OB1 και στο επόμενο ακριβώς δίκτυο. Έτσι είναι σκόπιμο να εξηγηθεί η συνάρτηση FC1 πριν το υπόλοιπο της OB1 αφού αυτή θα είναι και η πραγματική σειρά εκτέλεσης των πράξεων.

6.5 FC1

Είναι η συνάρτηση όπου γίνονται όλες οι πράξεις. Για λόγους μείωσης των απαραίτητων υπολογιστικών πόρων έγιναν μόνο οι απαραίτητες πράξεις. Οι υπόλοιπες γίνονται στον υπολογιστή και πιο συγκεκριμένα στο WinCC RT.

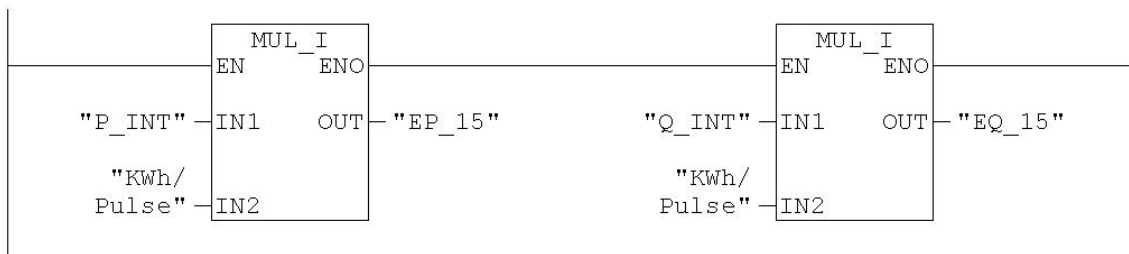
Network: 1

METATROPI FORMAT



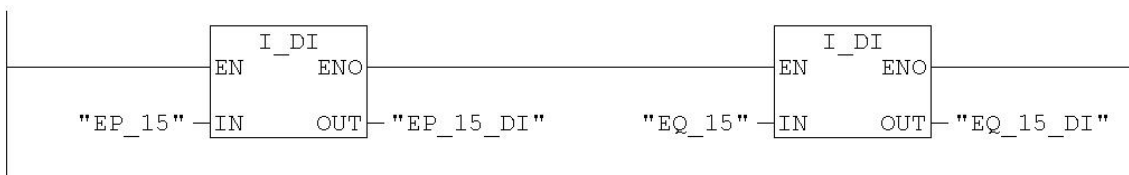
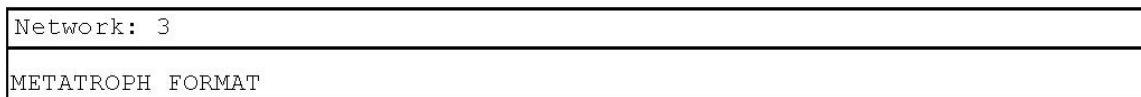
Σχήμα 6.5 Κύκλωμα μετατροπής σε ακέραιο

Έτσι στο πρώτο δίκτυο έχουμε τη μετατροπή των μεταβλητών P_ και Q_ από δεκαδικό (BCD) σε ακέραιο (INT) για να μπορέσουμε να κάνουμε τις απαραίτητες πράξεις.



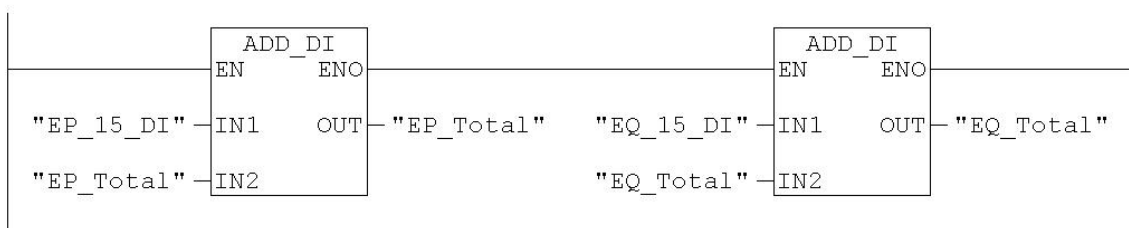
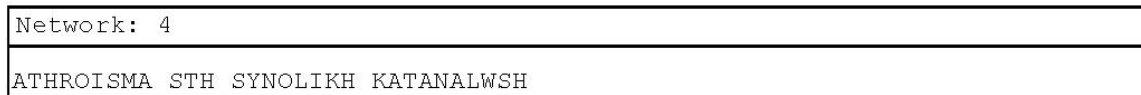
Σχήμα 6.6 Κύκλωμα υπολογισμού των ενεργειών τετάρτου

Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των παλμών που ελήφθησαν σε ένα τέταρτο με το συντελεστή ενέργειας ανά παλμό, παίρνουμε την ενεργό και την άεργο ενέργεια αντίστοιχα που καταναλώθηκε στο τέταρτο που προηγήθηκε.



Σχήμα 6.7 Κύκλωμα μετατροπής σε ακέραιο διπλής ακρίβειας

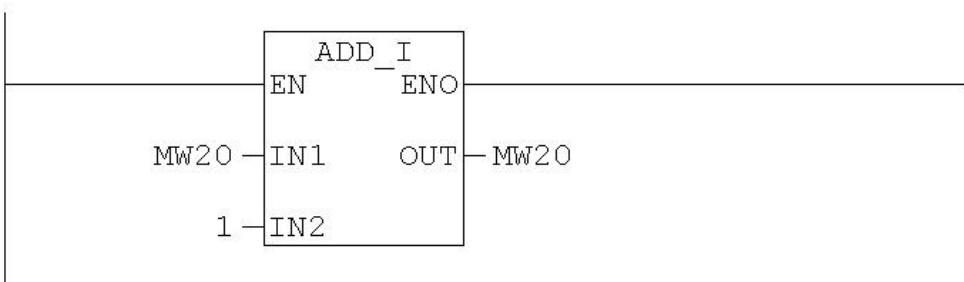
Στο τρίτο δίκτυο έχουμε μια ακόμα μετατροπή στο format, αυτή τη φορά από ακέραιο σε ακέραιο διπλής ακρίβειας. Αυτό συμβαίνει γιατί η ολική ενεργός ενέργεια ξεπερνάει πιθανότατα τις 32768kWh με αποτέλεσμα να μην επαρκεί ο ακέραιος μονής ακρίβειας γι' αυτό το μέγεθος. Για να μπορέσουμε λοιπόν να προσθέσουμε τα δύο μεγέθη πρέπει να μετατραπεί και η ενέργεια τετάρτου σε ακέραιο διπλής ακρίβειας.



Σχήμα 6.8 Κύκλωμα υπολογισμού της συνολικής κατανάλωσης

Network: 5

KATASKEYH THW METAVLHTHS "LogTag" 1/2



Network: 6

KATASKEYH THW METAVLHTHS "LogTag" 2/2



Σχήμα 6.9 Κυκλώματα κατασκευής της μεταβλητής LogTag

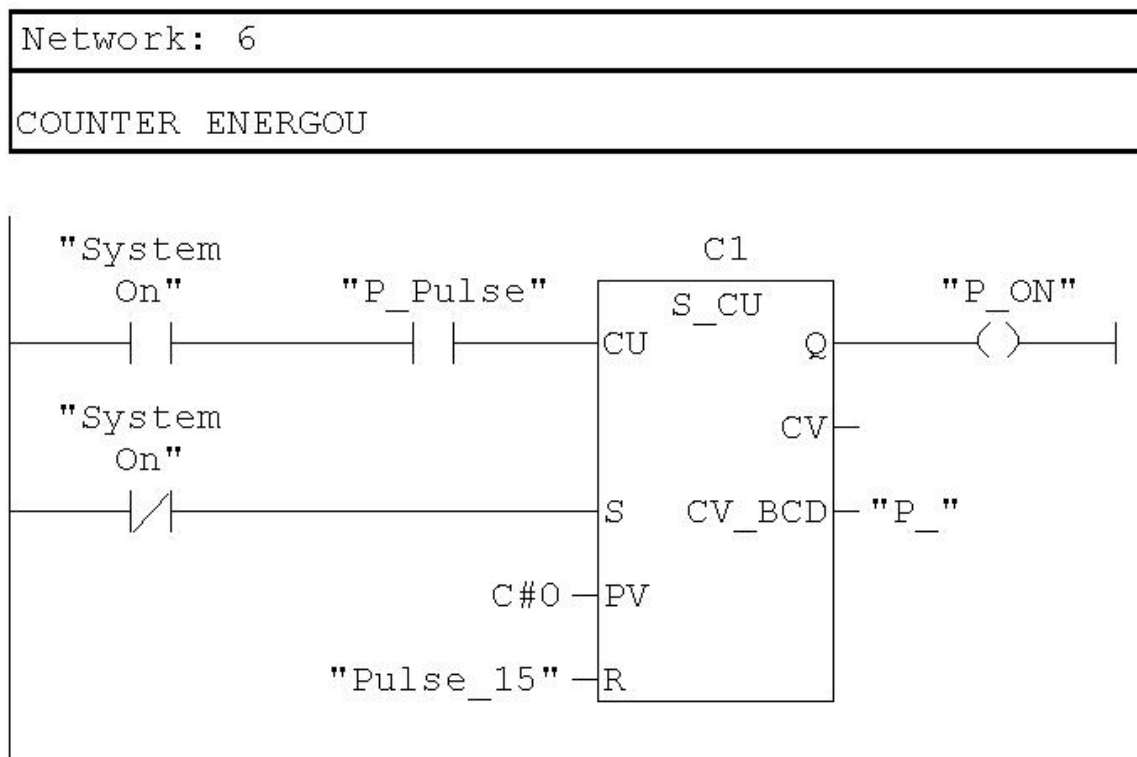
Στα τελευταία δύο δίκτυα βλέπουμε την κατασκευή της μεταβλητής “LogTag”. Μπορεί εκ πρώτης όψεως να μη γίνεται σαφές το πώς γίνεται αυτό αλλά κυρίως δε γίνεται σαφές το που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια τέτοια μεταβλητή. Επειδή η μεταβλητή “Pulse_15” που σηματοδοτεί το πέρασμα στο επόμενο τέταρτο γίνεται λογικό 1 για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (ένα κύκλο εκτέλεσης) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το WinCC ώστε να ενημερωθεί κι αυτό και να κάνει τις απαραίτητες ενέργειες. Αυτό συμβαίνει γιατί το εύρος ζώνης του διαύλου επικοινωνίας μεταξύ PC και υπολογιστή είναι περιορισμένο και δεν μπορούμε να ανιχνεύουμε αλλαγές των μεταβλητών ανά μικρά χρονικά διαστήματα γιατί θα παρατηρούνταν συσσώρευση δεδομένων στην πλευρά του PLC και προς τον υπολογιστή (bus overflow) και θα είχαμε μεγάλη καθυστέρηση στην ενημέρωση όλων των μεταβλητών. Επιπλέον το WinCC ανιχνεύει αλλαγές στην κατάσταση μιας μεταβλητής και όχι το λογικό ένα ή το λογικό μηδέν, δηλαδή σε κάθε τέταρτο που περνάει θα παίρναμε δύο σήματα για την μετάβαση στο επόμενο τέταρτο. Ένα όταν θα γινόταν το “Pulse_15” από μηδέν σε ένα, κι ένα όταν θα γινόταν από ένα, μηδέν.

Για την κατασκευή της μεταβλητής λοιπόν έπρεπε ουσιαστικά να φτιάξουμε το κύκλωμα που αναβοσβήνει ένα λαμπάκι με συγκεκριμένη συχνότητα και ίδιο χρόνο ON-OFF. Θέλουμε δηλαδή ένα είδος σήματος συναγερμού με τη διαφορά ότι θα αρκεστούμε στη θέση μνήμης και δεν θα χρησιμοποιήσουμε κάποια έξοδο.

Για το σκοπό μας θα χρησιμοποιήσουμε την ιδιότητα της πρόσθεσης στο δυαδικό σύστημα. Όταν προσθέσουμε μια μονάδα στη μεταβλητή MW20 το bit M21.0 θα γίνει ένα. Την επόμενη φορά που θα προσθέσουμε μια μονάδα στην ίδια μεταβλητή, το bit M21.0 θα γίνει από ένα μηδέν και το bit M21.1 θα γίνει ένα. Αν κάθε φορά που αλλάζουμε το bit M21.0 μηδενίζουμε το bit M21.1 εξασφαλίζουμε ότι το bit M21.2 και τα επόμενα από αυτό δεν θα γίνουν ένα. Έτσι το μόνο bit που μεταβάλλεται από μηδέν σε ένα και αντίστροφα είναι το M21.0. Η συχνότητα που μεταβάλλεται είναι ίση με τη συχνότητα που γίνεται η πρόσθεση του δικτύου πέντε, ίση δηλαδή με το αντίστροφο της περιόδου του "Pulse_15" (ίση με "Time_Base").

6.6 OB1 (b)

Τα υπόλοιπα δύο δίκτυα της συνάρτησης OB1 είναι δύο counter για τη μέτρηση των παλμών ενεργού και αέργου ενέργειας.



Σχήμα 6.10 Κύκλωμα του μετρητή παλμών ενέργειας (ομοίως για την άεργο)

Είναι δύο όμοια δίκτυα με ίδια λειτουργία. Κάθε ένα από αυτά έχει ένα "Counter Up" μετρητή. Κάθε φορά που δέχεται ένα παλμό στην είσοδο ανεβάζει την τιμή του κατά μια μονάδα, αν φυσικά και το "System On" είναι ένα.

Στην αρχή της εκτέλεσης του προγράμματος που το "System On" είναι μηδέν θέλουμε να εξασφαλίσουμε ότι στον κάθε counter η τιμή θα είναι μηδέν. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε με τις εισόδους "S" και "PV" του counter. Όταν στην είσοδο "S" έχουμε λογικό ένα, ο counter παίρνει την τιμή που έχουμε ορίσει στην

είσοδο “PV”. Έτσι βάζουμε το “NOT System On” στη είσοδο “S” (συνθήκη) και το C#0 στην είσοδο “PV” εισάγουμε δηλαδή την τιμή μηδέν στον counter.

Πρέπει να προσέξουμε εδώ ότι ο counter παίρνει τιμές από 0 έως 999. Όταν δεχτεί παλμό στην είσοδό του κι ενώ έχει τιμή 999 μηδενίζεται και ξεκινά από την αρχή. Βέβαια για την εφαρμογή μας και με το διαθέσιμο αναλυτή ενέργειας δεν διατρέχουμε τέτοιο κίνδυνο.

Επίσης ο κάθε μετρητής μηδενίζεται κάθε φορά που παίρνουμε παλμό τετάρτου. Ο παλμός τετάρτου είναι στιγμιαίος και δεν υπάρχει έτσι ο φόβος να «χαθεί» κάποιος παλμός ενέργειας. Ακόμα δεν υπάρχει η πιθανότητα να μετρηθεί κάποιος παλμός ενέργειας δύο φορές, εάν δηλαδή αρχίσει πριν έρθει ο παλμός τετάρτου και τελειώσει αφού έχει έρθει. Αυτό συμβαίνει γιατί ο counter μετράει τη θετική ακμή του κάθε παλμού που δέχεται στην είσοδό του. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι η τιμή της ενέργειας τετάρτου που αντιπροσωπεύουν οι παλμοί έχει ήδη προστεθεί στη συνολική και έχει αποθηκευτεί τη στιγμή που τον μηδενίζουμε.

7. Η ανάπτυξη του προγράμματος Scada με το λογισμικό WinCC Flexible

7.1 Εισαγωγή

Ξεκινώντας την περιγραφή των συστημάτων SCADA είναι σκόπιμο να αναφέρουμε τι είναι ένα σύστημα SCADA. SCADA σημαίνει (*Supervisory, Control And Data Acquisition System*), δηλαδή σύστημα εποπτείας, ελέγχου και συλλογής πληροφοριών. Είναι συνεπώς συστήματα τηλεμέτρησης, τα οποία συλλέγουν πληροφορίες από διάφορες διεργασίες και χρησιμοποιούνται για τον εποπτικό έλεγχο των διεργασιών αυτών.

Τα συστήματα SCADA βρίσκουν τεράστιες εφαρμογές στη βιομηχανία, καθώς και σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες η εφαρμογή συστημάτων SCADA για τον έλεγχο διεργασιών είναι δεδομένη. Ωστόσο η πραγματικότητα στην Ελλάδα είναι διαφορετική. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι στις ελληνικές βιομηχανίες ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται ελεγκτές PID και προγραμματιζόμενοι ελεγκτές PLC (Programmable Logic Controllers). Επιπλέον δεν είναι δυνατή η απευθείας εφαρμογή του θεωρητικού μοντέλου γιατί υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ θεωρίας και πράξης. Ο ποιος ουσιαστικός λόγος όμως είναι το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος SCADA, τόσο από άποψη hardware όσο και από άποψη software, το οποίο μέχρι τώρα ήταν απαγορευτικό για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Ωστόσο αυτό το πρόβλημα τείνει να ξεπεραστεί με την είσοδο στο χώρο όλο και περισσότερων εταιριών που συνεπάγεται τη μείωση του κόστους αγοράς, αλλά κι από τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η εγκατάσταση ενός συστήματος SCADA σε μια επιχείρηση.

Το σύστημα SCADA είναι υπεύθυνο για την διαχείριση και τον έλεγχο διαφόρων διεργασιών, δηλαδή είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση, την καταγραφή και τον έλεγχο ενός πλήθους βασικών μεταβλητών και παραμέτρων των διεργασιών.

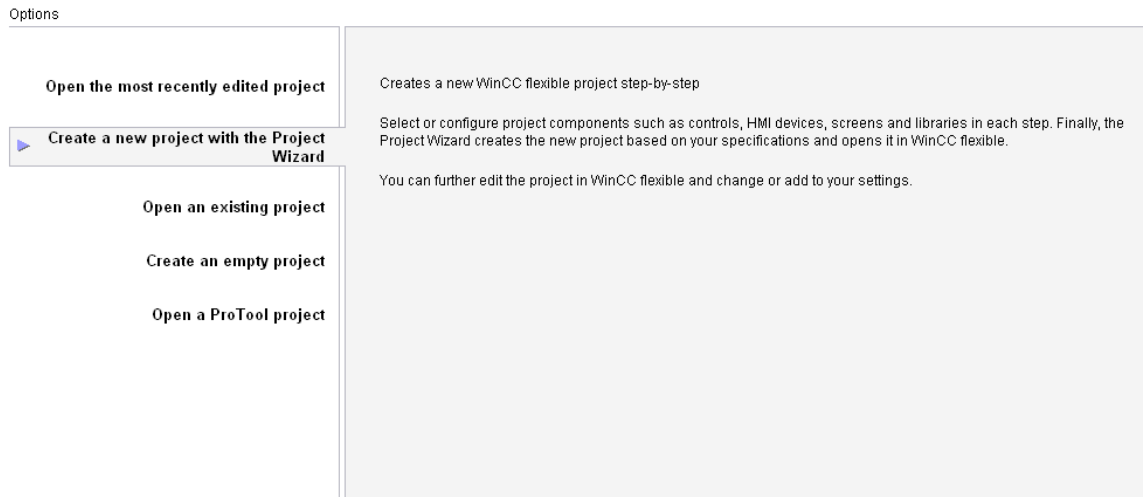
Στόχοι του συστήματος **SCADA** είναι:

- Η διασφάλιση της **ποιότητας** του παραγόμενου προϊόντος
- Η μεγιστοποίηση της **παραγωγής**
- Η ελαχιστοποίηση της **ενέργειας**
- Η βέλτιστη **αξιοποίηση** του εξοπλισμού, των υλικών και της ενέργειας της εγκατάστασης
- Η **ασφάλεια** του εξοπλισμού και του προσωπικού της διεργασίας

Επιπλέον ο έλεγχος των διεργασιών θα πρέπει να είναι αρκετά γρήγορος, ώστε να έχουμε επίγνωση της κατάστασης αυτών σε **πραγματικό χρόνο** (*real time*). Αυτό γίνεται αμέσως εμφανές αν αναφερθούμε στο θέμα της ασφάλειας. Η επέμβαση στις διεργασίες σε περίπτωση κινδύνου θα πρέπει να είναι άμεση και αποτελεσματική ώστε να αποφύγουμε μερική ή ολική καταστροφή του εξοπλισμού, ακόμα και ανθρώπινες απώλειες.

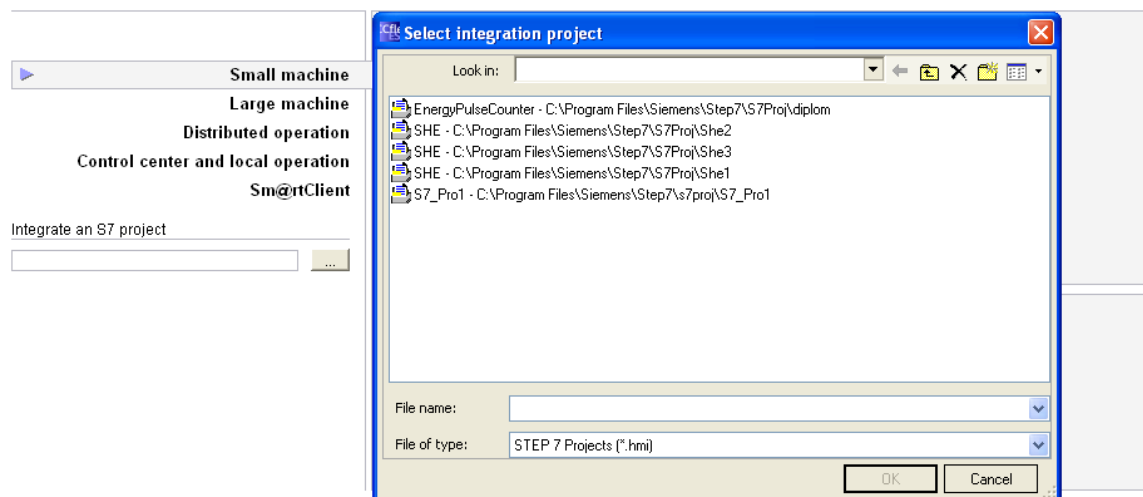
7.2 Δημιουργία του προγράμματος και διασύνδεσή του με τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή.

Αφού έχουμε εγκαταστήσει το λογισμικό εκκινούμε την εφαρμογή, η οποία μας μεταφέρει στην οθόνη έναρξης. Από εκεί επιλέγουμε να δημιουργήσουμε μια νέα εργασία, με τη βοήθεια του ειδικού οδηγού.



Σχήμα 7.1 Δημιουργία του αρχείου .hmi

Στην επόμενη σελίδα που εμφανίζεται επιλέγουμε να κάνουμε ενοποίηση με μια εργασία που έχει γραφτεί για PLC (integrate an S7 project).



Σχήμα 7.2 Ενοποίηση με το πρόγραμμα σε PLC

Τέλος επιλέγουμε το μέσο εκτέλεσης του προγράμματος Scada (H/Y), το PLC στο οποίο θα εκτελείται ο υπόλοιπος κώδικας (S7-300) και τον τρόπο της μεταξύ τους σύνδεσης (MPI).



Σχήμα 7.3 Τρόπος επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστή και PLC

Έπειτα πατάμε το “Finish”, κι έχει δημιουργηθεί πλέον το αρχείο το οποίο θα επεξεργαστούμε.

Για να ολοκληρωθεί όμως η διασύνδεση των δύο συσκευών πρέπει να κάνουμε κι άλλες ενέργειες. Κατ’ αρχήν πρέπει να έχουμε εγκαταστήσει στον υπολογιστή μας το πρόγραμμα οδήγησης (driver) της συσκευής που μεταφέρει τα δεδομένα από το ένα σύστημα στο άλλο. Η συσκευή αυτή ονομάζεται “PC Adapter USB” κι εμείς έχουμε την έκδοση V1.1.



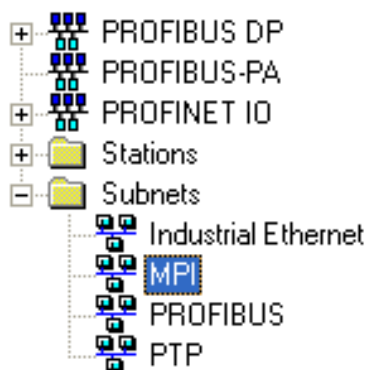
Σχήμα 7.4 “PC Adapter USB”

Το πρόγραμμα οδήγησης υπάρχει διαθέσιμο για μεταφόρτωση στην ιστοσελίδα της κατασκευάστρια εταιρίας.

Στη συνέχεια πρέπει να ανοίξουμε το πρόγραμμα “NetPro” που συνοδεύει το λογισμικό “Simatic Manager” και να κάνουμε κι εκεί τις απαραίτητες ρυθμίσεις. Εκκινώντας το από το “Simatic Manager” μας βγάζει σε μια σελίδα όπου βλέπουμε τις δύο συσκευές της εργασίας μας.



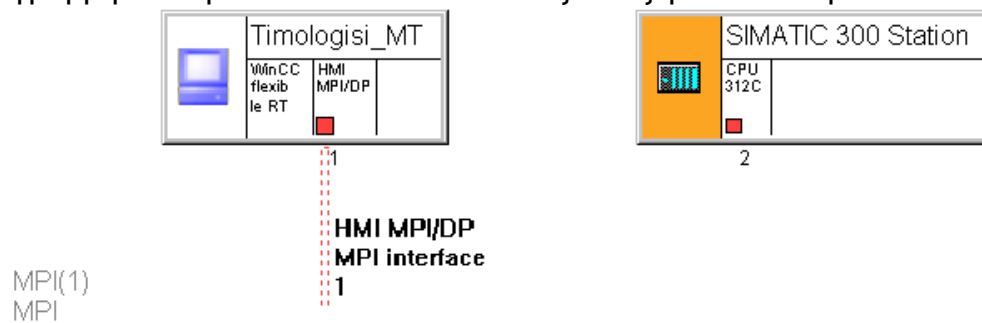
Σχήμα 7.5 NetPro (1 από 4)



Από τη δεξιά στήλη του προγράμματος επιλέγουμε το πρωτόκολλο επικοινωνίας MPI και το κάνουμε “Drag and Drop” κάτω από τις δύο συσκευές. Εμφανίζεται έτσι μια κόκκινη γραμμή που αναπαριστά τον διάυλο επικοινωνίας.

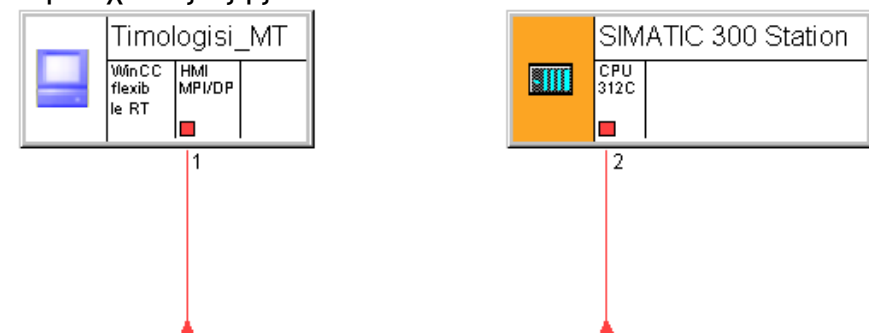
Σχήμα 7.6 NetPro (2 από 4)

Τέλος κάνουμε “Drag and Drop” από τους δύο ελεγκτές προς την κόκκινη γραμμή του πρωτόκολλο επικοινωνίας όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 7.7 NetPro (3 από 4)

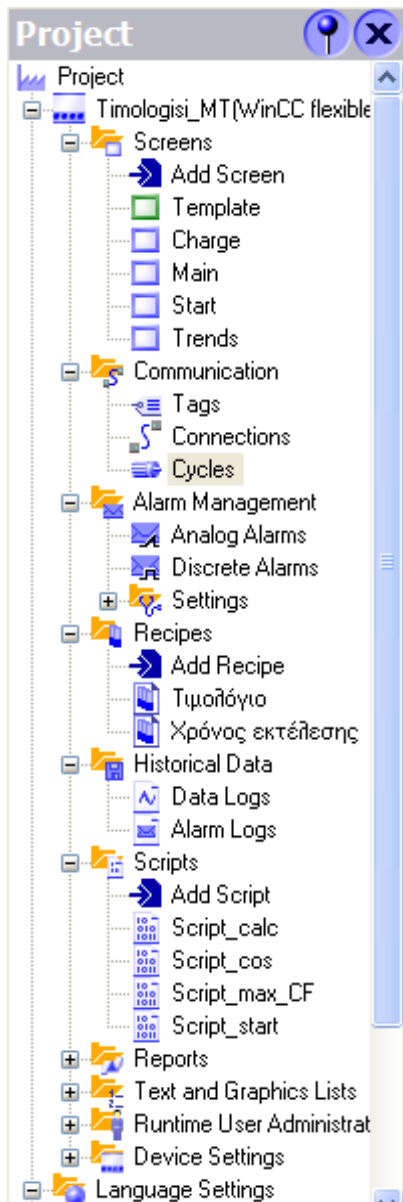
Το αποτέλεσμα έχει ως εξής:



Σχήμα 7.8 NetPro (4 από 4)

Για να διασφαλίσουμε την σωστή επικοινωνία των δύο συσκευών διαλέγουμε από το Tab “Network” την επιλογή “Check Consistency”. Αν δεν έχει γίνει κάποιο λάθος θα πρέπει να πάρουμε ένα μήνυμα που να αναφέρει ακριβώς αυτό.

Ανοίγοντας εκ νέου το πρόγραμμα βλέπουμε στην αριστερή στήλη με την ονομασία Project τις ρυθμίσεις που μπορούμε να κάνουμε και τα στοιχεία που μπορούμε να εισάγουμε στο πρόγραμμά μας.



Σχήμα 7.9 Συνοπτικά οι επιλογές του προγράμματος WinCC Flexible.

Από πάνω προς τα κάτω βλέπουμε:

- Τις οθόνες, δηλαδή τα γραφικά που αποτελούν και το βασικό κομμάτι «εξόδου» προς το χρήστη.
- Την επικοινωνία που αποτελείται από τις μεταβλητές, τον τρόπο σύνδεσης και τους κύκλους (συχνότητα) επικοινωνίας των δύο συσκευών.
- Τις διαθέσιμες ειδοποιήσεις για έκτακτες περιπτώσεις.
- Τις «συνταγές» που είναι ουσιαστικά ομαδοποιημένες τιμές μεταβλητών που σε συνδυασμό εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία.
- Τις τιμές δεδομένων που αποθηκεύονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ή σε έκτακτες περιπτώσεις.
- Τον κώδικα που μπορούμε να δημιουργήσουμε για να εκτελέσουμε πράξεις και πολύπλοκες λογικές διεργασίες.
- Την αναφορά που μπορούμε είτε να εμφανίσουμε στην οθόνη είτε να εκτυπώσουμε όποτε το επιλέξουμε.
- Τις υπόλοιπες επιλογές για τον τρόπο εκτέλεσης και την εμφάνιση.

7.3 Οι μεταβλητές του προγράμματος

Ίσως το πιο ουσιώδες κομμάτι της εργασίας είναι ο σωστός ορισμός των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Αυτές πρέπει να είναι στο σωστό format αλλά και να έχουν ονομασία τέτοια που να διευκολύνει τον χρήστη στην κατανόηση και να αποτρέπει τον προγραμματιστή από περιττά λάθη.

Οι μεταβλητές του προγράμματος χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Είναι οι μεταβλητές που διαβάζονται ή γράφονται στη μνήμη του PLC και οι εσωτερικές μεταβλητές ή “Internal tags” που αποθηκεύονται στην μνήμη του υπολογιστή και ανανεώνονται αμέσως μετά από κάθε χρήση τους από το πρόγραμμα..

Η λειτουργία των πρώτων έχει αναλυθεί επαρκώς στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στις μεταβλητές αυτές πρέπει να ορίσουμε τη συχνότητα που θα διαβάζονται από το PLC (Acquisition cycle). Η συχνότητα αυτή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να έχουμε αμεσότητα στην μεταφορά των δεδομένων μας στην οθόνη αλλά αρκετά μικρή ώστε να μην έχουμε υπέρμετρη επιβάρυνση του διαύλου δεδομένων (bus overflow), που θα έχει απρόβλεπτα αποτελέσματα.

Οι μεταβλητές του προγράμματος (Πίνακας 6)

Name	Connection	Data type	Symbol	Address	Acquisition cycle
AA_Tetartou	<Internal tag>	Int	<Undefined>	<No address>	1 s
CF	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
COS	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
COS_T	<Internal tag>	Int	<Undefined>	<No address>	1 s
Discount_P	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
E/KW	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
E/KWh_400-	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
E/KWh_400+	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
EP_15	CPU312C(1)	Int	EP_15	MW 28	1 s
EP_Total	CPU312C(1)	DInt	EP_Total	MD 32	1 s
EQ_15	CPU312C(1)	Int	EQ_15	MW 30	1 s
EQ_Total	CPU312C(1)	DInt	EQ_Total	MD 42	1 s
KMZ	<Internal tag>	Int	<Undefined>	<No address>	1 s
KWh/Pulse	CPU312C(1)	Int	KWh/Pulse	MW 36	<Undefined acqui...
KWh/pulse_WinCC	<Internal tag>	Int	<Undefined>	<No address>	1 s
LogTag	CPU312C(1)	Bool	LogTag	M 21.0	1 s
MA	<Internal tag>	Int	<Undefined>	<No address>	1 s
P_	CPU312C(1)	Word	P_	MW 16	1 s
Q_	CPU312C(1)	Word	Q_	MW 18	1 s
System On	CPU312C(1)	Bool	System On	M 10.0	500 ms
Time_Base	CPU312C(1)	Timer	Time_Base	MW 38	<Undefined acqui...
Time_Base_sec	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_E_Tot	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_E1	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_E2	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_Min	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_min*	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_min+	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_P	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_P_a	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
Xrewsi_Tot	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s
XZ	<Internal tag>	Float	<Undefined>	<No address>	1 s

Το όνομα των περισσότερων εσωτερικών μεταβλητών προδίδει τη χρησιμότητά τους. Μια επιγραμματική αναφορά στη λειτουργία τους σ' αυτό το σημείο όμως θεωρείται απαραίτητη.

- AA_Tetartou : Ο αύξοντας αριθμός τετάρτου, δηλαδή το πόσοι παλμοί τετάρτου έχουν ανιχνευτεί.
- CF : Ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor)
- COS : Το συνημίτονο ή αλλιώς ο συντελεστής ισχύος (Power Factor)
- COS_T : Το συνημίτονο επί το χίλια σε ακέραια μορφή
- Discount_P : Η έκπτωση στην ισχύ
- E/kW : Ευρώ ανά kW κατανάλωσης
- E/kWh_400- : Ευρώ ανά κιλοβατώρα στην πρώτη κλίμακα χρέωσης
- E/kWh_400+ : Ευρώ ανά κιλοβατώρα στη δεύτερη κλίμακα χρέωσης
- KMZ : Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση
- kWh/pulse_WinCC : kWh ανά παλμό (μεταβλητή που χρειάζεται για πρακτικούς λόγους)
- MA : Καταγραφείσα μέγιστη ζήτηση στις ώρες αιχμής (Μέγιστο Αιχμής)
- Time_Base_sec : Ο χρόνος ανάμεσα σε δύο παλμούς τετάρτου, σε δευτερόλεπτα
- Xrewsi_E_Tot : Συνολική χρέωση ενέργειας
- Xrewsi_E1 : Χρέωση ενέργειας κλιμακίου Α'
- Xrewsi_E2 : Χρέωση ενέργειας κλιμακίου Β'
- Xrewsi_Min : Ελάχιστη χρέωση
- Xrewsi_min* : Συντελεστής του (XZ-5) στον τύπο υπολογισμού της ελάχιστης χρέωσης
- Xrewsi_min+ : Ο σταθερός όρος στον τύπο υπολογισμού της ελάχιστης χρέωσης
- Xrewsi_P : Χρέωση ισχύος
- Xrewsi_P_a : Η χρέωση ισχύος πριν την έκπτωση
- Xrewsi_Tot : Συνολική χρέωση
- XZ : Χρεωσταία Ζήτηση

7.4 Οι «συνταγές»

Όπως προαναφέραμε είναι ομαδοποιημένες τιμές μεταβλητών που συνδυαζόμενες μας δίνουν ένα επιθυμητό αποτέλεσμα. Στην πρώτη «συνταγή» της εφαρμογής μας κάθε μια τέτοια ομάδα τιμών αντιπροσωπεύει ένα από τα τέσσερα είδη τιμολογίων. Το πώς προκύπτει η χρέωση από αυτές τις τιμές το εξηγήσαμε στο πρώτο κεφάλαιο. Αν ανατρέξουμε εκεί θα δούμε ότι οι συντελεστές που διαμορφώνουν την τελική χρέωση είναι πέντε, εάν εξαιρεθούν οι μεταβλητές που είναι και κοινές για κάθε τιμολόγιο.

Οι πέντε αυτές μεταβλητές είναι οι εξής:

- Τα ευρώ ανά kW χρεωστέας ζήτησης (XZ)
- Τα ευρώ ανά kWh για τις πρώτες 400 kWh ανά kW Καταγραφείσας Μέγιστης Ζήτησης (KMZ)
- Τα ευρώ ανά kWh για τις υπόλοιπες kWh*
- Η ελάχιστη χρέωση για XZ < 5 kW
- Ο πολλαπλασιαστής του (XZ - 5) ώστε να προκύψει η ελάχιστη χρέωση για XZ > 5 kW

*Η συντελεστές δύο και τρία είναι ο ίδιος αριθμός όταν έχουμε τα τιμολόγια B2 ή B2B.

Η ομαδοποίηση των πέντε αυτών μεταβλητών μας δίνει τη συνταγή «Τιμολόγιο».

Elements		Data records			
Name	Display name	Tag	Text list	Default value	
E/KW	E/KW	E/KW	<undefined>	0	
E/KWh	E/KWh	E/KWh_400-	<undefined>	0	
E/KWh_400+	E/KWh_400+	E/KWh_400+	<undefined>	0	
Xrewsi_min+	Xrewsi_min+	Xrewsi_min+	<undefined>	0	
Xrewsi_min*	Xrewsi_min*	Xrewsi_min*	<undefined>	0	

Σχήμα 7.10 Πίνακας επιλογής των ονομάτων των μεταβλητών (συνταγή 1^η)

Elements		Data records			
Name	Display name	Number	E/KW	E/KWh	
B1	B1	1	12.064	0.07185	
B1B	B1B	3	9.9753	0.05901	
B2	B2	2	4.3497	0.09412	
B2B	B2B	4	3.616	0.07719	

Elements		Data records		
Name	E/KWh_400+	Xrewsi_min+	Xrewsi_min*	
B1	0.0476	276.38	2.7575	
B1B	0.03915	228.63	2.2788	
B2	0.09412	276.38	2.7575	
B2B	0.07719	228.63	2.2788	

Σχήμα 7.11 Πίνακες τιμών των συντελεστών (συνταγή 1^η)

Η δεύτερη «συνταγή» έχει να κάνει με το χρόνο εκτέλεσης της μέτρησης και γι' αυτό την ονομάσαμε ακριβώς έτσι. Έχουμε βρει μια αναλογία ανάμεσα στο χρόνο εκτέλεσης της μέτρησης και στις kWh στις οποίες πρέπει να αντιστοιχεί ο κάθε παλμός ενέργειας ώστε να προκύψει κάτι συγκρίσιμο με την κατανάλωση ενός καταναλωτή μέσης τάσης. Οι παραδοχές που έχουμε κάνει είναι λίγο αυθαίρετες αλλά έχουν ως βάση το φορτίο που πραγματικά χρησιμοποιήθηκε. Το πως προκύπτουν οι τιμές που έχουμε εισάγει στο πρόγραμμα θα το δούμε πιο αναλυτικά στο κομμάτι όπου επεξηγείται η συνδεσμολογία του κυκλώματος μέτρησης.

Elements		Data records			
Name	Display name	Tag	Text list	Default value	
KWh/Pulse	KWh/Pulse	KWh/pulse_WinCC	<undefined>	100	
Time_Base	Time_Base	Time_Base_sec	<undefined>	30	

Σχήμα 7.12 Πίνακας επιλογής των ονομάτων των μεταβλητών (συνταγή 2^η)

Elements		Data records			
Name	Display name	Number	KWh/Pulse	Time_Base	
10h (4KWh/pulse)	10h (4KWh/pulse)	4	4	900	
10m (200KWh/pulse)	10m (200KWh/pulse)	5	200	15	
200m (10KWh/pulse)	200m (10KWh/pulse)	3	10	300	
20m (100KWh/pulse)	20m (100KWh/pulse)	1	100	30	
40m (50KWh/pulse)	40m (50KWh/pulse)	2	50	60	

Σχήμα 7.13 Πίνακας τιμών των συντελεστών (συνταγή 2^η)

7.5 Καταγραφή δεδομένων

Η καταγραφή των δεδομένων είναι ένα σημαντικό κομμάτι της εργασίας καθώς δίνει στο χειριστή τη δυνατότητα να βγάλει επιπλέον χρήσιμα συμπεράσματα μέσω των βασικών μεγεθών που έχουν αποθηκευτεί. Για παράδειγμα μπορεί να υπολογίσει πόσο πρέπει να βελτιώσει το συνημίτονο ώστε να πετύχει μια ορισμένη μείωση στην χρέωση με δεδομένη την ενεργό κατανάλωση. Η καταγραφή των δεδομένων όμως είναι μια λεπτή υπόθεση αφού η αποθήκευση της κάθε μέτρησης πρέπει να γίνεται πριν τον μηδενισμό της ενέργειας τετάρτου από τον παλμό τετάρτου.

Επιπλέον η καταγεγραμμένη τιμή δεν μπορεί να καθυστερήσει πολύ να εμφανιστεί στην οθόνη γιατί τότε δεν θα είχαμε εποπτεία του συστήματος. Δεδομένου και του μικρού διαύλου επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστή και PLC αυτό καθίσταται ένα σοβαρό πρόβλημα.

Το πρόγραμμα μας παρέχει την δυνατότητα να επιλέξουμε τις προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες θα ξεκινήσει η καταγραφή των δεδομένων, όπως και το

μέγιστο αριθμό δεδομένων που μπορούν να αποθηκευτούν. Ένα λεπτό ζήτημα είναι και ο χειρισμός των δεδομένων της προηγούμενης μέτρησης εφόσον ξεκινά μια καινούργια.

Η καταγραφή των δεδομένων ξεκινά μόλις μεταφερόμαστε στην οθόνη “Trends”, όπως θα δούμε παρακάτω, αφού και οι τιμές που εμφανίζονται στα γραφήματα αυτά είναι αυτές που έχουν καταγραφεί (τα γραφήματα παίρνουν τα δεδομένα τους από τα Datalogs). Το σήμα για να καταγραφεί η επόμενη τιμή το δίνει ο παλμός τετάρτου και η καταγραφή των δεδομένων σταματά με τον τελευταίο παλμό τετάρτου που συμπίπτει με τη λήξη του προγράμματος. Βλέπουμε ότι έχουμε αποφύγει να ενεργοποιείται την καταγραφή των δεδομένων με την έναρξη εκτέλεσης του προγράμματος του WinCC. Η επιλογή αυτή έγινε για λόγους συγχρονισμού και μη αποθήκευσης περιττών δεδομένων (πριν την έναρξη εκτέλεσης κι από το PLC).

Name	No. of data rec...	Storage loc...	Path	Data source...	Response at runtime start
DataLog_1	2976	File	C:\Logs	System	Reset log
DataLog_2	2976	File	C:\Logs	System	Reset log

Name	No. of data rec...	Logging method	Fill level	Enable logging at runtime start
DataLog_1	2976	Circular log	90	Off
DataLog_2	2976	Circular log	90	Off

Σχήμα 7.14 Ρυθμίσεις που αφορούν την καταγραφή δεδομένων

7.6 Οι πράξεις

Οι πράξεις που πρέπει να εκτελεστούν για να προκύψει το τελικό ποσό αλλά και κάποιες λογικές διεργασίες δεν υποστηρίζονται άμεσα από το πρόγραμμα. Για αυτές τις περιπτώσεις το περιβάλλον προγραμματισμού μας παρέχει τη δυνατότητα να εκτελέσουμε κάποια scripts σε μια παραλλαγή της γλώσσας VBA (Visual Basic for Applications). Η παραλλαγή αυτή μας επιτρέπει να διαβάσουμε αλλά και να αποθηκεύσουμε κατευθείαν στις μεταβλητές του προγράμματος και μας παρέχει πολλές χρήσιμες συναρτήσεις που έχουν να κάνουν κυρίως με το χρόνο και τη διαχείριση αρχείων.

Τα scripts αυτά επιλέγουμε εμείς πότε θα εκτελεστούν ανάλογα με τις ανάγκες του προγράμματος και έτσι δεν αφαιρούν πολλούς πόρους από το σύστημα.

Το πρώτο script που εκτελείται ονομάζεται “start” και όπως υποδηλώνει και το όνομά του εκτελείται στην αρχή του προγράμματος μία φορά. Σκοπός του είναι να μεταφέρει τις τιμές kWh/Pulse και Time_Base που έχουμε ήδη αποθηκεύσει στον υπολογιστή, σε θέσεις μνήμης του PLC. Η τιμή Time_Base πολλαπλασιάζεται με το χίλια ώστε να έχει την κατάλληλη μονάδα μέτρησης (σε ms) για να διαβαστεί σωστά από το PLC. Ο λόγος που το κάνουμε αυτό είναι για

να μην επιβαρύνουμε το δίαυλο επικοινωνίας διαβάζοντας κάθε τόσο τις μεταβλητές από το PLC, εφόσον οι μεταβλητές αυτές παραμένουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης.

Ο κώδικας του script "start":

```
SmartTags("Time_Base")=1000*SmartTags("Time_Base_sec")
SmartTags("kWh/Pulse")=SmartTags("kWh/pulse_WinCC")
```

Παρατηρούμε ότι δεν χρειάζεται να δηλώσουμε τις μεταβλητές που έχουμε χρησιμοποιήσει. Το πρόγραμμα τις χειρίζεται αυτόματα μέσω της συνάρτησης SmartTags().

Το δεύτερο script βρίσκει την Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση (KMZ) και το Μέγιστο Αιχμής (MA). Επίσης υπολογίζει το συντελεστή χρησιμοποίησης ή Capacity Factor (CF) (τύπος 1.4 σελ.9) με την καινούργια Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση με τη μόνη διαφορά ότι δεν έχουμε διαιρέσει με το τριάντα εφόσον αναφερόμαστε σε ημερήσια κατανάλωση-χρέωση.

Ο κώδικας του script "max_f":

```
Dim P_15
```

```
P_15=SmartTags("EP_15")*4
If P_15>SmartTags("KMZ") Then
    SmartTags("KMZ")=P_15
End If
```

```
If SmartTags("AA_Tetartou")>16 Then
    If SmartTags("AA_Tetartou")<29 Then
        If SmartTags("MA")<P_15 Then
            SmartTags("MA")=P_15
        End If
    End If
End If
```

```
If SmartTags("KMZ")>0 Then
    SmartTags("CF")=100/24*SmartTags("EP_Total")/SmartTags("KMZ")
End If
```

```
If SmartTags("AA_Tetartou") = 40 Then
    ResetBit(SmartTags("System On"))
End If
```

Η Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση είναι η μέγιστη από τις ενέργειες που καταναλώθηκαν σε ένα τέταρτο της ώρας επί το τέσσερα όπως έχουμε εξηγήσει στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας. Η μεταβλητή P_15 είναι η τρέχουσα Ζήτηση

που κατόπιν ελέγχεται αν είναι η όχι μεγαλύτερη από την προηγούμενη KMZ. Αν η τρέχουσα τιμή είναι μεγαλύτερη από την, μέχρι εκείνη τη στιγμή, μέγιστη ζήτηση την αντικαθιστά.

Από τον κώδικα φαίνεται ότι για να βρούμε το Μέγιστο Αιχμής πρέπει να γνωρίζουμε αν βρισκόμαστε στις ώρες αιχμής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του "AA_Tetartou" που είναι ο αύξοντας αριθμός τετάρτου. Έχοντας κάνει κάποιες παραδοχές που θα εξηγήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο μπορούμε να πούμε πως το σύστημα εκκινεί συγκεκριμένη ώρα της ημέρας και βάση αυτού μπορούμε να υπολογίσουμε αν βρισκόμαστε ή όχι μέσα στο χρονικό διάστημα 11π.μ. με 2μ.μ., που βάση νόμου αποτελεί τις ώρες αιχμής.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης λαμβάνοντας χρονικό διάστημα μίας ημέρας αφού και η τιμολόγηση γίνεται σε ημερήσια βάση. Τέλος ελέγχεται με βάση τον αριθμό των τετάρτων που έχουν παρέλθει αν το πρόγραμμα πρέπει να τερματιστεί. Πάλι βάση παραδοχών που θα εξηγήσουμε, έχουμε ορίσει χρόνο εκτέλεσης τις δέκα (εικονικές) ώρες.

Το επόμενο script που χρησιμοποιήσαμε θα μπορούσαμε να το έχουμε ενοποιήσει με το προηγούμενο, αφού και τα δύο εκτελούνται με τη λήψη του παλμού τετάρτου. Επιλέξαμε όμως να το χωρίσουμε σε δύο κομμάτια για λόγους διευκόλυνσης της κατανόησης. Το script που ακολουθεί το ονομάσαμε "cos" αφού αυτό ακριβώς είναι που υπολογίζει. Ο τύπος υπολογισμού του συνημιτόνου είναι αυτός που αναφέραμε στο πρώτο κεφάλαιο (τύπος 1.1 σελ.8) κι έτσι ο κώδικας έχει ως εξής:

Dim Help

```
If SmartTags("EP_Total")<>0 Then
```

```
    Help = SmartTags("EQ_Total")/SmartTags("EP_Total")
```

```
    Help = Help^2
```

```
    Help = Help+1
```

```
    Help = Sqr(Help)
```

```
    SmartTags("COS") = 1/Help
```

```
Else SmartTags("COS")=0
```

```
End If
```

```
SmartTags("COS_T")=1000*SmartTags("COS")
```

Πριν ξεκινήσουμε τις πράξεις πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι το συνημίτονο ορίζεται για την ενεργό ενέργεια που είναι αποθηκευμένη. Αν αυτή δεν είναι μηδέν συνεχίζουμε με τις πράξεις. Τέλος έχουμε ορίσει μια βοηθητική μεταβλητή, την COS_T, η οποία ισούται με το συνημίτονο επί το χίλια. Αυτό το κάνουμε γιατί το πρόγραμμα δεν μπορεί να συγκρίνει αριθμούς μικρότερους του ένα, πράγμα που μας χρειάζεται για την ενημέρωση του χρήστη (θα το δούμε αναλυτικότερα πιο κάτω).

Το τελευταίο κομμάτι κώδικα που χρειάστηκε να δημιουργηθεί είναι αυτό που υπολογίζει την τελική χρέωση, εφόσον όλα τα υπόλοιπα μεγέθη, φυσικά και μη, έχουν αποθηκευτεί ή υπολογιστεί αντίστοιχα. Η βασική διαφορά του με τα τρία προηγούμενα scripts είναι ότι επιλέγουμε εμείς πότε θα εκτελεστεί. Ο χρήστης έτσι έχει τη δυνατότητα να ελέγξει ανά πάσα στιγμή ποιό από τα τέσσερα (ουσιαστικά δύο) είδη τιμολογίου είναι το πιο συμφέρον γι' αυτόν ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας και τη μέγιστη ζήτηση που έχει. Μπορεί να ελέγξει τις τιμές αυτές και πριν την ολοκλήρωση της μέτρησης αν και αυτό δεν έχει κάποια πρακτική αξία.

Για την καλύτερη κατανόηση θα εξηγήσουμε τα κομμάτια του προγράμματος ένα προς ένα όπως έχουν χωριστεί παρακάτω, αφού κάθε ένα από αυτά υπολογίζει ένα άλλο μέγεθος.

Ο κώδικας του script "calc" (Μέρος Α):

```
Dim MA_Temp
```

```
If SmartTags("COS")>=0.95 Then
```

```
    SmartTags("XZ")=SmartTags("KMZ")*0.85/SmartTags("COS")
```

```
Else SmartTags("XZ")=SmartTags("KMZ")*(1+(0.87/SmartTags("COS")-1)*1.25)
```

```
End If
```

```
SmartTags("Xrewsi_P_a")=SmartTags("XZ")*SmartTags("E/kW")/30
```

```
If SmartTags("CF")>30 Then
```

```
    If SmartTags("MA")=0 Then
```

```
        MA_Temp=SmartTags("KMZ")
```

```
    Else MA_Temp=SmartTags("MA")
```

```
    End If
```

```
    SmartTags("Discount_P")=5/3*(MA_Temp/SmartTags("KMZ")-1)*
```

```
    SmartTags("Xrewsi_P_a")
```

```
End If
```

```
SmartTags("Xrewsi_P")=SmartTags("Xrewsi_P_a")+SmartTags("Discount_P")
```

Στο πρώτο κομμάτι υπολογίζεται η χρέωση ισχύος, αρχικά χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η πιθανή έκπτωση (τύπος 1.4 σελ.9) λόγω καλού συντελεστή χρησιμοποίησης. Υπολογίζεται η Χρεωστική Ζήτηση (τύπος 1.2 σελ.8) η οποία προκύπτει από δύο διαφορετικούς τύπους ανάλογα με το πόσο καλό είναι το συνημίτονο και στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με μία σταθερά του εκάστοτε τιμολογίου που μετατρέπει την ισχύ σε ευρώ. Από την τιμή που προέκυψε αφαιρείται η πιθανή έκπτωση και καταλήγουμε στην τελική τιμή για τη χρέωση της ισχύος. Εδώ πρέπει να διευκρινιστεί ότι η τιμή "Discount_P" είναι αρνητική αφού το Μέγιστο Αιχμής είναι μικρότερο ή ίσο της Καταγραφείσας Μέγιστης Ζήτησης. Αυτός είναι κι ο λόγος που στην τελευταία σειρά του κώδικα προσθέτουμε και δεν αφαιρούμε την έκπτωση.

Ο κώδικας του script “calc” (Μέρος Β):

```
Dim klimakio
```

```
klimakio=40/3*SmartTags("KMZ")
```

```
If klimakio>SmartTags("EP_Total") Then
```

```
SmartTags("Xrewsi_E1")=SmartTags("EP_Total")*SmartTags("E/kWh_400-")
```

```
Else SmartTags("Xrewsi_E1")=klimakio*SmartTags("E/kWh_400-")
```

```
SmartTags("Xrewsi_E2")=SmartTags("E/kWh_400+")*
```

```
(SmartTags("EP_Total")-klimakio)
```

```
End If
```

```
SmartTags("Xrewsi_E_Tot")=SmartTags("Xrewsi_E1")+SmartTags("Xrewsi_E2")
```

Στο δεύτερο κομμάτι του κώδικα υπολογίζεται η χρέωση ενέργειας. Στην αρχή του ορίζεται μια μεταβλητή που ονομάζεται klimakio. Η μεταβλητή αυτή είναι ανάλογη της Καταγραφείσας Μέγιστης Ζήτησης και αποτελεί ουσιαστικά ένα όριο. Η χρέωση για κατανάλωση ενέργειας πάνω από αυτή την τιμή είναι μικρότερη για τα τιμολόγια B1 και B1B, δίνοντας επιπλέον κίνητρα στους πελάτες για πιο ομαλή καμπύλη κατανάλωσης. Αν η συνολική κατανάλωση ενέργειας έχει υπερβεί την τιμή klimakio, τότε πρέπει να υπολογίσουμε ξεχωριστά τη χρέωση για την ενέργεια που καταναλώθηκε πάνω από αυτή την τιμή σε σχέση με την υπόλοιπη. Αθροίζονται τέλος οι δύο τιμές από τις δύο χρεώσεις ενέργειας και προκύπτει η συνολική. Όλα τα παραπάνω βέβαια εξηγούνται καλύτερα στο πρώτο κεφάλαιο (παράγραφος 1.2.7 σελ.9).

Ο κώδικας του script “calc” (Μέρος Γ):

```
If SmartTags("XZ")<=5 Then
```

```
SmartTags("Xrewsi_Min")=SmartTags("Xrewsi_min+)/30
```

```
Else SmartTags("Xrewsi_Min")=SmartTags("Xrewsi_min")*
```

```
(SmartTags("XZ")-5)/30+SmartTags("Xrewsi_min+)/30
```

```
End If
```

```
SmartTags("Xrewsi_Tot")=SmartTags("Xrewsi_E_Tot")+SmartTags("Xrewsi_P")
```

```
If SmartTags("Xrewsi_Tot")<SmartTags("Xrewsi_Min") Then
```

```
SmartTags("Xrewsi_Tot")=SmartTags("Xrewsi_Min")
```

```
End If
```

Στο τελευταίο κομμάτι του κώδικα υπολογίζεται η ελάχιστη δυνατή χρέωση και η ολική χρέωση. Όπως φαίνεται κι από την επεξήγηση των τιμολογίων στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχει μια ελάχιστη χρέωση ώστε να συμφέρει τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας να συνδεθεί ο χρήστης στη μέση τάση. Η χρέωση αυτή είναι σταθερή για Χρεωσταία Ζήτηση κάτω από 5kW και από εκεί και πάνω

αυξάνεται γραμμικά. Αν το άθροισμα των χρεώσεων της ενέργειας και της ισχύος που έχουμε βρει δεν υπερβαίνει την ελάχιστη χρέωση τότε θα χρεωθούμε αυτήν.

Όπως φαίνεται από τον κώδικα στη συνολική χρέωση δεν έχουν συμπεριληφθεί οι δημοτικές χρεώσεις, οι χρεώσεις υπέρ Α.Π.Ε. (Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), αλλά ούτε καν ο Φ.Π.Α. 8% (Φόρος Προστιθέμενης Αξίας). Αυτό έγινε γιατί κύριο μέλημα της εργασίας είναι να εξακριβώσει ο καταναλωτής πόσο καταναλώνει και πόσο μπορεί να μειώσει τις οφειλές του προς τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ) και με ποιο τρόπο. Δεν ενδιαφέρει λοιπόν το πόσο πληρώνει, αλλά το πόσο λιγότερο μπορεί να πληρώσει. Ούτως ή άλλως αν εξαιρεθεί το ΦΠΑ που αποτελεί μια σταθερή επιβάρυνση σε σχέση με το σύνολο του τιμολογίου, οι υπόλοιπες χρεώσεις αποτελούν ένα πολύ μικρό κομμάτι της συνολικής χρέωσης

7.7 Το περιβάλλον αλληλεπίδρασης

Όλα τα παραπάνω στοιχεία που είδαμε σε αυτό το κεφάλαιο συνδυάζονται ώστε να μας δώσουν το γραφικό αποτέλεσμα που ακολουθεί. Σ' αυτό ο χρήστης μπορεί να κάνει τις επιλογές του και να ελέγξει την εξέλιξη της μέτρησης. Το περιβάλλον αλληλεπίδρασης με το χρήστη αποτελείται από τέσσερα μέρη.

**Πρόγραμμα ημερήσιας τιμολόγησης
καταναλωτή μέσης τάσης**

Επιλέξτε χρόνο εκτέλεσης

Επιλέξτε τιμολόγιο (προαιρετικά)

Συντομογραφίες

Power Factor = P.F.
Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση = KMZ
Μέγιστο Αιχμής = MA
Συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor) = CF

Εκκίνηση

Πριν πιέσετε το πλήκτρο της εκκίνησης βεβαιωθείτε ότι έχετε ξεκινήσει την εκτέλεση του προγράμματος από το PLC (RUN)

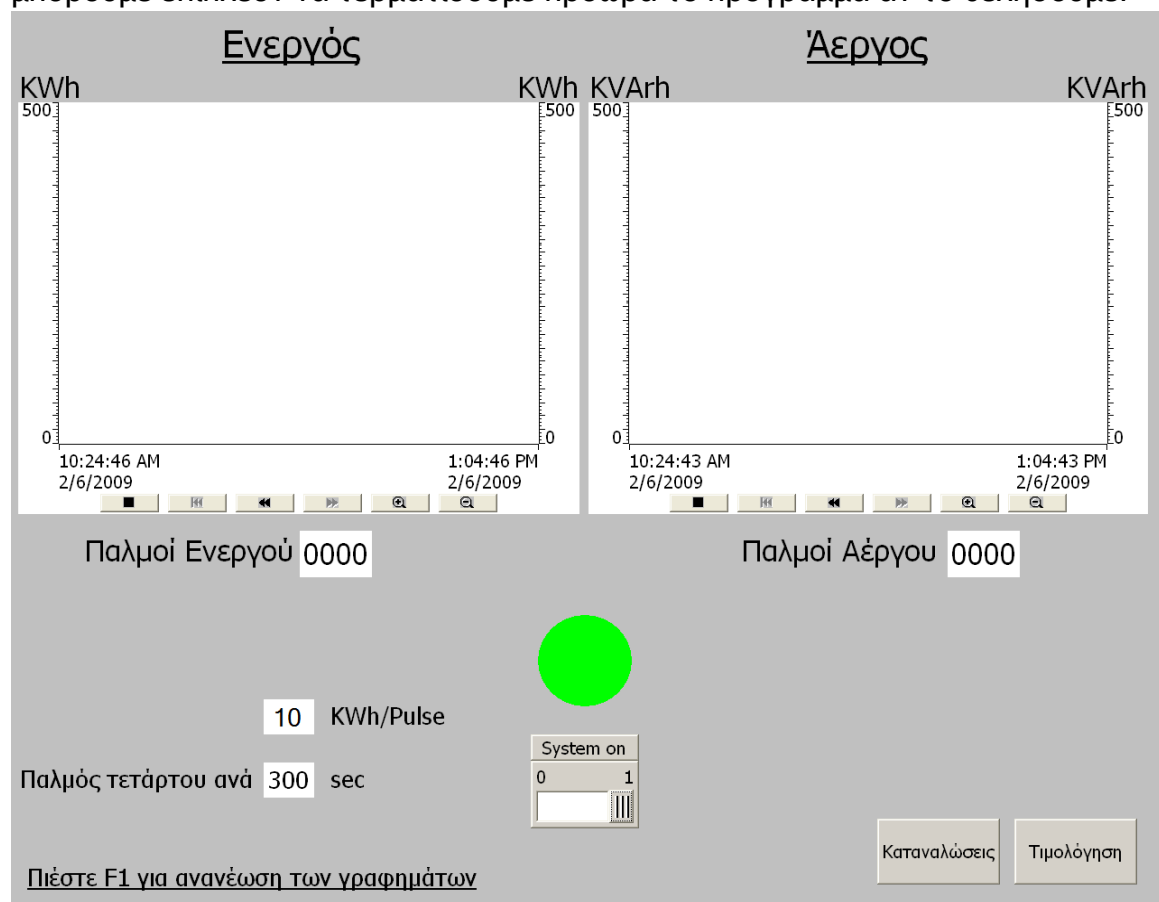
Σχήμα 7.15 Οθόνη Start

Το πρώτο μέρος, η οθόνη Start, είναι μια εισαγωγική οθόνη που μας επιτρέπει να κάνουμε κάποιες απαραίτητες ρυθμίσεις πριν την έναρξη της μέτρησης. Επίσης περιέχει κάποιες επεξηγήσεις όσον αφορά τα μεγέθη που έχουν χρησιμοποιηθεί και τις συντομογραφίες αυτών.

Πατώντας το πλήκτρο «Εκκίνηση» που βρίσκεται στην οθόνη εκτελείται το script “start”, η μεταβλητή “System On” γίνεται 1 και μεταφερόμαστε αυτόματα στην οθόνη “Trends”.

Πρέπει να προσέξουμε όμως να έχουμε επιλέξει χρόνο εκτέλεσης αλλά και να έχουμε γυρίσει το διακόπτη λειτουργίας του PLC στη θέση RUN. Αν δεν έχουμε επιλέξει το χρόνο εκτέλεσης, θα δημιουργηθεί σοβαρό πρόβλημα, αφού θα ενεργοποιηθεί το χρονικό που έχουμε εισάγει στον κώδικα του PLC χωρίς να έχει εισαχθεί σε αυτό ο χρόνος λειτουργίας του, γεγονός που θα οδηγούσε σε σφάλμα και θα σταματούσε την εκτέλεση από το PLC. Στη δεύτερη περίπτωση πρέπει να είμαστε εξίσου προσεκτικοί και να έχουμε φροντίσει ώστε να έχει εκκινήσει το PLC γιατί σε διαφορετική περίπτωση δεν θα πάρει ποτέ η μεταβλητή “System On” την τιμή 1 (η συνάρτηση OB100 τη μηδενίζει) και ουσιαστικά δεν θα εκκινήσει ποτέ η μέτρηση.

Οι υπόλοιπες τρεις οθόνες έχουν εποπτικό χαρακτήρα. Μπορούμε σε αυτές να δούμε την εξέλιξη της μέτρησης όπως αναφέραμε και παραπάνω και μπορούμε να περάσουμε ανά πάσα στιγμή από τη μία στην άλλη. Από την οθόνη “Trends” μπορούμε επιπλέον να τερματίσουμε πρόωρα το πρόγραμμα αν το θελήσουμε.



Σχήμα 7.16 Οθόνη Trends

Από την επιλογή που έχουμε κάνει για το χρόνο εκτέλεσης της μέτρησης προκύπτουν οι σταθερές στο κάτω αριστερό μέρος της οθόνης. Για παράδειγμα, για χρόνο εκτέλεσης 200min θα παίρνουμε ένα παλμό τετάρτου ανά 300sec και κάθε παλμός ενέργειας θα αντιστοιχεί σε 10kW, ώστε να πάρουμε αποτέλεσμα ανάλογο ενός καταναλωτή μέσης τάσης δεδομένου του φορτίου.

Στο πάνω μέρος της οθόνης φαίνονται οι γραφικές των ενεργειών, ενεργού και αέργου, συναρτήσεως του χρόνου. Επειδή το πρόγραμμα δεν μας παρέχει την επιλογή να ανανεώνονται αυτόματα τα γραφήματα με την λήψη της καινούργιας τιμής μπορούμε να πιέσουμε το πλήκτρο F1 από το πληκτρολόγιο.

Στα κουτάκια ακριβώς κάτω από τα γραφήματα βλέπουμε σε πραγματικό χρόνο τον αριθμό των παλμών ενεργού και αέργου ενέργειας του τρέχοντος τετάρτου (πριν πάρουμε τον παλμό τετάρτου που το τερματίζει). Οι παλμοί αυτοί δεν έχουν αντιστοιχιστεί ακόμη σε ενέργειες και δεν είναι εμφανείς στα γραφήματα. Τέλος στο κάτω δεξιά μέρος της οθόνης βλέπουμε τα δύο πλήκτρα που μας μεταφέρουν στις δύο άλλες οθόνες εποπτείας. Το πλήκτρο «Καταναλώσεις» μας μεταφέρει στην οθόνη “Main” ενώ το πλήκτρο «Τιμολόγηση» στην οθόνη “Charge”.

Η οθόνη “Main” είναι η οθόνη που περιέχει όλα τα μεγέθη, φυσικά και μη, που χρειάζονται για την τιμολόγηση εκτός των οικονομικών συντελεστών, και είναι καθαρά εποπτική. Η μόνη παρεμβάσεις που μπορούμε να κάνουμε εδώ είναι να μεταφερθούμε στις δύο άλλες οθόνες.



Σχήμα 7.17 Οθόνη Main

Η κίτρινη φωτεινή ένδειξη στα αριστερά είναι εμφανής μόνο κατά τις ώρες αιχμής ώστε να ενημερώνεται ο μηχανικός-υπεύθυνος της μονάδας που καταναλώνει και αν αυτό είναι δυνατόν να μειώνει την κατανάλωση τις ώρες αυτές, «κόβοντας» κάποια περιττά φορτία. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά του Μέγιστου Αιχμής και της Καταγραφείσας Μέγιστης Ζήτησης τόσο μεγαλύτερη έκπτωση πετυχαίνουμε στο τιμολόγιό μας. Οι ενδείξεις κάτω από το συντελεστή ισχύος είναι εμφανείς μόνο αν αυτός είναι «κακός». Μια τιμή του συντελεστή κάτω από το 0,87 ενεργοποιεί την κόκκινη ένδειξη, ενώ μια τιμή ανάμεσα σε 0,87 και 0,949 ενεργοποιεί την κίτρινη ένδειξη. Ο συντονιστής και στις δύο περιπτώσεις καταλαβαίνει ότι η εγκατάσταση χρειάζεται αντιστάθμιση με πυκνωτές ή γενικότερα περιορισμό της αέργου κατανάλωσης.

Όπως και στην προηγούμενη οθόνη στο κάτω δεξί μέρος υπάρχουν τα κουμπιά που μας μεταφέρουν στις δύο άλλες.

Η τέταρτη και τελευταία οθόνη έχει να κάνει με τη χρέωση. Εμφανίζονται σ' αυτήν τόσο οι επιμέρους τιμές χρέωσης ενέργειας και ισχύος αλλά και η έκπτωση στη χρέωση ισχύος και η συνολική χρέωση. Η χρέωση της ενέργειας διαιρείται στις αξίες του κλιμακίου ένα και δύο.

<u>Ισχύς</u>		
Αξία	0.00	
Ποσό Έκπτωσης	+0.00	
Σύνολο	0.00	
<u>Ενέργεια</u>		Επιλέξτε τιμολόγιο
Αξία Κλ.1	0.00	B1
Αξία Κλ.2	0.00	
Σύνολο	0.00	Τιμολόγηση
<u>Συνολική Χρέωση Ημέρας</u>		0.00

Οι τιμές είναι σε ευρώ και ισχύουν από 1/7/2008

Γραφήματα Καταναλώσεις

Σχήμα 7.18 Οθόνη Charge

Βλέπουμε στην δεξιά πλευρά ότι μπορούμε να αλλάξουμε κι από εδώ τον τύπο του τιμολογίου και πατώντας το πλήκτρο «Τιμολόγηση» να τρέξουμε το script “calc” που υπολογίζει εκ νέου τη χρέωση με τις σταθερές του επιλεγμένου τιμολογίου. Η επιλογή αυτή μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμη ώστε να επιλέξουμε το τιμολόγιο που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες της επιχείρησής μας. Οι συντελεστές των τιμολογίων ισχύουν από την 1/7/2008 μέχρι και σήμερα όπως αναφέρεται και στο κάτω αριστερό μέρος της οθόνης.

Αν και μπορούμε να υπολογίσουμε τη χρέωση καθ’ όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος και με οποιοδήποτε από τα τιμολόγια, στην πράξη αυτό δεν έχει κάποια ουσία αφού το αποτέλεσμα δεν θα ήταν αντιπροσωπευτικό. Τέλος και αυτή η οθόνη έχει συντομεύσεις για τις άλλες δύο.

8. Μετρητική διάταξη

8.1 Όργανα που την αποτελούν

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στη μέτρηση είναι:

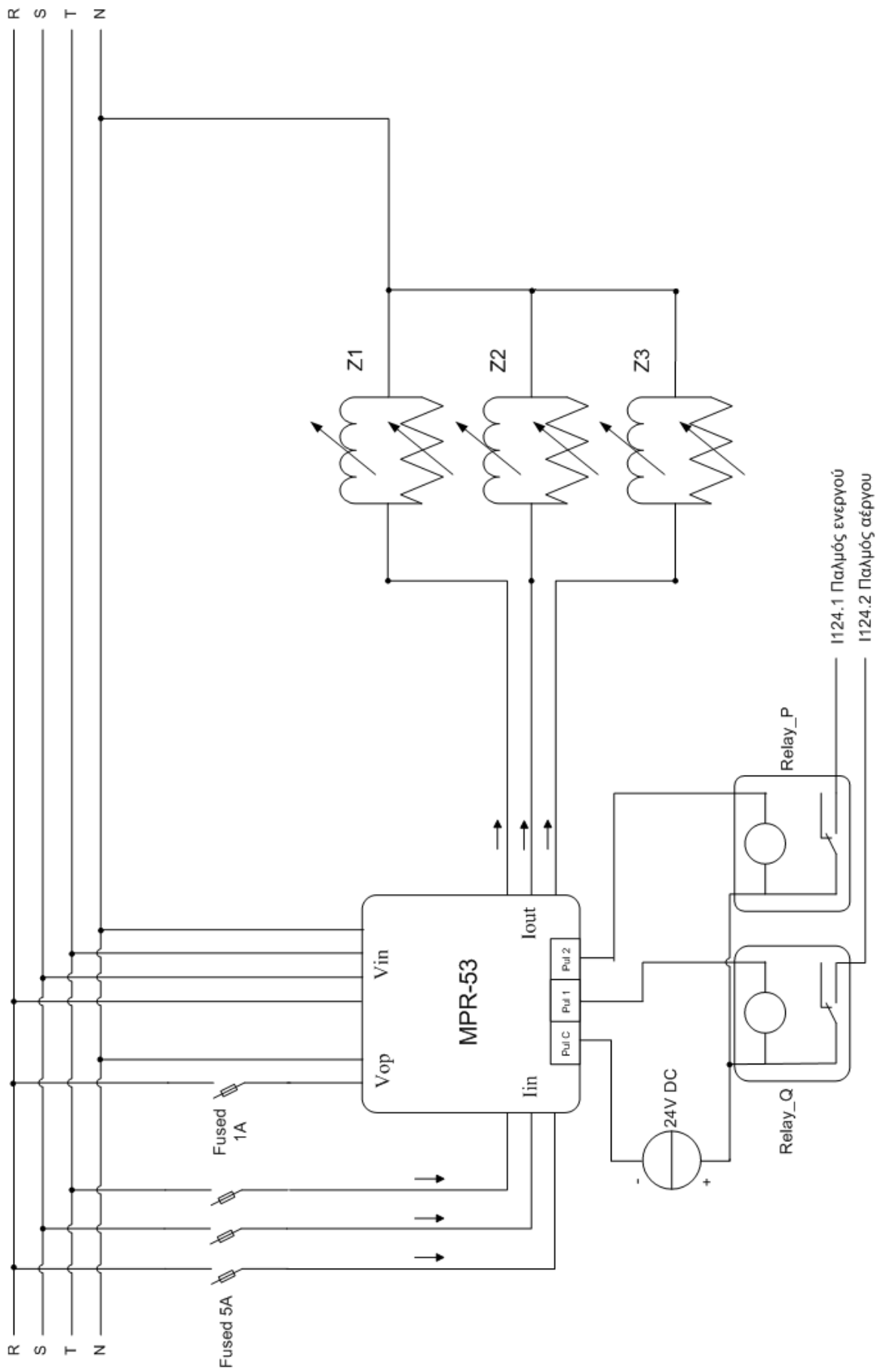
- Ο αναλυτής ενέργειας
- Ο τριφασικός μεταβλητός αντιστάτης
- Το τριφασικό μεταβλητό πηνίο
- Τρεις ασφάλειες των 5A και μία του 1A
- Μια πηγή σταθερής τάσης 24V DC
- Δύο ηλεκτρομηχανικά ρελέ
- Ένα PLC της σειράς S7-300
- Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής
- Η συσκευή σύνδεσης του H/Y με το PLC

8.2 Σύντομη περιγραφή και πολυγραμμικό σχέδιο

Κάθε μία από τις τρεις φάσεις του μεταβλητού αντιστάτη συνδέεται παράλληλα με μία από τις τρεις φάσεις του μεταβλητού πηνίου. Στα άκρα της σύνθετης αλλά και μεταβλητής αυτής αντίστασης εφαρμόζεται η φασική τάση του δικτύου. Τα ρεύματα της μέτρησης μας είναι τα ρεύματα που διαρρέουν την κάθε μία από αυτές τις αντιστάσεις και οι τάσεις που μετράμε είναι οι φασικές τάσεις του τριφασικού δικτύου. Η επιτρεπόμενες τιμές που μπορεί να πάρει η αντίσταση στο ανά φάση φορτίο που προκύπτει θα αναλυθούν εκτενέστερα στην παράγραφο 8.3.

Το μέγιστο ρεύμα που επιτρέπεται να διαρρέυσει τις εισόδους ρεύματος του αναλυτή ενέργειας είναι 5A. Για το λόγο αυτό έχουμε τοποθετήσει εν σειρά ασφάλειες τήξεως των 5A πριν από την είσοδο του αναλυτή. Ασφάλεια έχουμε τοποθετήσει όμως και στην είσοδο της βοηθητικής τάσης σύμφωνα πάντα με τον κατασκευαστή. Εκεί το μέγιστο ρεύμα έχει οριστεί στο 1A, αν και η κατανάλωση του οργάνου θεωρητικά είναι μικρότερη από αυτή την τιμή (4VA). Όπως αναφέραμε και στο 4^ο κεφάλαιο η πηγή των 24V DC προήλθε από το τροφοδοτικό του PLC. Το ρεύμα που τραβήξαμε από αυτό είναι σχεδόν μηδενικό και δεν του δημιουργούμε πρόβλημα υπερφόρτωσης (έχει μέγιστο ρεύμα εξόδου τα 2A) .

Η συνδεσμολογία όσον αφορά τα δύο ρελέ βασίζεται στην εξής λογική. Κάθε φορά που έχουμε λογικό «1» σε μία από τις δύο εξόδους του αναλυτή, αυτή μηδενίζεται (βλ. Σχήμα 3.6 σελ.37) δημιουργώντας διαφορά τάσης 24V στην είσοδο του ρελέ. Τότε αλλάζει η μεταγωγική επαφή στην έξοδο του ρελέ και η τάση των 24V μεταφέρεται στην άλλη πλευρά που μας οδηγεί σε μία από τις δύο εισόδους του PLC που χρησιμοποιήσαμε (I124.1, I124.2). Όλα τα παραπάνω εκτός από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και το PLC φαίνονται στο πολυγραμμικό σχέδιο που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα και που δίνει μια σαφή εικόνα για το συνολικό τρόπο σύνδεσης των συσκευών.



Σχήμα 8.1 Πολυγραμμικό σχέδιο μετρητικής διάταξης (εκτός του Η/Υ και του PLC)

Το PLC συνδέεται από την μία πλευρά με τις εξόδους των ρελέ και από την άλλη με τον υπολογιστή, μέσω της συσκευής “PC Adapter USB” της Siemens. Για να επικοινωνήσουν σωστά οι δύο συσκευές έχουμε εγκαταστήσει στον υπολογιστή τους απαραίτητους οδηγούς (drivers).

8.3 Περιορισμοί στο φορτίο

Κύρια μας ενδιαφέρει η κατανάλωση της ενεργού ισχύος για τη μέτρηση μας, κι αυτό γιατί η άεργος επεμβαίνει μόνο στον συντελεστή ισχύος. Θα πρέπει να βρούμε λοιπόν ποια είναι η μέγιστη πραγματική ισχύ που μπορεί να καταναλώσει το φορτίο μας δεδομένης και της τάσης, και να θεωρήσουμε μετά ένα συντελεστή με τον οποίο να πολλαπλασιάζουμε την ισχύ αυτή ώστε να πάρουμε κάτι ανάλογο της ισχύος ενός καταναλωτή μέσης τάσης. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι 3MW είναι η μικρότερη ισχύς που μπορεί να απορροφήσει ένας καταναλωτής στις ώρες αιχμής για να του επιτρέψει η ΔΕΗ να συνδεθεί το φορτίο του στη μέση τάση (μετά από ειδική αίτηση μπορεί να επιτραπεί και σε μικρότερο φορτίο να συνδεθεί).

Η μέγιστη τιμή της ενεργού ισχύος που μπορούμε να πάρουμε άμεσα είναι:

$$P_{3\Phi} = 3 \cdot V \cdot I = 3 \cdot 230 \cdot 5 = 3450W \quad (8.1)$$

Στο παραπάνω θεωρήσαμε μόνο το πραγματικό μέρος γιατί αν θεωρήσουμε ότι περνάει κάποιο ρεύμα από το πηνίο, τότε πρέπει να περάσει μικρότερη ποσότητα ρεύματος από την αντίσταση ώστε να μην καεί η ασφάλεια των 5A που υπάρχει σε κάθε φάση.

Ορίζοντας στον αναλυτή ενέργειας ένα μετασχηματισμό ρεύματος 1000:1 (στην πραγματικότητα δεν υπάρχει) μπορούμε να πάρουμε συχνότητα παλμών ενέργειας ανάλογη ενός φορτίου ισχύος 3,45MW.

Σ’ αυτό το σημείο αντιμετωπίσαμε κάποια πιο πρακτικά προβλήματα. Αν εισαχθεί στον αναλυτή ενέργειας μετασχηματισμός τάσεως (VT) μεγαλύτερος του 1:1 ή μετασχηματισμός ρεύματος (CT) μεγαλύτερος του 1000:1, παίρνουμε ένα παλμό ανά περισσότερες από μία κιλοβατώρες αυτόματα. Έτσι τα 3,45MW είναι ένας περιορισμός που δεν μπορούμε να ξεπεράσουμε.

Ο περιορισμός αυτός γίνεται ακόμη μεγαλύτερος αν σκεφτούμε ότι και η μέγιστη συχνότητα παλμών που μπορούμε να πάρουμε είναι περιορισμένη. Ο αναλυτής ενέργειας δίνει το πολύ ένα παλμό ανά 1,6 δευτερόλεπτα (βλ. Πίνακα 2 σελ.34). Δηλαδή στην πράξη μπορούμε να μετρήσουμε με ακρίβεια μίας κιλοβατώρας, μέγιστη ενεργό ισχύ όχι μεγαλύτερη από $P=2,25MW$. Η τιμή αυτή προκύπτει αν διαιρέσουμε τον αριθμό των δευτερολέπτων που έχει μία ώρα με τον ελάχιστο χρόνο που θα κάνει ο αναλυτής να μας δώσει τον επόμενο παλμό.

Έτσι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να περάσει από τον αντιστάτη ώστε να μην έχουμε σφάλμα στη μέτρησή μας είναι:

$$I = \frac{P_{3\Phi}}{3 \cdot V} = \frac{2250}{3 \cdot 230} \approx 3,26A \quad (8.2)$$

Αντίστοιχα η μικρότερη πραγματική αντίσταση που μπορούμε να έχουμε είναι:

$$R = \frac{3 \cdot V^2}{P_{3\Phi}} = \frac{3 \cdot 230^2}{2250} \approx 70,53\Omega \quad (8.3)$$

Οι ίδιοι περιορισμοί ισχύουν και για το φανταστικό κομμάτι της αντίστασης του οποίου η τιμή θα πρέπει να μην γίνει μικρότερη από 70,53Ω.

Με γνωστά την τάση (230V) στα άκρα του φορτίου και το μέγιστο ρεύμα (5A) λόγω της ασφάλειας τήξεως, η μικρότερη δυνατή σύνθετη αντίσταση που μπορούμε να πάρουμε είναι:

$$|Z| = \frac{|V|}{|I|} = \frac{230}{5} = 46\Omega \quad (8.4)$$

Αν λάβουμε υπόψη όμως και τους περιορισμούς τόσο στον αντιστάτη όσο και στο πηνίο λόγω του αναλυτή ενέργειας ($R=X=70,53\Omega$), θα δούμε ότι πρέπει η συνολική σύνθετη αντίσταση να είναι μεγαλύτερη από:

$$|Z| = \frac{|i \cdot R \cdot X|}{|R + i \cdot X|} = \frac{70,53^2}{\sqrt{2 \cdot 70,53^2}} = 49,87\Omega \quad (8.5)$$

Από τους δύο περιορισμούς υπερσχύει προφανώς ο δεύτερος. Άρα συνολικά αυτό που πρέπει να προσέχουμε είναι η τιμή της αντίστασης του αντιστάτη και του πηνίου να μην είναι μικρότερες των 70,53Ω η κάθε μία. Στον αντιστάτη, αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο πάνω διακόπτης δεν πρέπει να βρεθεί στις θέσεις 3, 4 και 5, ενώ εάν βρεθεί στη θέση 2 μπορεί να συνδυαστεί μόνο με τις θέσεις 1 και 2 του κάτω διακόπτη. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι οι δύο διακόπτες ανά φάση ελέγχουν αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα (βλ. παράγραφο 5.1 σελ.41). Στο πηνίο από την άλλη ένα διακόπτης ελέγχει και τις τρεις φάσεις συγκεντρωτικά. Για μια σωστή μέτρηση δεν μπορεί να πάρει τις κάποια θέση μετά την 5 η οποία αντιστοιχεί σε 80Ω αντίσταση ανά φάση.

Με δεδομένο το φορτίο και τον αναλυτή ενέργειας βλέπουμε ότι η ενεργός ισχύς που προέκυψε δεν είναι επαρκής για να θεωρηθεί σαν κατανάλωση μέσης τάσης. Δεν έχουμε λοιπόν άλλη επιλογή από το να αντιστοιχίσουμε τον κάθε παλμό που παίρνουμε σε παραπάνω από μία kWh. Η αναλογία που επιλέχθηκε είναι ο κάθε παλμός ενέργειας να ισούται με 4kWh (kVarh αντίστοιχα) για εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο.

8.4 Εικονικός χρόνος εκτέλεσης

Ο εικονικός χρόνος εκτέλεσης της μέτρησης επιλέχθηκε να είναι οι δέκα ώρες. Ο χρόνος αυτός δεν ήταν τυχαίος μιας και αποτελεί ένα οριακό σημείο για να προτιμήσει κανείς το τιμολόγιο B1B ή το B2B (βλ. παράγραφο 1.3 σελ.10-11).

Οι δέκα ώρες προφανώς αντιστοιχούν σε 40 τέταρτα της ώρας. Γι' αυτό και σύμφωνα με το πρόγραμμα "max_f" που εκτελείται στο τέλος κάθε τετάρτου, στο τέλος του τεσσαρακοστού τετάρτου η εκτέλεση του προγράμματος τερματίζεται.

9. Η μέτρηση και τα αποτελέσματά της

9.1 Πραγματικός χρόνος εκτέλεσης

Πρακτικά το να επιβλέπει κάποιος τη μέτρηση για χρονικό διάστημα δέκα ωρών, αλλά και να μεταβάλλει την αντίσταση είναι πολύ επίπονο, γι' αυτό και μειώσαμε το χρόνο τετάρτου στα πέντε λεπτά. Ο παλμός ενέργειας τότε έπρεπε να αντιστοιχιστεί σε 10kWh (kVarh αντίστοιχα) τουλάχιστον, ώστε να προκύψει κάτι αποδεκτό. Όλες οι επιλογές για τους χρόνους εκτέλεσης με τις αντίστοιχες τιμές σε kWh ανά παλμό, φαίνονται στο σχήμα 7.13 (σελίδα 61).

9.2 Η εξέλιξη της εκτέλεσης

Αφού πραγματοποιήσαμε τη συνδεσμολογία όπως αυτή φαίνεται στο σχήμα 8.1 και φορτώσαμε τα αντίστοιχα προγράμματα σε PLC και Η/Υ, ξεκινήσαμε τη μέτρηση.

Πρόγραμμα ημερήσιας τιμολόγησης
καταναλωτή μέσης τάσης

Επιλέξτε χρόνο εκτέλεσης
200m (10KWh/pulse)

Επιλέξτε τιμολόγιο (προαιρετικά)
B1

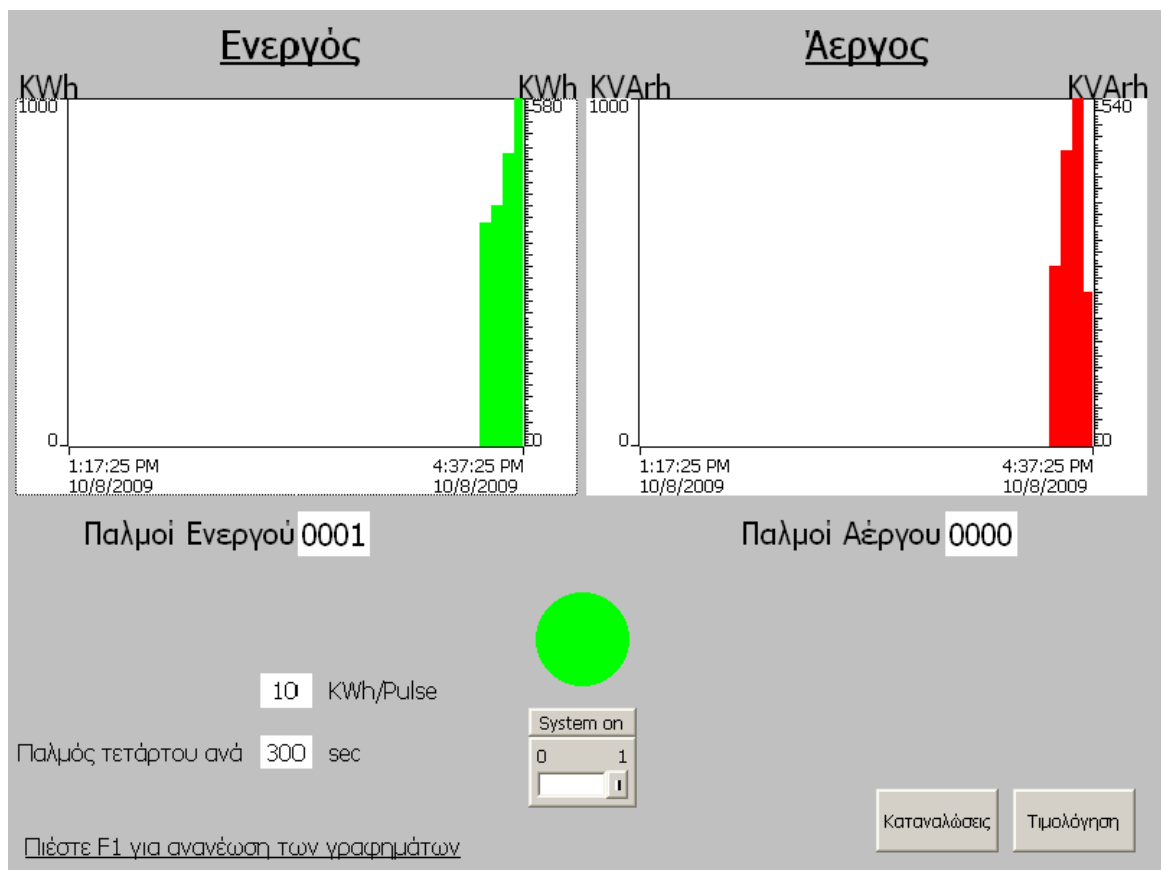
Συντομογραφίες
Power Factor = P.F.
Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση = KMZ
Μέγιστο Αιχμής = MA
Συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor) = CF

Εκκίνηση

Πριν πιάσετε το πλήκτρο της εκκίνησης βεβαιωθείτε ότι έχετε ξεκινήσει την εκτέλεση του προγράμματος από το PLC (RUN)

Σχήμα 9.1 Η οθόνη Start με τις επιλογές που κάναμε

Όπως φαίνεται στα σχήμα 9.1 επιλέξαμε το τιμολόγιο B1. Αυτό έγινε μόνο για να παρατηρούμε πιο παραστατικά πως μεταβάλλεται η χρέωση όσο εκτελείται το πρόγραμμα. Αφού γυρίσουμε το διακόπτη του PLC στη θέση RUN μπορούμε να πιάσουμε το πλήκτρο της εκκίνησης που θα μας μεταφέρει στην οθόνη "Trends" και θα ξεκινήσει την εκτέλεση του προγράμματος. Μετά από είκοσι λεπτά (μία εικονική ώρα) οι τρεις οθόνες του προγράμματος έχουν ως εξής:



Σχήμα 9.2 Οθόνη Trends μετά το τέλος του 4^{ου} τετάρτου



Σχήμα 9.3 Οθόνη Main μετά το τέλος του 4^{ου} τετάρτου

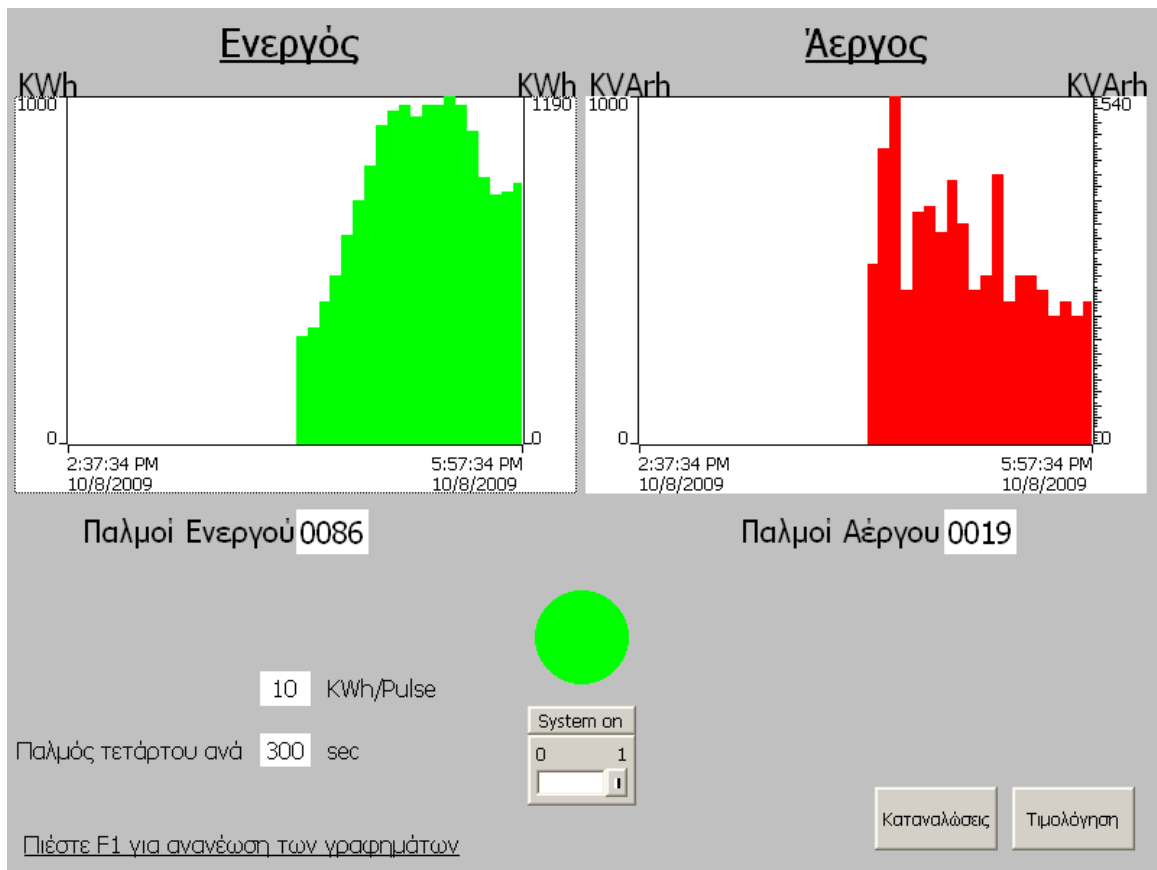


Σχήμα 9.4 Οθόνη Charge μετά το τέλος του 4^{ου} τετάρτου

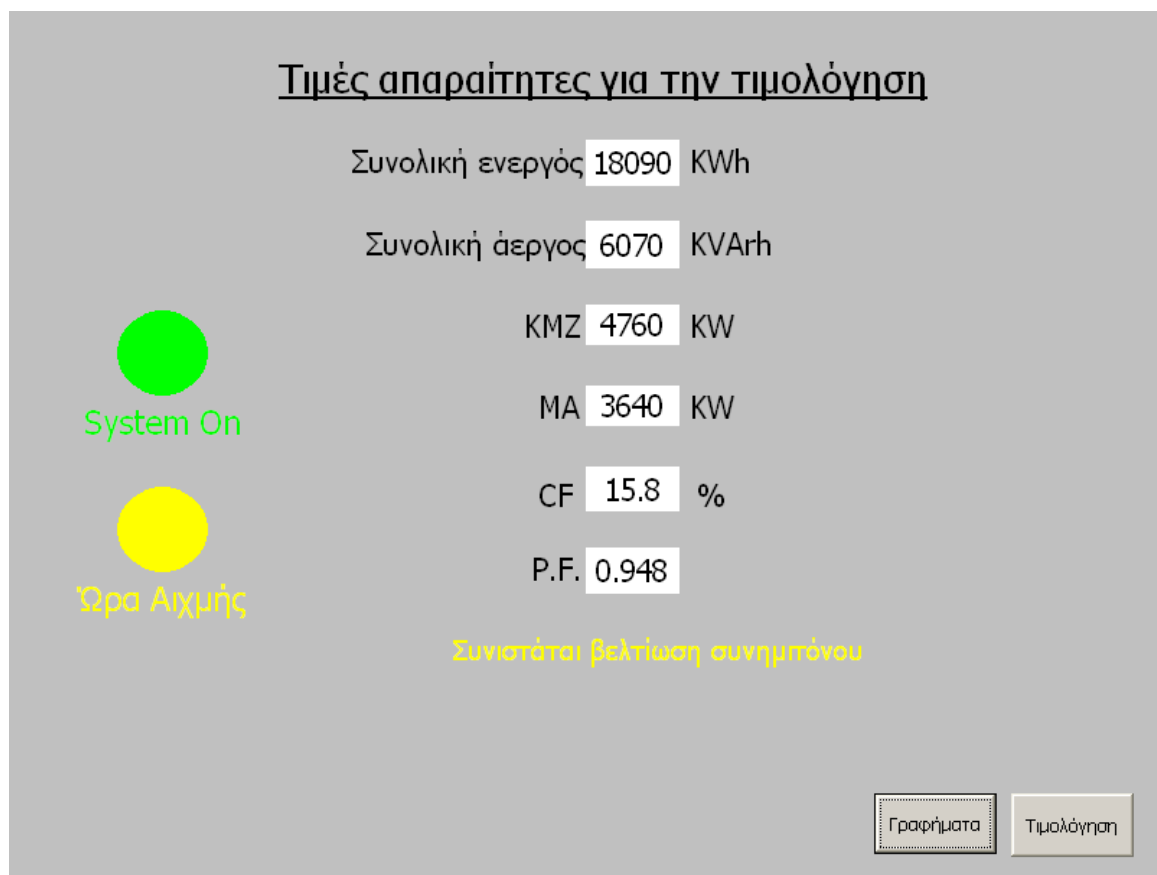
Στην οθόνη Trends βλέπουμε γραφικά τόσο την ενεργό όσο και για την άεργο κατανάλωση ανά τέταρτο της ώρας. Επίσης βλέπουμε το χρόνο εκτέλεσης που έχουμε επιλέξει και την αναλογία ενέργειας και παλμών.

Στην οθόνη Main βλέπουμε τις καταναλώσεις στο χρονικό διάστημα που έχει παρέλθει από την έναρξη του προγράμματος όπως και την Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση. Το Μέγιστο Αιχμής είναι μηδέν αφού δεν έχουμε μπει ακόμα στις ώρες αιχμής. Η τιμή του συντελεστή χρησιμοποίησης είναι πολύ χαμηλή αφού η συνολική καταναλωθείσα ενέργεια που βρίσκεται στον παρανομαστή του τύπου υπολογισμού του βρίσκεται ακόμη σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Τέλος δεν είναι τυχαίο ότι ο συντελεστής ισχύος είναι αρκετά χαμηλός. Επίτηδες έχουμε υποθέσει ότι η άεργος κατανάλωση τις πρώτες ώρες λειτουργίας μιας βιομηχανίας είναι μεγάλη γιατί ξεκινούν πιθανότατα κάποιοι κινητήρες ή και άλλα επαγωγικά φορτία. Αφού λοιπόν ο συντελεστής ισχύος είναι μικρότερος του 0,85 φαίνεται το αντίστοιχο προειδοποιητικό μήνυμα.

Στην οθόνη Charge αξίζει να παρατηρηθεί ότι η έκπτωση στην ισχύ είναι μηδενική. Ιδανικά σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού της έκπτωσης, αυτή θα ισούταν με το 50% της χρέωσης ισχύος. Είναι μηδενική όμως γιατί ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι μικρότερος του 30%. Ακόμη όμως κι αν ήταν μεγαλύτερος η τιμή αυτή θα ήταν μηδενική. Αυτό συμβαίνει γιατί σε περίπτωση που το Μέγιστο Αιχμής είναι μηδέν (ή πολύ μικρό) δεν γίνεται καμία έκπτωση.



Σχήμα 9.5 Οθόνη Trends μετά το τέλος του 20^{ου} τετάρτου



Σχήμα 9.6 Οθόνη Main μετά το τέλος του 20^{ου} τετάρτου

<u>Ισχύς</u>			
Αξια		1717.17	
Ποσό Έκπτωσης		+0.00	
Σύνολο		1717.17	
<u>Ενέργεια</u>			
Αξια ΚΛ.1		1299.77	
Αξια ΚΛ.2		0.00	
Σύνολο		1299.77	

Επιλέξτε τιμολόγιο

B1

Τιμολόγηση

Συνολική Χρέωση Ημέρας 3016.93

Γραφήματα Καταναλώσεις

Οι τιμές είναι σε ευρώ και ισχύουν από 1/7/2008

Σχήμα 9.7 Οθόνη Charge μετά το τέλος του 20^{ου} τετάρτου

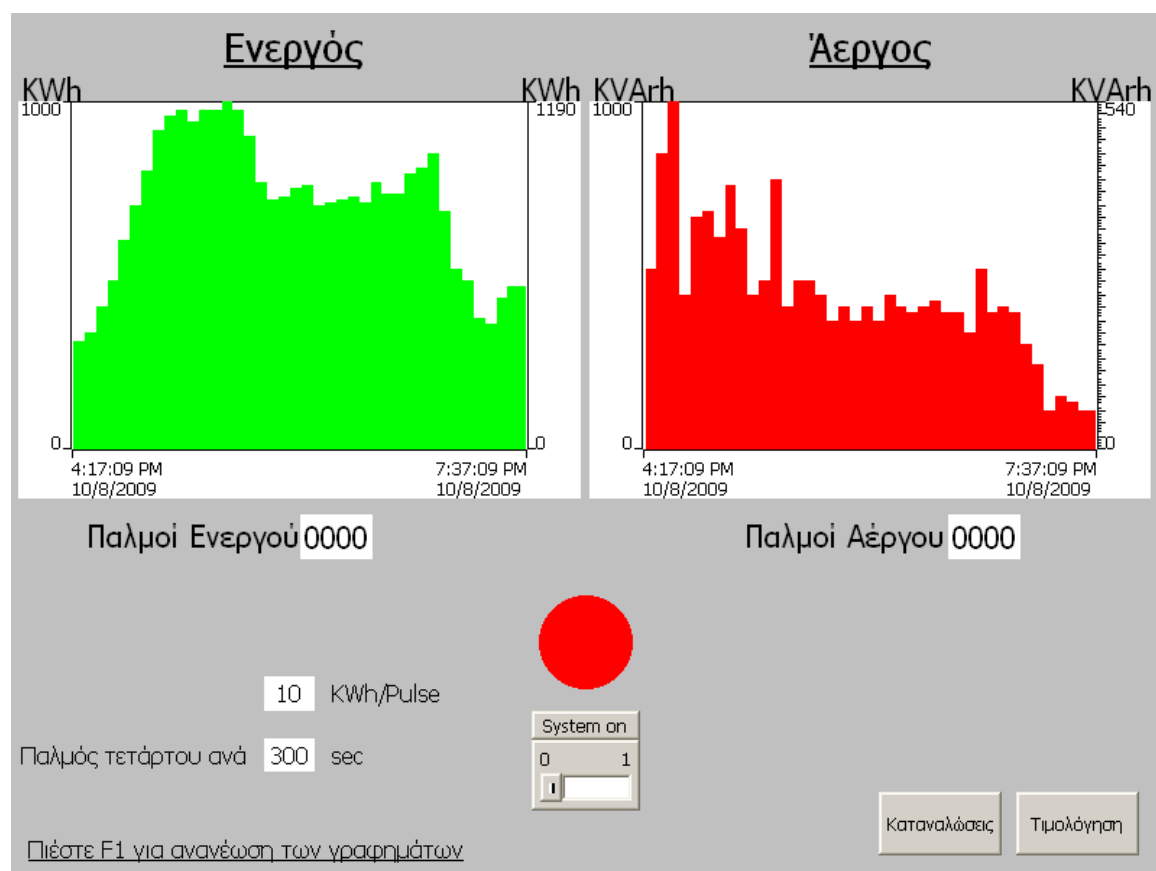
Μετά το τέλος και του 16^{ου} τετάρτου μπαίνουμε στις ώρες αιχμής. Η χρονική στιγμή που πήραμε αυτές τις εικόνες από την εκτέλεση του προγράμματος είναι μετά και το τέλος του 20^{ου} τετάρτου και όπως μας δείχνει και η ειδοποίηση στην αριστερή πλευρά της οθόνης Main είμαστε μέσα στις ώρες αιχμής. Στην ίδια οθόνη βλέπουμε τη μη μηδενική πλέον τιμή της μεταβλητής «Μέγιστο Αιχμής» και τη βελτίωση του συνημιτόνου, η τιμή του οποίου παρ' όλα αυτά δεν έχει ξεπεράσει το όριο του 0,95, γι' αυτό το λόγο ακριβώς από κάτω από την τιμή του διακρίνουμε την ειδοποίηση που προτρέπει για περαιτέρω βελτίωση του. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι στο 15,8% κι αν σκεφτεί κανείς ότι βρισκόμαστε στο χρονικό μέσο περίπου της εκτέλεσης, φαίνεται πως οριακά θα πιάσουμε το επιθυμητό ποσοστό του 30% μέχρι το τέλος, ώστε να εφαρμοστεί η έκπτωση στην ισχύ, δεδομένου ότι και το Μέγιστο Αιχμής είναι μικρότερο της Καταγραφείσας Μέγιστης Ζήτησης.

Βλέπουμε και στην οθόνη Trends πως το πρόγραμμα έχει προχωρήσει αρκετά ενώ έχουμε πάρει παλμούς και από το 21^ο τέταρτο.

Στην οθόνη Charge βλέπουμε την χρέωση ενέργειας να έχει αυξηθεί πολύ, αφού αθροίζονται οι ενέργειες τετάρτου για να προκύψει η τιμή προς χρέωση. Η χρέωση ισχύος από την άλλη δεν έχει τέτοια αύξηση αφού η τιμή της εξαρτάται από μία τιμή μόνο, τη μέγιστη ενεργό κατανάλωση τετάρτου.

9.3 Τα τελικά αποτελέσματα

Οι οθόνες που ακολουθούν έχουν παρθεί μετά το τέλος της εκτέλεσης του προγράμματος.



Σχήμα 9.8 Η τελική μορφή της οθόνης Trends

Το πρώτο πράγμα που παρατηρεί κάποιος βλέποντας την οθόνη Trends είναι ότι ο διακόπτης "System On" έχει έρθει στη θέση μηδέν και η φωτεινή ένδειξη από πάνω έχει κοκκινίσει. Αυτό έγινε αυτόματα με την έλευση του τεσσαρακοστού παλμού τετάρτου και δείχνει παραστατικά ότι το πρόγραμμα σταμάτησε να εκτελείται. Παρατηρούμε επίσης ότι οι παλμοί ενεργού και αέργου είναι μηδέν, ένδειξη ότι το πρόγραμμα σταμάτησε να δέχεται παλμούς.

Η «κοιλιά» που παρατηρείται στο μέσο του αριστερού γραφήματος των ενεργειών τετάρτου δεν είναι τυχαία. Μεταβάλλαμε έτσι το φορτίο ώστε να έχουμε μικρότερο Μέγιστο Αιχμής σε σχέση με την Καταγραφείσα Μέγιστη Ζήτηση. Αυτό το επιδιώκουν και στην πραγματικότητα οι καταναλωτές θέλοντας να πετύχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έκπτωση στη χρέωση ισχύος χωρίς όμως να μειωθεί η παραγωγικότητα τις ώρες αυτές. Κόβουν λοιπόν όλα τα «περιττά» φορτία ή τα μεταθέτουν πριν ή μετά από τις ώρες αιχμής.

Θεωρούμε ακόμα, αυθαίρετα ίσως, ότι η παραγωγικότητα στην αρχή και στο τέλος του εργάσιμου ωραρίου είναι μειωμένη. Η παραγωγικότητα αυτή μπορούμε λογικά να θεωρήσουμε ότι συνδέεται με την κατανάλωση ενέργειας.

Τέλος παρατηρούμε, προς το τέλος της μέτρησης, μείωση στην άεργο κατανάλωση. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι κινητήρες σταματώντας τη λειτουργία τους επιστρέφουν άεργο ενέργεια στο δίκτυο.



Σχήμα 9.9 Η τελική μορφή της οθόνης Main

Δύο πράγματα ενδιαφέρουν στην τελική αυτή μορφή της οθόνης Main. Πρώτον ο συντελεστής ισχύος έχει πάρει την πολύ ικανοποιητική τιμή 0,961, δεν εμφανίζεται έτσι κάποια από τις δύο προειδοποιήσεις για χαμηλό συνημίτονο. Δεύτερον η τελική τιμή του Μεγίστου Αιχμής είναι μικρότερη από την αντίστοιχη της Καταγραφείσας Μέγιστης Ζήτησης αλλά ο συντελεστής χρησιμοποίησης σταμάτησε πριν το 30%. Σαν αποτέλεσμα αυτού δεν δικαιούμαστε έκπτωση στην ισχύ όπως θα δούμε και στην οθόνη Charge.

Παρ' ότι έχει σταματήσει το πρόγραμμα να δέχεται νέους παλμούς από το PLC, μας δίνεται η δυνατότητα στην οθόνη Charge να επιλέξουμε κάποιο άλλο τιμολόγιο και πατώντας το πλήκτρο «Τιμολόγηση» να υπολογίσουμε τη χρέωση με τις τελικές τιμές ενέργειας που έχουν καταγραφεί. Μπορούμε έτσι να βρούμε το πιο συμφέρον τιμολόγιο για την επιχείρησή μας.

Υποθέτοντας ότι το φορτίο του οποίου την κατανάλωση ενέργειας μετρήσαμε δεν είναι βιομηχανικό θα συγκρίνουμε ως προς την τελική χρέωση τα τιμολόγια B1 και B2. Υπάρχει αντιστοιχία με τα βιομηχανικά τιμολόγια γι' αυτό η παράθεση και των δικών τους αποτελεσμάτων περιττεύει.

<u>Ισχύς</u>			
Αξια		1693.06	
Ποσό Έκπτωσης		+0.00	
Σύνολο		1693.06	
<u>Ενέργεια</u>			
Αξια ΚΛ.1		2391.89	
Αξια ΚΛ.2		0.00	
Σύνολο		2391.89	
<u>Συνολική Χρέωση Ημέρας</u>		4084.95	

Επιλέξτε τιμολόγιο

B1

Οι τιμές είναι σε ευρώ και ισχύουν από 1/7/2008

Σχήμα 9.10 Τελική χρέωση με το τιμολόγιο B1

<u>Ισχύς</u>			
Αξια		610.44	
Ποσό Έκπτωσης		+0.00	
Σύνολο		610.44	
<u>Ενέργεια</u>			
Αξια ΚΛ.1		3133.25	
Αξια ΚΛ.2		0.00	
Σύνολο		3133.25	
<u>Συνολική Χρέωση Ημέρας</u>		3743.69	

Επιλέξτε τιμολόγιο

B2

Οι τιμές είναι σε ευρώ και ισχύουν από 1/7/2008

Σχήμα 9.11 Τελική χρέωση με το τιμολόγιο B2

Όπως βλέπουμε κι από τα σχήματα 9.10 και 9.11, το τιμολόγιο B2 αποδεικνύεται πιο φθηνό από το B1. Η διαφορά τους στην τιμή δεν είναι πολύ μεγάλη αλλά ακόμη πιο οριακή κάνει την επιλογή του τιμολογίου το γεγονός ότι ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι πολύ κοντά στο 30%.

Η έκπτωση στη ισχύ είναι ένα σημαντικό ποσό σε σχέση με το σύνολο της χρέωσης και ως εκ τούτου είναι επιθυμητή για ένα καταναλωτή και όπως θα δούμε στην πράξη παρακάτω μπορεί ακόμη και να διαφοροποιήσει την επιλογή του ως προς το τιμολόγιο.

Αν είχαμε λοιπόν συνολική ενεργό κατανάλωση 34272kWh αντί για 33290kWh, χωρίς άλλη αλλαγή στις τιμές που πήραμε από τη μέτρηση, ο συντελεστής χρησιμοποίησης θα γινόταν ακριβώς 30% και με την έκπτωση στην ισχύ η νέα χρέωση θα είχε ως εξής:

<u>Ισχύς</u>			
Αξία		610.44	
Ποσό Έκπτωσης		-239.39	
Σύνολο		371.05	
<u>Ενέργεια</u>			
Αξία ΚΛ.1		3226.43	
Αξία ΚΛ.2		0.00	
Σύνολο		3226.43	
<u>Συνολική Χρέωση Ημέρας</u>		3597.48	

Επιλέξτε τιμολόγιο
B2

Τιμολόγηση

Γραφήματα Καταναλώσεις

Οι τιμές είναι σε ευρώ και ισχύουν από 1/7/2008

Σχήμα 9.12 Τελική χρέωση με το τιμολόγιο B2 και CF=30%

Συγκρίνοντας τις δύο χρεώσεις, έχοντας επιλέξει το ίδιο τιμολόγιο (B2), βλέπουμε ότι ενώ η χρέωση της ενέργειας είναι μεγαλύτερη, η μείωση στη χρέωση της ισχύος όμως υπερκαλύπτει αυτή τη διαφορά. Έτσι παίρνουμε συνολικά μικρότερη χρέωση.

Όπως θα δούμε παρακάτω η έκπτωση, σε απόλυτη τιμή, της ισχύος είναι μεγαλύτερη στο τιμολόγιο B1, αφού και ο συντελεστής χρέωσης της ισχύος είναι γενικά μεγαλύτερος από το τιμολόγιο B2.

Έτσι η τελική χρέωση με βάση το τιμολόγιο B1 και θεωρώντας συντελεστή χρησιμοποίησης 30% θα γίνει:

<u>Ισχύς</u>	
Αξια	1693.06
Ποσό Έκπτωσης	-663.95
Σύνολο	1029.12
<u>Ενέργεια</u>	
Αξια ΚΛ.1	2463.02
Αξια ΚΛ.2	0.00
Σύνολο	2463.02
Συνολική Χρέωση Ημέρας 3492.13	

Επιλέξτε τιμολόγιο
B1

Τιμολόγηση

Γραφήματα Καταναλώσεις

Οι τιμές είναι σε ευρώ και ισχύουν από 1/7/2008

Σχήμα 9.13 Τελική χρέωση με το τιμολόγιο B1 και CF=30%

Στην περίπτωση αυτή η συνολική χρέωση δεν είναι απλά φθηνότερη από την χρέωση με το ίδιο τιμολόγιο και συντελεστή χρησιμοποίησης 29,1% (σχήμα 9.10). Είναι φθηνότερη κι από το τιμολόγιο B2 και μας αναγκάζει να ξανασκεφτούμε την αρχική μας επιλογή.

Βλέποντας τα παραπάνω θα λέγαμε λοιπόν ότι συμφέρει οικονομικά τον καταναλωτή να έχει μια μικρή επιπλέον κατανάλωση αν με αυτό τον τρόπο ο συντελεστής χρησιμοποίησης του γίνεται πάνω από 30%. Αυτό βέβαια για οριακές περιπτώσεις που η χρέωση της επιπλέον ενέργειας δεν ξεπερνά τη μείωση από την έκπτωση στην ισχύ.

9.4 Καταγεγραμμένες τιμές

Οι καταγεγραμμένες τιμές είναι μια άλλη μορφή εξόδου των δεδομένων της μέτρησης. Στον πίνακα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα βλέπουμε ότι οι τιμές έχουν αποθηκευτεί με χρονική απόσταση πέντε λεπτών. Επίσης οι τελευταίες τιμές που είναι μηδέν έχουν "Validity" δύο, πράγμα που υποδηλώνει ότι είναι εσφαλμένες κι αυτό γιατί έχει ήδη σταματήσει η εκτέλεση του προγράμματος.

EP_15	EQ_15	TimeString	Validity	Time_ms
370	280	8/10/2009 4:17:23 μμ	1	40094678736
400	460	8/10/2009 4:22:24 μμ	1	40094682217
490	540	8/10/2009 4:27:24 μμ	1	40094685697
580	240	8/10/2009 4:32:23 μμ	1	40094689179
710	360	8/10/2009 4:37:24 μμ	1	40094692670
830	370	8/10/2009 4:42:23 μμ	1	40094696138
950	330	8/10/2009 4:47:24 μμ	1	40094699631
1090	410	8/10/2009 4:52:23 μμ	1	40094703124
1140	340	8/10/2009 4:57:24 μμ	1	40094706592
1160	240	8/10/2009 5:02:24 μμ	1	40094710085
1120	260	8/10/2009 5:07:23 μμ	1	40094713590
1160	420	8/10/2009 5:12:24 μμ	1	40094717072
1160	220	8/10/2009 5:17:24 μμ	1	40094720537
1190	260	8/10/2009 5:22:23 μμ	1	40094724019
1160	260	8/10/2009 5:27:23 μμ	1	40094727511
1070	240	8/10/2009 5:32:24 μμ	1	40094731005
910	200	8/10/2009 5:37:23 μμ	1	40094734470
850	220	8/10/2009 5:42:24 μμ	1	40094737986
860	200	8/10/2009 5:47:23 μμ	1	40094741466
890	220	8/10/2009 5:52:24 μμ	1	40094744955
900	200	8/10/2009 5:57:24 μμ	1	40094748460
830	240	8/10/2009 6:02:23 μμ	1	40094751966
840	220	8/10/2009 6:07:24 μμ	1	40094755465
850	210	8/10/2009 6:12:23 μμ	1	40094758959
860	220	8/10/2009 6:17:23 μμ	1	40094762463
840	230	8/10/2009 6:22:24 μμ	1	40094765938
910	210	8/10/2009 6:27:24 μμ	1	40094769430
870	210	8/10/2009 6:32:23 μμ	1	40094772921
870	180	8/10/2009 6:37:24 μμ	1	40094776402
940	280	8/10/2009 6:42:24 μμ	1	40094779909
960	210	8/10/2009 6:47:24 μμ	1	40094783390
1010	220	8/10/2009 6:52:23 μμ	1	40094786870
810	210	8/10/2009 6:57:24 μμ	1	40094790361
610	160	8/10/2009 7:02:24 μμ	1	40094793831
580	130	8/10/2009 7:07:23 μμ	1	40094797325
450	60	8/10/2009 7:12:23 μμ	1	40094800836
430	80	8/10/2009 7:17:23 μμ	1	40094804314
520	70	8/10/2009 7:22:24 μμ	1	40094807805
560	60	8/10/2009 7:27:24 μμ	1	40094811285
560	60	8/10/2009 7:32:23 μμ	1	40094814765
0	0	8/10/2009 7:37:59 μμ	2	40094818046

10. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα είναι καθαρά μη τεκμηριωμένες απόψεις του συγγραφέα και δεν αποτελούν μέτρο αξιολόγησης της εργασίας αλλά ούτε και βάση σχολιασμού.

10.1 Οικονομία και επεκτασιμότητα

Μετά την υλοποίηση του παρόντος συστήματος είναι σκόπιμο να τονιστούν ορισμένα σημεία που θεωρήθηκαν σημαντικά κατά την διάρκεια της εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας. Πρώτα από όλα είναι σημαντικό να αναφερθεί η σημασία της υλοποίησης μιας εφαρμογής σε πραγματικό χρόνο που δίνει τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης και παρακολούθησης του φορτίου χωρίς καθυστερήσεις και στατικά δεδομένα. Έτσι η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας είναι πολύ πιο αποτελεσματική.

Επίσης η εφαρμογή παρέχει αυτοματοποιημένη την τιμολόγηση και γλιτώνει το χρήστη από χρονοβόρους υπολογισμούς. Η επέκταση σε μηνιαία ή και ετήσια βάση είναι πολύ εύκολη αφού δεν μας περιορίζει η μνήμη του PLC στο οποίο έτσι κι αλλιώς η κατανάλωση πόρων από το πρόγραμμά μας είναι πολύ μικρή.

Επίσης, είναι αναμφισβήτητη η συμβολή των συστημάτων αυτοματισμών με χρήση PLC στην εξοικονόμηση ενέργειας αφού τόσο τα λειτουργικά έξοδα όσο και τα έξοδα συντήρησης είναι σημαντικά μικρότερα.

Τόσο η οικονομία που προσφέρουν τα PLC (ειδικά εφόσον προϋπάρχουν στην εγκατάσταση), όσο και η χαμηλή τιμή ενός Η/Υ χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις σε συνδυασμό με την υψηλή χρηστικότητα και επεκτασιμότητα της εφαρμογής μας, την κάνουν ιδιαίτερα προσιτή στον καταναλωτή. Βεβαίως υπάρχουν τα τελευταία χρόνια και έτοιμες λύσεις στην αγορά που όμως είναι υπερκοστολογημένες και με αμφίβολη την δυνατότητα για επέκταση και παραμετροποίηση ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

Όσον αφορά το χρήστη αξίζει να σημειωθεί ότι το περιβάλλον επικοινωνίας του προγράμματος με αυτόν είναι αρκετά απλό ώστε να χρησιμοποιηθεί κι από άτομα χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις αυτοματισμών και προγραμματισμού.

Τέλος το γεγονός ότι τα σφάλματα και οι αστοχίες έχουν ελαχιστοποιηθεί σε συνδυασμό με την μείωση του χρόνου αποκατάστασης αυτών έχουν αυξήσει την αξιοπιστία των συστημάτων τοποθετώντας την αποδοτικότητα των συστήματος αυτοματισμών σε πολύ υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με παλαιότερα δεδομένα.

10.1 Προτάσεις για βελτίωση

Από άποψη οικονομίας η εφαρμογή είναι πολύ συμφέρουσα, αλλά από άποψη ακρίβειας στη μέτρηση πάσχει αρκετά. Το πρώτο πράγμα που βλέπουμε στην εργασία μας να επηρεάζει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των μετρήσεων είναι ο

αναλυτής ενέργειας. Αν και η τιμή του είναι ανάλογη των δυνατοτήτων του είναι η πρώτη και ίσως η μόνη αλλαγή στη διάταξη των συσκευών της μέτρησης.

Ένα πιο αξιόπιστο μοντέλο θα μας έδινε πολύ μεγαλύτερη συχνότητα παλμών, οπότε θα είχαμε και πολύ καλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση. Ένα ιδιαίτερα ποιοτικό μοντέλο με μέγιστη έξοδο συχνότητας παλμών κάποια kHz θα χρειαζόταν να το συνδέσουμε με ειδικό τρόπο στο PLC. Πολλά μοντέλα έχουν εισόδους που ονομάζονται “High speed counter” και μπορούν να διαχειριστούν τέτοια σήματα. Τέτοια είσοδος παρέχεται και στο PLC της εφαρμογής μας.

Η χρήση ενός τέτοιου αναλυτή μας υποχρεώνει να κάνουμε αλλαγή και στον κώδικα σε STEP7, στο κύκλωμα με τους μετρητές (counters). Με τον υπάρχοντα αναλυτή δεν κινδυνεύαμε να ξεπεράσουμε τους 999 παλμούς στο τέταρτο της ώρας, λόγω της χαμηλής συχνότητας παλμών (στον χιλιοστό παλμό όπως είναι γνωστό ο μετρητής μηδενίζει και ξεκινά από της αρχή). Με τα νέα δεδομένα όμως θα χρειαζόμασταν ένα δεύτερο αθροιστή, ο οποίος θα άθροιζε τις χιλιάδες των παλμών ανάλογα με το πόσες φορές είχε μηδενιστεί και ξεκινήσει από την αρχή ο κάθε μετρητής.

Το δεύτερο θέμα της εργασίας έχει να κάνει με τον παλμό τετάρτου ο οποίος παράγεται εικονικά μέσα από τον κώδικα του PLC. Σύμφωνα με ειδικούς της εταιρίας με αυτό τον τρόπο παραγωγής παλμών, χάνουμε κάποια ms ανά ώρα, γεγονός που δεν είναι αποδεκτό για εκτέλεση του προγράμματος σε μηνιαία βάση. Υπάρχει τρόπος να περιορίσουμε αυτό το σφάλμα, συγχρονίζοντας μία φορά την ημέρα το χρονικό με την ώρα του υπολογιστή, ή χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση OB35 του PLC που εκκινεί αυτόματα συγκεκριμένη ώρα της ημέρας. Για να είμαστε πιο ακριβείς όμως καλό θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε ξεχωριστό χρονικό.

Το τελευταίο πράγμα που θα βελτίωνε την εργασία, από την άποψη της επεκτασιμότητας κυρίως, είναι ο δίαυλος επικοινωνίας. Αυτός στάθηκε οριακά επαρκής για την εκπόνηση της εργασίας αυτής και θα δημιουργούσε πρόβλημα σε περίπτωση που θα θέλαμε να παρακολουθούμε περισσότερες μεταβλητές ή και τις ίδιες μεταβλητές με μικρότερο χρόνο ανανέωσης (refresh rate). Θα επιλέγαμε λοιπόν ένα PLC που θα ενσωμάτωνε βιομηχανικό ελεγκτή δικτύου με αμφίδρομη ταχύτητα 100Mbps. Η ταχύτητα αυτή κρίνεται επαρκής και για τις πιο απαιτητικές εφαρμογές.

Βιβλιογραφία

1. Από την ιστοσελίδα της ΔΕΗ (www.dei.gr)
 - i) ΤΙΜΕΣ ΠΩΛΗΣΕΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΗΣ & ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ
 - ii) ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ Μ.Τ. ΜΕ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ Β1, Β2, Β1Β, Β2Β
 - iii) ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ
2. ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ MANAGEMENT ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΕΕ (1998)
3. ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΠΑΡΘΕΝΟΠΗ
4. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΔΗΜΕΑΣ ΑΡΗΣ-ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
5. Τα εγχειρίδια χρήσης και χαρακτηριστικών των συσκευών,
 - i) S7-300 (PLC - SIEMENS)
 - ii) MPR-53 (Αναλυτής Ενέργειας - ENTES)
 - iii) DSY2Y-S-224L (Ηλεκτρομηχανικό Ρελέ - SANYOU)από τις ιστοσελίδες των εταιριών.