



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

**Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου,
παρακολούθησης και καταγραφής εργαστηριακού
μικροδικτύου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αχιλλέας Γ. Μάρκου

Επιβλέπων: Νικόλαος Χατζηαργυρίου

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2015



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

Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου,
παρακολούθησης και καταγραφής εργαστηριακού
μικροδικτύου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αχιλλέας Γ. Μάρκου

Επιβλέπων: Νικόλαος Χατζηαργυρίου

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Μαρτίου 2015.

.....
Χατζηαργυρίου Νικόλαος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παπαθανασίου Σταύρος
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεωργιάκης Πάυλος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

.....
Αχιλλέας Γ. Μάρκου

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

Copyright © Αχιλλέας Μάρκου, 2015.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου, παρακολούθησης και καταγραφής εργαστηριακού μικροδικτύου. Το σύστημα αυτό υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού LabVIEW λόγω της γραφικής φύσης του, με κύριο στόχο να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον που θα διευκολύνει τον έλεγχο και την παρακολούθηση του μικροδικτύου αλλά, επιπλέον, να αποτελέσει και μια εκπαιδευτική πλατφόρμα για φοιτητές και νέους μηχανικούς όπου θα εξοικώνονται με τις βασικές αρχές ελέγχου του μικροδικτύου αλλά και γενικότερα με τις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής.

Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια των συστημάτων συλλογής δεδομένων και εποπτικού ελέγχου (SCADA) και παρουσιάζονται εμπορικές εφαρμογές των συστημάτων αυτών στην βιομηχανία αλλά και ειδικότερα στα μικροδίκτυα. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η αρχιτεκτονική των μικροδικτύων και τις εναλλακτικές λύσεις που προσφέρουν στις διαρκώς αυξανόμενες ενεργειακές αναγκές της κοινωνίας μας.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο βασικός εξοπλισμός που συνθέτει το εργαστηριακό μονοφασικό μικροδίκτυο καθώς και τα προγράμματα που υλοποιήθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού LabVIEW για την λήψη δεδομένων και για τον έλεγχο πηγών και φορτίων.

Επίσης, παρουσιάζονται προγράμματα που υλοποιήθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού LabVIEW για την διεξαγωγή πειραμάτων καθώς και τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών. Αρχικά, διεξήχθησαν πειράματα κυρίως εκπαιδευτικά όπως είναι η ρύθμιση της συχνότητας του μικροδικτύου όταν λειτουργεί σε απομονωμένη λειτουργία και του επιβάλλεται μία προγραμματισμένη καμπύλη φορτίου, με σκοπό την κατανόηση των καμπυλών στατισμού συχνότητας –ισχύος, δηλαδή, του τρόπου λειτουργίας των σύγχρονων μηχανών. Διεξήχθησαν όμως και πειράματα που μπορούν να βοηθήσουν στην βαθύτερη κατανόηση των αρχών λειτουργίας του μικροδικτύου και αφορούν την ρύθμιση της τάσης από την πλευρά του μικροδικτύου, έλεγχο της ισχύος εξόδου του μικροδικτύου και άλλα.

Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα και κατατίθενται βελτιωτικές προτάσεις.

Λέξεις κλειδιά: μικροδίκτυο, έξυπνα δίκτυα, διεσπαρμένη παραγωγή, συστήματα παρακολούθησης, SCADA, LabVIEW, διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI)

Abstract

Scope of the present thesis is the study, presentation and data logging of the laboratory microgrid system.

An introduction is made on the principles of the supervisory control and data acquisition systems (SCADA) and commercial implementations in the industry and specifically in the microgrids are presented.

Standard equipment of the laboratory microgrid and the programs that were implemented in LabVIEW programming language for data acquisition and control of sources and loads are also presented.

Moreover, programs that were implemented in LabVIEW programming language for the experiments and the results of these experiments are also presented.

Finally, conclusions are drawn and proposals for improvements and further work are presented.

Key words: microgrid, smart grid, distribution generation, monitoring systems, SCADA, LabVIEW, human-machine interface

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Γιώργη Μεσσίνη για τις υποδείξεις και την καθοδήγησή του κατά τη διεξαγωγή της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Νικόλαο Χατζηαργυρίου, καθηγητή ΕΜΠ, για την υποστήριξη της πρωτοβουλίας της διπλωματικής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που βρίσκονται δίπλα μου και στηρίζουν τις προσπάθειές μου καθημερινά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	15
1.1 Τι είναι SCADA.....	15
1.2 Περιγραφή των συστημάτων SCADA.....	15
1.3 SCADA και αυτόματος έλεγχος, σύγκριση SCADA και DCS.....	17
1.4 SCADA και HMI.....	18
1.5 Βασικά χαρακτηριστικά των SCADA.....	18
1.6 Οφέλη και πλεονεκτήματα των συστημάτων SCADA.....	19
1.7 Εμπορικές εφαρμογές SCADA.....	20
1.8 Εφαρμογές των συστημάτων στα SCADA στα μικροδίκτυα.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ.....	29
2.1 Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες.....	29
2.2 Sunny Boy 1100E.....	30
2.2.1 Προστασίες του αντιστροφέα.....	32
2.3 Ανεμογεννήτρια.....	32
2.4 Αντιστροφέας WINDY BOY.....	33
2.5 Οι συσσωρευτές του μικροδικτύου.....	33
2.6 SUNNY ISLAND. Αμφίδρομος αντιστροφέας συσσωρευτών.....	34
2.7 Άλλες διατάξεις του μικροδικτύου.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ (SCADA) ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ.....	38
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας συστήματος SCADA.....	38
3.2 Εξοπλισμός που συνθέτει το σύστημα SCADA του εργαστηρίου.....	40
3.2.1 Η CPU του PLC.....	41
3.2.2 Αναλογικές κάρτες (AICan Cards).....	42
3.2.3 Ψηφιακές κάρτες.....	43
3.2.4 Αισθητήρες.....	43
3.2.5 Κλάδος πολυοργάνων.....	44
3.3 Το λογισμικό CoDeSys.....	44
3.3.1 Γενικά.....	44
3.3.2 Εγκατάσταση.....	44
3.3.3 PLC Configuration.....	46
3.3.4 Ο προγραμματισμός του PLC.....	49

3.3.5 Visualization.....	54
3.4 Το πρόγραμμα LabVIEW (National Instruments)	57
3.4.1 Βασικό πρόγραμμα διεπαφής χρήστη UI για τον έλεγχο των λειτουργιών του μικροδικτύου.....	59
3.4.2 Πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των μετρήσεων στην AC πλευρά του μικροδικτύου.....	62
3.4.3 Πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των μετρήσεων στην DC πλευρά του μικροδικτύου.....	67
3.4.4 Πρόγραμμα ελέγχου πηγών και φορτίων	69
3.4.5 Πρόγραμμα ελέγχου πηγών και φορτίων μέσω αρχείου κειμένου.....	77
3.4.6 Προγράμματα ελέγχου των αντιστροφών SUNNY BOY και WINDY BOY.....	78
3.4.7 Πρόγραμμα ελέγχου του αντιστροφέα SUNNY ISLAND.....	81
3.4.8 Πρόγραμμα αποστολής ηλεκτρονικών μηνυμάτων.....	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	93
4.1 Προγράμματα ελέγχου της ισχύος και της συχνότητας του αντιστροφέα SUNNY ISLAND	93
4.2 Πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας.....	93
4.3 Πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα όταν η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας ξεπεράσει δοσμένη ισχύ κατωφλίου.....	95
4.4 Πρόγραμμα ρύθμισης εξόδου της ισχύος του μικροδικτύου	98
4.5 Πρόγραμμα ρύθμισης της τάσης του μικροδικτύου.....	99
4.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	101
4.6.1 Εφαρμογή 1. Ρύθμιση της συχνότητας λειτουργίας του αντιστροφέα SUNNY ISLAND κατά την απομονωμένη λειτουργία.....	101
4.6.2 Εφαρμογή 2. Μελέτη της συμπεριφοράς του αντιστροφέα SUNNY ISLAND όταν του επιβάλλεται ρύθμιση της ισχύος του	103
4.6.3 Εφαρμογή 3. Απορρόφηση ενός ποσοστού της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας από τον αντιστροφέα SUNNY ISLAND.....	109
4.6.4 Εφαρμογή 4. Απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας από τον αντιστροφέα SUNNY ISLAND όταν ξεπεράσει μία δοσμένη ισχύ κατωφλίου.....	111
4.6.5 Εφαρμογή 5. Σταθερή παραγωγή ισχύος στην έξοδο του μικροδικτύου ..	112
4.6.6 Εφαρμογή 6. Ρύθμιση της τάσης του μικροδικτύου.....	114
4.6.7 Δεδομένα μακράς διάρκειας για τον αντιστροφέα Sunny Island	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	119

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός ότι πλέον οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναλογούν στο 22% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με έκθεση που δημοσίευσε ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας και οι επενδύσεις στον τομέα αυτό αυξάνονται διαρκώς με χαρακτηριστικό παράδειγμα την Γερμανία όπου η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ ξεπερνά το 25% της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης. Σαν αποτέλεσμα, αντιμετωπίζουμε μια ανισορροπία κατα την παραγωγή, διανομή και κατανάλωση, καθώς, η μορφή του δικτύου διαρκώς αλλάζει, ερχόμενο να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας σε συνδυασμό με την αλλαγή των πηγών παραγωγής.

Το ηλεκτρικό δίκτυο σχεδιάστηκε αρχικά (και παραμένει κατά κύριο λόγο) ως ένα δίκτυο ακτινικό, με την ισχύ να ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση: από τα κέντρα παραγωγής προς τα σημεία κατανάλωσης. Συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης αναλαμβάνουν τη μεταφορά της ισχύος, η οποία ως επί των πλείστον παράγεται σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής. Τα δεδομένα όμως αυτά αλλάζουν και έτσι μεταβαίνουμε σε ένα νέο τύπο δικτύου.

Η μετάβαση στο νέο τύπο δικτύου στηρίζεται στην τεχνολογία της διεσπαρμένης παραγωγής, η οποία αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας τεχνολογία παραγωγής ισχύος μικρής κλίμακας, κοντά στο τόπο κατανάλωσης. Η εκμετάλλευση των ΑΠΕ στο νέο τύπο δικτύου αυξάνεται δραματικά, καθώς η τεχνολογία διεσπαρμένης παραγωγής στηρίζεται στην εκτεταμένη χρήση αυτών. Τα οφέλη της χρήσης του τύπου αυτού των πηγών ενέργειας προκαλούν αίσθημα αισιοδοξίας για τη λύση ενός μεγάλου αριθμού προβλημάτων που σχετίζονται με την αλόγιστη χρήση ενέργειας παραγόμενης από ορυκτά καύσιμα.

Στόχος της χρήσης των τεχνολογιών της διεσπαρμένης παραγωγής είναι η ανάπτυξη των μικροδικτύων και συνεπώς, σε τελική φάση, των έξυπνων δικτύων. Οι τεχνολογίες αυτές αφορούν τα αυτοματοποιημένα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί εδώ και τόσα χρόνια στην βιομηχανία.

Είναι κοινός τόπος ότι η βιομηχανία άρχισε να αναπτύσσεται με γεωμετρικούς ρυθμούς μετά την εμφάνιση των αυτοματισμών στην διαδικασία της παραγωγής. Παράλληλα όμως με την εισαγωγή και τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων στην παραγωγή εμφανίστηκε και ο κλάδος της βιομηχανικής πληροφορικής, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της βιομηχανίας σε συστήματα διαχείρισης της πληροφορίας που εισήγαν οι αυτοματισμοί, καθώς και οι ανάγκες στον έλεγχο και την βέλτιστη λειτουργία των ίδιων των αυτοματοποιημένων συστημάτων. Μια πολύ σημαντική κατηγορία εφαρμογών βιομηχανικής πληροφορικής που εμφανίστηκαν για να καλυφθούν οι ανάγκες αυτές είναι τα συστήματα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Πλέον τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για την εποπτεία και τον έλεγχο των μικροδικτύων βελτιστοποιώντας έτσι την λειτουργία τους και αυξάνοντας την αξιοπιστία τους.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου, παρακολούθησης και καταγραφής (SCADA) για το εργαστηριακό μικροδίκτυο των ΣΗΕ. Το σύστημα αυτό υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού LabVIEW λόγω της γραφικής φύσης του, με κύριο στόχο να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον που θα διευκολύνει τον έλεγχο και την παρακολούθηση του

μικροδικτύου αλλά, επιπλέον, θα αποτελέσει και μια εκπαιδευτική πλατφόρμα για φοιτητές και νέους μηχανικούς όπου θα εξοικώνονται με τις βασικές αρχές ελέγχου του μικροδικτύου αλλά και γενικότερα με τις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής.

Στο **Κεφάλαιο 1** περιγράφεται η έννοια του SCADA και παρουσιάζονται εφαρμογές του SCADA στη βιομηχανία.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται συνοπτικά οι διατάξεις του μικροδικτύου.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται το σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής SCADA του εργαστηριακού μικροδικτύου. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα προγράμματα που υλοποιήθηκαν, ο τρόπος σχεδιασμού και λειτουργίας.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται οι εφαρμογές καθώς και αντίστοιχα προγράμματα που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 5** εξάγονται συμπεράσματα και κατατίθενται βελτιωτικές προτάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

1.1 Τι είναι SCADA

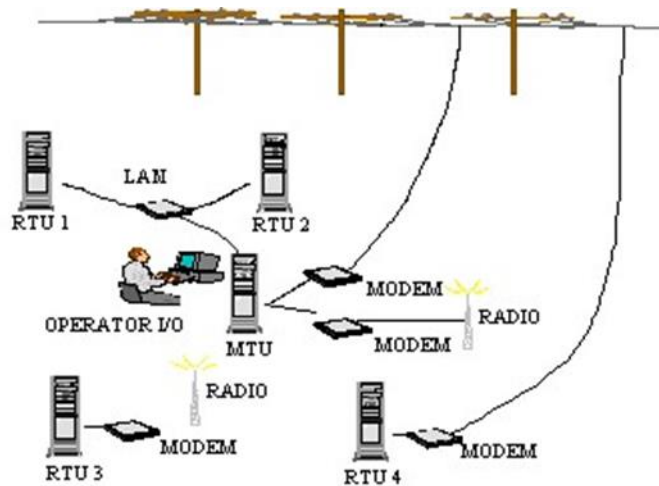
Ο όρος SCADA είναι ακρωνύμιο του όρου Supervisory Control And Data Acquisition, που σημαίνει Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει στον χειριστή να εποπτεύει και να ελέγχει διεργασίες οι οποίες βρίσκονται κατακευματισμένες μεταξύ διαφόρων απομακρυσμένων σημείων [1]. Όπως φαίνεται και από την ονομασία του, ένα σύστημα SCADA δεν είναι ένα πλήρες σύστημα ελέγχου, αλλά εστιάζει κυρίως στην εποπτεία. Ως τέτοιο, είναι καθαρά ένα πακέτο λογισμικού, το οποίο τοποθετείται πάνω στο υλικό με το οποίο αλληλεπιδρά [2].

Η διαδικασία λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι η συλλογή των πληροφοριών, η αποστολή τους σε ένα κεντρικό σημείο επεξεργασίας, η εκτέλεση της απαραίτητης ανάλυσης και ελέγχου και τέλος η παρουσίαση της πληροφορίας σε διάφορες οθόνες χειρισμού και εποπτείας, σε πραγματικό χρόνο ή κατ' απαίτησιν. Ο έλεγχος μπορεί να είναι αυτόματος, ή να ενεργοποιείται κατόπιν εντολής του χειριστή [9].

Ένα σύστημα SCADA επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν και να παρατηρούν διαδικασίες με μεγάλη τοπολογική διανομή, από μια κεντρική τοποθεσία. Τα πλεονεκτήματα ενός SCADA γίνονται περισσότερο ορατά όταν μια διαδικασία ή ένα σύστημα καλύπτει μια μεγάλη γεωγραφική έκταση. Αντί να αποστέλλεται προσωπικό σε διάφορα σημεία για μετρήσεις και ρυθμίσεις, η εποπτεία και ο έλεγχος όλου του συστήματος μπορούν να πραγματοποιηθούν από μια τοποθεσία, και κυρίως με μεγάλες ταχύτητες απόκρισης [6].

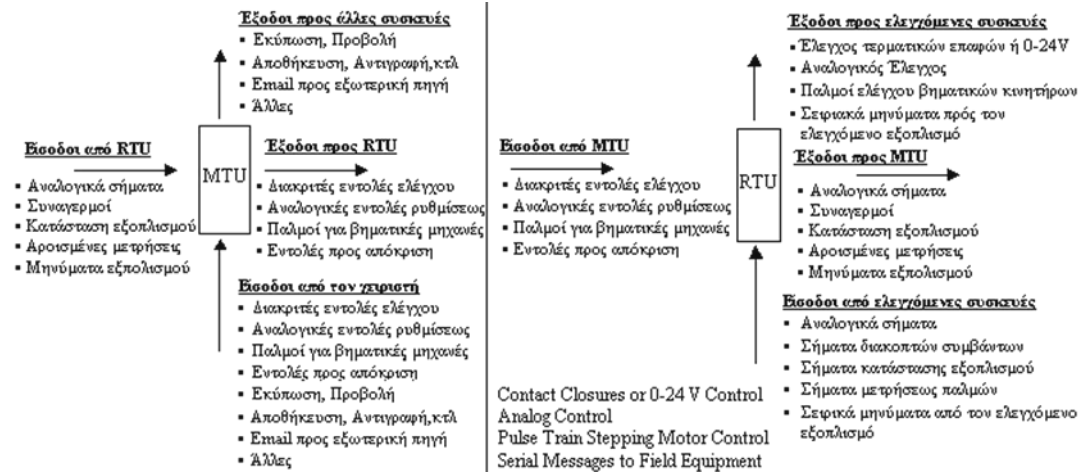
1.2 Περιγραφή των συστημάτων SCADA

Εκτός από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου, από άποψη υλικοτεχνικής υποδομής, ένα σύστημα SCADA αποτελείται, και από μια συλλογή αισθητηρίων και διατάξεων μετατροπής, που είναι συνδεδεμένα στις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units – RTUs). Τα RTUs με τη σειρά τους επικοινωνούν με ένα κεντρικό υπολογιστή ή κεντρική τερματική μονάδα (Master Terminal Unit - MTU) στην οποία φιλοξενείται ο βασικός πυρήνας του συστήματος, το λογισμικό του συστήματος SCADA. Η σχέση μεταξύ MTU και RTUs είναι ανάλογη με τη σχέση master – slave [1]. Στο παρακάτω σχήμα παρατίθεται η τοπολογία ενός τέτοιου συστήματος.



Σχήμα 1.1 Γενική τοπολογία συστήματος SCADA

Η επικοινωνία μεταξύ της MTU και των RTUs μπορεί να είναι ενσύρματη (σειριακή επικοινωνία RS232, RS485, δίκτυα Profibus, Ethernet, τηλεφωνική σύνδεση, Internet) ή και ασύρματη (ραδιοκύματα, δορυφορική σύνδεση, μικροκύματα). Οι πληροφορίες μεταφέρονται από τα RTUs στην MTU, όπου αφού επεξεργαστούν κατάλληλα καταγράφονται και προβάλλονται σε υπολογιστές που φιλοξενούν HMI (Human-Machine Interface) λογισμικό όπου πραγματοποιείται ο μη αυτόματος έλεγχος και η εποπτεία των διεργασιών. Τυχόν αυτόματα σήματα ελέγχου που παράγονται στην MTU αποστέλλονται πίσω στα RTUs, τα οποία με τη σειρά τους ενεργοποιούν τις διατάξεις μετατροπής και τους ελεγκτές των μηχανών [6].



Σχήμα 1.2 Είσοδοι και έξοδοι των MTU και RTU σύμφωνα με τον Boyer (μετάφραση) [1].

Τα SCADA συστήματα πρωτοεμφανίστηκαν την δεκαετία του 1960 σε mainframe και mini συστήματα. Αργότερα μεταφέρθηκαν σε PCs (Personal Computers – Προσωπικούς Υπολογιστές), όπου έτρεχαν κυρίως σε DOS, VMS και UNIX. Τα σύγχρονα συστήματα SCADA έχουν μεταφερθεί σε διακομιστές (Servers) Windows NT/2000 PC για την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων και σταθμούς εργασίας Windows NT/2000 Workstation ή ακόμα και Windows 9x/Me/XP για την οπτική παρουσίαση και την εποπτεία των διεργασιών [2], ενώ οι αρχικές μετρήσεις, καθώς και ο αυτόματος έλεγχος εκτελείται σε PLCs (Programmable Logic Controllers – Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές). Τα συστήματα αυτά

επιτρέπουν στους μηχανικούς, τους επόπτες, τους managers και τους χειριστές να παρακολουθούν και να αλληλεπιδρούν με τις διεργασίες της παραγωγής μέσω των οθονών εποπτείας του SCADA. Επειδή το τελευταίο διαθέτει πιο εύχρηστο περιβάλλον και μεγαλύτερες υπολογιστικές δυνατότητες, μπορεί να χειριστεί εξαιρετικά πολύπλοκες λειτουργίες και υπολογισμούς, χωρίς κίνδυνο να επέμβει επισφαλώς στον πυρήνα του αυτόματου ελέγχου ο οποίος διεξάγεται από τα PLCs [8]. Στο σημείο αυτό γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει μια διαφοροποίηση του ελέγχου που διεξάγει το σύστημα SCADA και του αυτόματου ελέγχου διεργασιών και βρόχων που εκτελούν τα PLCs. Το σύστημα των τελευταίων ονομάζεται Σύστημα Διανεμημένου Ελέγχου (Distributed Control System - DCS). Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό του επίπεδο ελέγχου των SCADA παραθέτουμε στην επόμενη παράγραφο τη σύγκριση και τις διαφορές μεταξύ SCADA και DCS.

1.3 SCADA και αυτόματος έλεγχος, σύγκριση SCADA και DCS

Σύμφωνα με το πρότυπο ISA S5.1 , το DCS ορίζεται ως ένας σύστημα το οποίο ενώ είναι λειτουργικά ενιαίο, αποτελείται από υποσυστήματα τα οποία μπορεί να είναι στη φυσική τους μορφή ξεχωριστά και απομακρυσμένα μεταξύ τους.

Οι στόχοι των συστημάτων SCADA και DCS είναι διαφορετικοί. Είναι δυνατό για ένα σύστημα να είναι ικανό να εκτελεί και SCADA και DCS λειτουργίες, αλλά πολύ λίγα συστήματα έχουν σχεδιαστεί με τον τρόπο αυτό.

Τα DCS συστήματα είναι προσανατολισμένα στον έλεγχο διεργασιών. Το «κέντρο του κόσμου» τους είναι η διεργασία, ενώ η παρουσίαση των δεδομένων στο χειριστή είναι απλώς ένα μέρος της λειτουργίας τους. Τα SCADA είναι προσανατολισμένα στην συλλογή των δεδομένων. Το «κέντρο του κόσμου» τους είναι το κέντρο ελέγχου και οι χειριστές του. Ο απομακρυσμένος εξοπλισμός (RTUs) βρίσκεται εκεί όσον αφορά το SCADA, μόνο για να παρέχει πληροφορίες – ανεξάρτητα με το αν εκτελεί πολύπλοκες λειτουργίες ελέγχου ή αν είναι μέρος του DCS συστήματος [5].

Παράλληλα το SCADA μπορεί να λειτουργεί σε ένα πιθανόν αργό και μη αξιόπιστο δίκτυο, και να διατηρεί μια βάση δεδομένων με παρελθούσες τιμές, τις οποίες μπορεί να προβάλλει κατ' απαίτηση του χειριστή. Επιπλέον μπορεί να χρειάζεται να αξιολογεί τα δεδομένα και να αποφασίζει αν η πληροφορία είναι χρήσιμη ή περιττή. Αντίθετα, το DCS σύστημα είναι πάντα συνδεδεμένο στην πηγή πληροφοριών του, οπότε δεν χρειάζεται συνήθως παρελθόντα δεδομένα, ενώ η πληροφορία που λαμβάνει υφίσταται πάντα επεξεργασία και δε θεωρείται ποτέ περιττή. Η διαφορά αυτές οδηγούν σε διαφορετική σχεδιαστική φιλοσοφία των δύο συστημάτων. Τα SCADA απαιτούν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στο χειρισμό και την συλλογή των δεδομένων, ενώ τα DCS στις λειτουργίες ελέγχου διεργασιών και βρόχων [5].

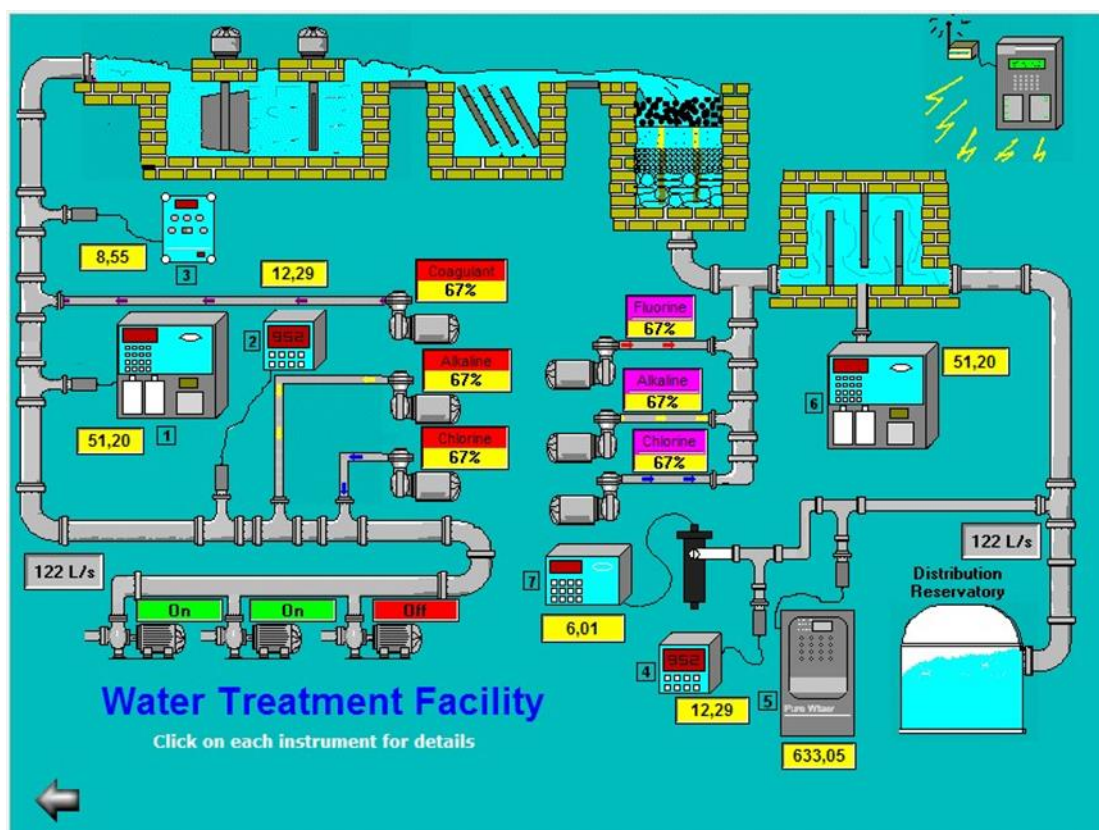
Μια ακόμα βασικότερη διαφορά στο επίπεδο ελέγχου που ασκείται από τα συστήματα των δύο τύπων, σχετίζεται με την αντιμετώπιση της πληροφορίας από τα εν λόγω συστήματα. Για να το θέσουμε πιο απλά, το SCADA είναι οδηγούμενο από γεγονότα, ενώ το DCS από καταστάσεις. Το DCS ενδιαφέρεται για την πρόοδο της διαδικασίας, ενώ το SCADA για τα γεγονότα που προκύπτουν από αυτήν [5].

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα SCADA και DCS είναι διαφορετικά σχεδιασμένα και εφαρμόζονται κάτω από διαφορετικές απαιτήσεις, ενώ βέβαια πολύ συχνά απαιτείται ο συνδυασμός και η συνεργασία τους. Αυτό που πρέπει όμως να σημειωθεί από την ανάλυση της παραγράφου αυτής είναι ότι το

σύστημα SCADA δεν εκτελεί έλεγχο της προόδου της διεργασίας, αλλά καταγράφει και εποπτεύει τις καταστάσεις της, και τα γεγονότα που προκύπτουν από αυτές.

1.4 SCADA και HMI

Τα συστήματα HMI (Human-Machine Interface) αποτελούν το μέρος της λειτουργίας των SCADA που αλληλεπιδρά με τον τελικό χρήστη, δηλαδή των χειριστή του συστήματος. Συνήθως, αποτελούνται από μια οπτική απεικόνιση της διεργασίας, πάνω στην οποία εμφανίζονται τιμές μεταβλητών, καταστάσεις ή και διαγράμματα. Ακόμη τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την κατ' απαίτηση εμφάνιση ιστορικών των μεταβλητών, ειδικών διαγραμμάτων και άλλα. Οι πληροφορίες αυτές αντλούνται από τη βάση δεδομένων του συστήματος SCADA, γι' αυτό όπως είναι κατανοητό τα συστήματα SCADA και HMI είναι αλληλένδετα συνδεδεμένα μεταξύ τους και για το λόγο αυτό συχνά δεν διαχωρίζονται. Στην πραγματικότητα βέβαια οι περισσότεροι κατασκευαστές συστημάτων SCADA ενσωματώνουν την δυνατότητα ανάπτυξης HMI εφαρμογών στις υπηρεσίες ή τα πακέτα SCADA τους. Η ουσία είναι όμως ότι μια εφαρμογή HMI μπορεί να κατασκευαστεί ανεξάρτητα από τον πυρήνα καταγραφής ενός SCADA ώστε να αντλεί πληροφορίες από αυτό και να το χρησιμοποιεί για να διεξάγει τον απαραίτητο έλεγχο.



Σχήμα 1.3 Μια HMI εφαρμογή της Ellipse Software για την εποπτεία υδραγωγείου.

1.5 Βασικά χαρακτηριστικά των SCADA

Αφού διαφοροποιήσαμε τα SCADA από τα λοιπά συστήματα βιομηχανικού ελέγχου και εποπτείας, θα αναφέρουμε εν συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ολοκληρωμένου συστήματος [10].

- Εξωτερική πρόσβαση. Η εξωτερική πρόσβαση παρέχει τη φυσική σύνδεση με το περιβάλλον. Μέσα διασύνδεσης συμπεριλαμβάνουν σειριακές επικοινωνίες (RS232,RS485), πρόσβαση με PC κάρτες (AB DH+,ARCNET, Modbus Plus) ή απευθείας αναλογική / ψηφιακή I/O (Input/Output - Είσοδο / Έξοδο). Πιο σύγχρονες συνδέσεις είναι τα fieldbuses, όπως τα DeviceNet, Profibus ή ακόμα τα δίκτυα Ethernet, ή ο Ενιαίος Σειριακός Δίαυλος (Universal Serial Bus – USB).
- Ενημέρωση για κρίσιμες τιμές μεταβλητών και συμβάντα.
- Καταγραφή και παρουσίαση δεδομένων.
- Αποστολή σημάτων ελέγχου στον απομακρυσμένο εξοπλισμό.
- Μηχανή υπολογισμών. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να υπολογίζει υπόλοιπα, μέσες τιμές, στατιστικά και ότι πληροφορίες μπορεί να πηγάζουν από τα δεδομένα που παρέχουν οι διεργασίες.
- Δικτυακή πρόσβαση, δηλαδή δυνατότητα να γίνεται εποπτεία και έλεγχος από απομακρυσμένα σημεία.
- Πρόσβαση σε Βάσεις Δεδομένων. Πολλά πακέτα SCADA προσφέρουν απευθείας καταχώρηση και ανάκτηση δεδομένων από κεντρικούς διακομιστές όπως Oracle, Sybase, Microsoft SQL Server και γενικά όλες τις συμβατές με ODBC ή ADO βάσεις δεδομένων
- Κατά περίπτωση προγραμματισμός. Τα διάφορα πακέτα επιτρέπουν διάφορα επίπεδα διαμόρφωσης κατά περίπτωση. Μερικά προμηθεύουν βιβλιοθήκες C ή επιτρέπουν την προσθήκη modules, άλλα επιτρέπουν την εκτέλεση scripts σε VBA (Visual Basic for Applications) ή Java, ενώ άλλα επιτρέπουν στον χειριστή να θέτει triggers μέσω από το σύστημα SCADA που να καλούν και να εκτελούν άλλα προγράμματα.

1.6 Οφέλη και πλεονεκτήματα των συστημάτων SCADA

Η λειτουργία κάθε βιομηχανικού οργανισμού χαρακτηρίζεται από ροή ενέργειας, ροή υλών και ροή πληροφορίας. Ο βασικός στόχος ελέγχου του οργανισμού είναι ο βέλτιστος χειρισμός με μηχανικά μέσα των ροών ενέργειας και υλών μέσω της παρακολούθησης της ροής πληροφορίας. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος απαιτείται συνήθως να γίνει ένας συμβιβασμός μεταξύ κάποιων οικονομικών και ποιοτικών παραγόντων που θα οδηγεί σε κάποια άλλα οφέλη. Τα οφέλη που προκύπτουν από τον έλεγχο του βιομηχανικού οργανισμού στη γενικότερη μορφή του είναι:

- Αύξηση της παραγωγής λόγω της καλύτερης αξιοποίησης των δυνατοτήτων των μέσων παραγωγής, π.χ. λειτουργώντας τη βιομηχανική μονάδα στα ανώτερα όριά της,
- μείωση του κόστους παραγωγής ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, λόγω βέλτιστης χρήσης των εσωτερικών πηγών ενέργειας και μείωσης του κόστους εργασίας,
- βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων λόγω της δυνατότητας να διατηρούνται οι συνθήκες λειτουργίας μέσα σε στενά όρια ανοχών,
- ευελιξία παραγωγής κάτω από συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς [4].

Ειδικότερα τα συστήματα SCADA προσφέρουν:

- Παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η εξομάλυνσή της και η μέγιστη απόδοση της βιομηχανικής μονάδας,
- αύξηση της επικοινωνίας μεταξύ των επιπέδων της βιομηχανικής μονάδας, και κυρίως μεταξύ της διοίκησης και της παραγωγής,
- δυνατότητα στο προσωπικό να λαμβάνει αποφάσεις μετά από πληρέστερη ενημέρωση, ώστε να εκπληρώνει τις υποχρεώσεις του με μεγαλύτερη επιτυχία,
- γρηγορότερος εντοπισμός και αντιμετώπιση σφαλμάτων, που εκτός από την βελτίωση της απόδοσης προσφέρει και μείωση του κόστους συντήρησης,
- βελτίωση των συνθηκών ασφαλείας, και εργασίας εν γένει,
- πιο εύστοχες και έγκαιρες πληροφορίες για τη διοίκηση,

Μερικά πρακτικά παραδείγματα του οφέλους των SCADA περιλαμβάνουν [3]:

- Δυνατότητα στη διοίκηση και τους μηχανικούς να προβάλλουν πληροφορίες στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή τους, είτε η πηγή των δεδομένων βρίσκεται κοντά τους είτε μίλια μακριά.
- Οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιούν οθόνες PCs που τρέχουν Microsoft Windows για να εποπτεύουν ή και να ελέγχουν τον εξοπλισμό, μέσω εύχρηστων GUIs (Graphical User Interfaces – Γραφικά Περιβάλλοντα Χρήσης).
- Οι ενημερώσεις κρίσιμων καταστάσεων (Alarms) μπορούν να γίνονται με ηχογραφημένα μηνύματα τα οποία μπορούν να εκπέμπονται αυτόματα μέσω τηλεφώνων, ασυρμάτων, δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών κτλ.
- Δυνατότητα για αποθήκευση και ανάκτηση «ιστορικών» δεδομένων, για περαιτέρω συγκρίσεις, συμπεράσματα ή διάγνωση σφαλμάτων.
- Ρύθμιση του απομακρυσμένου εξοπλισμού από απόσταση.
- Επιτρέπει την χρήση φθηνών και εύχρηστων προσωπικών υπολογιστών ως τερματικές συσκευές. Οι υπολογιστές αυτοί είναι πιο εύκολο και οικονομικό να αναβαθμιστούν ή να υποστούν μετατροπές από ότι ο εξειδικευμένος εξοπλισμός.
- Επιτρέπει τη χρήση σύγχρονων και συνηθισμένων πρωτοκόλλων και υλικών δικτύων, που είναι επίσης εύκολο και οικονομικό να αναβαθμιστούν, να προσαρμοστούν ή να αντικατασταθούν. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αξιόπιστη δικτυακή επικοινωνία μεταξύ υλικού διαφορετικών κατασκευαστών.
- Τεχνική υποστήριξη και συντήρηση του συστήματος από τον προμηθευτή του [6],[2].

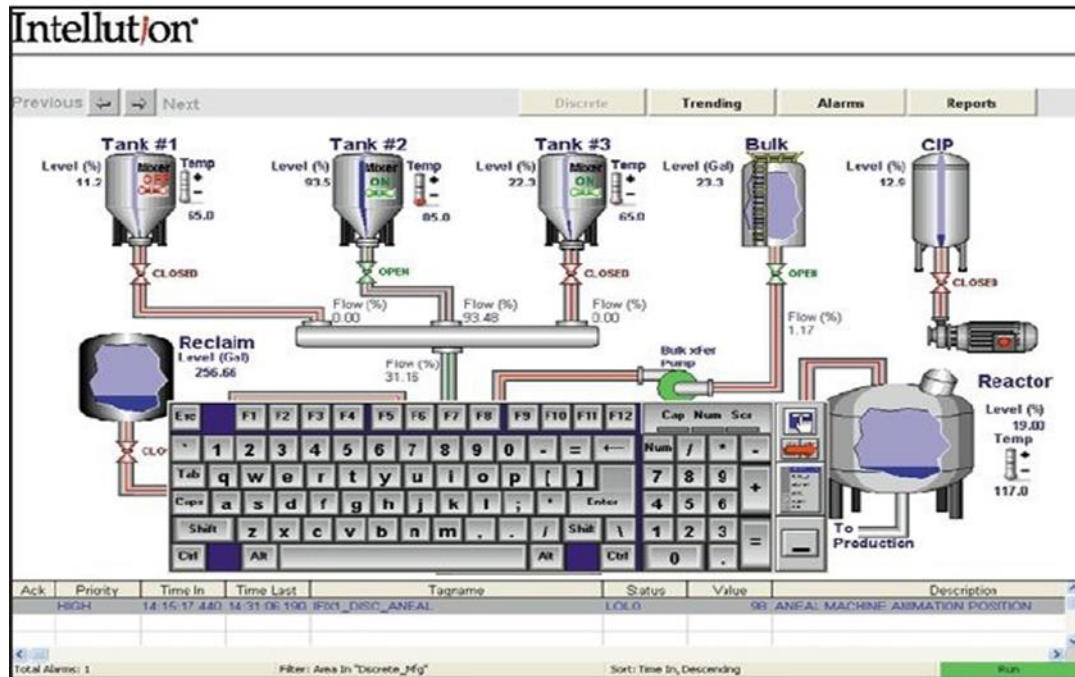
Το πιο δημοφιλές και εύχρηστο δίκτυο προσωπικών υπολογιστών είναι το γνωστό Ethernet, πάνω στο οποίο έχουν πλέον μεταφερθεί τα περισσότερα από τα εμπορικά πακέτα της αγοράς. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται γνωστές εμπορικές εφαρμογές συστημάτων ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA).

1.7 Εμπορικές εφαρμογές SCADA

Οι τρόποι που οι κατασκευαστές προσεγγίζουν την υλοποίηση ενός SCADA δεν είναι πάντα ίδιοι. Μερικά συστήματα ενσωματώνουν π.χ. λειτουργίες DCS ή δυνατότητα για δημιουργία πολύπλοκων στατιστικών αναφορών. Τρεις από τους

σημαντικότερους κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων είναι η Intellution , η Wonderware και η Rockwell. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι σε σχετική στατιστική έρευνα μεταξύ των αναγνωστών του περιοδικού Control Magazine [6] για το 2002, στην κατηγορία SCADA η Intellution συγκέντρωσε το 23% των προτιμήσεων, με την Wonderware να ακολουθεί με 14%, την Rockwell με 9%, την Honeywell με 8% και την OSI Software με 5% [7].

Η Intellution διαχωρίζει τα προϊόντα της καταγραφής και της εποπτείας των δεδομένων, προσφέροντας ξεχωριστά τον καταγραφέα iHistorian και το ολοκληρωμένο HMI/SCADA σύστημα iFix (που όπως είναι λογικό περιέχει τον iHistorian).



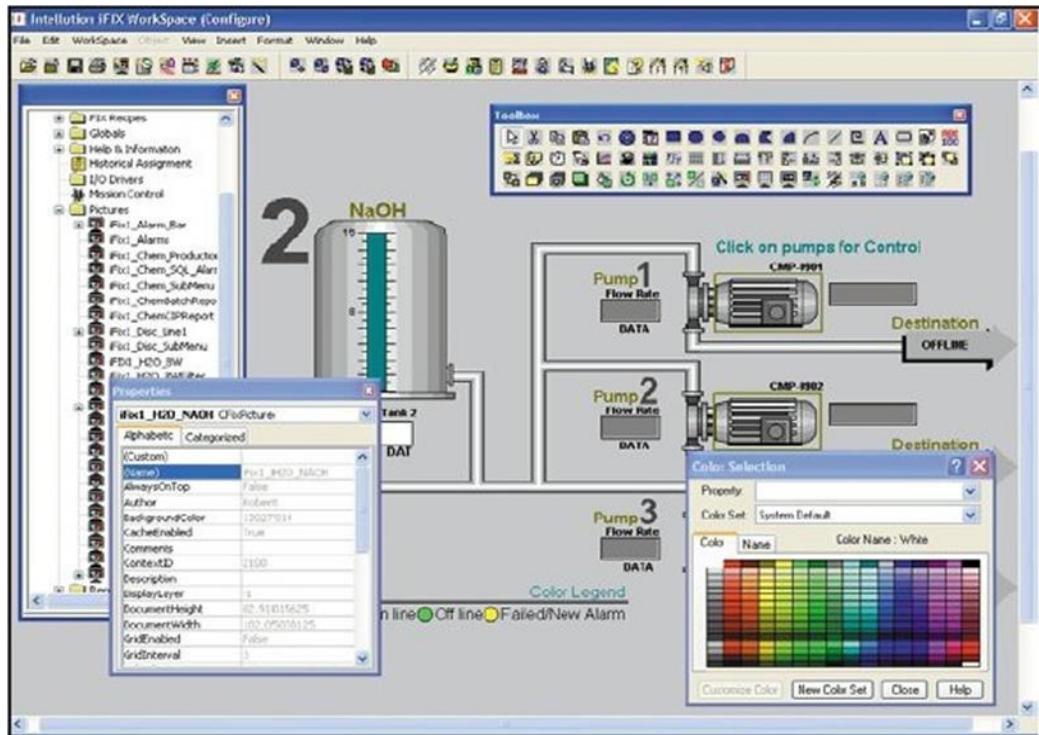
Σχήμα 1.4 Το HMI μέρος του iFix της Intellution σε λειτουργία

Ο iHistorian είναι μια εφαρμογή “plant-wide”, όπως τον αποκαλεί η Intellution, που καλύπτει δηλαδή όλον τον οργανισμό, όχι τα επιμέρους διανεμημένα τμήματα ξεχωριστά. Προσφέρει καταγραφή και προβολή των δεδομένων και των γεγονότων σε σχεσιακές βάσεις δεδομένων, «ιστορική» και σε πραγματικό χρόνο προβολή των δεδομένων και παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσεις στατιστικές αναφορές.



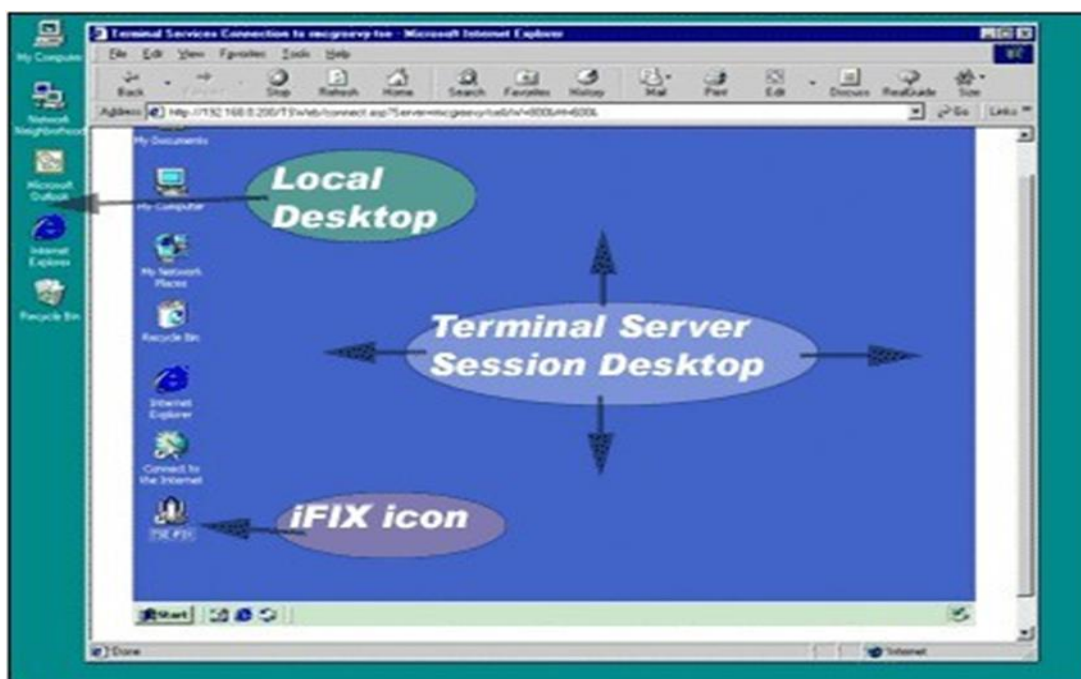
Σχήμα 1.5 Παραγωγή γραφημάτων από τον iHistorian

Ο iHistorian δεν προσφέρει δυνατότητες ελέγχου, καθώς αυτός αφήνεται εξολοκλήρου στο iFix. Το iFix όπως προαναφέραμε είναι ίσως το δημοφιλέστερο HMI/SCADA σύστημα της αγοράς. Έχει πραγματικά πολύ μεγάλες δυνατότητες προσφέροντας ένα πολύ ισχυρό HMI σχεδιαστή, και μεταξύ άλλων, ακόμα και δυνατότητα εισαγωγής κώδικα Visual Basic από τον χρήστη για ειδικό χειρισμό γεγονότων.



Σχήμα 1.6 Σχεδιασμός οθόνης HMI με το iFix.

Παράλληλα η Intellution προσφέρει και μια καινοτομία με την δημιουργία του iClientTS, το οποίο αποτελεί έναν διακομιστή εικονικών τερματικών συσκευών. Με πιο απλά λόγια, η εφαρμογή αυτή επιτρέπει σε απομακρυσμένα τερματικά να «τρέχουν» τις λειτουργίες του SCADA απευθείας πάνω στον Server, με τη βοήθεια εικονικών οθονών, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έτσι δεν απαιτείται εγκατάσταση του λογισμικού σε κάθε τερματικό του συστήματος κάνοντας πιο εύκολη τη συντήρησή του. Παράλληλα δεν επιβαρύνεται το δίκτυο, καθώς κάθε τερματικό λαμβάνει από τον κεντρικό διακομιστή μόνο τα δεδομένα που απαιτεί κάθε φορά.



Σχήμα 1.7 Το iClientTS της Intellution

Στα ίδια περίπου πλαίσια κινείται και η Wondareware, διαχωρίζοντας όμως ακόμη παραπάνω τη γραμμή μεταξύ εποπτείας και καταγραφής δεδομένων. Με άλλα λόγια η Wondareware προσφέρει ξεχωριστά το HMI προϊόν, της το οποίο αποκαλεί InTouch, ενώ ως ξεχωριστό πακέτο προσφέρει και την βιομηχανική βάση δεδομένων InSQL Server (Industrial SQL Server), ενημερώνοντας φυσικά ότι τα δύο αυτά προϊόντα συνεργάζονται μεταξύ τους για το βέλτιστο αποτέλεσμα. Ο InSQL εκτός δεν αποτελεί έναν απλό καταγραφέα, όπως ο iHistorian, αλλά μια πανίσχυρη πραγματικού χρόνου βάση δεδομένων, κατά τα πρότυπα του πολύ δημοφιλούς Microsoft SQL Server. Αυτό δίνει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στον InSQL Server, καθώς ο ίδιος προσφέρει μεγαλύτερη ευχρηστία και οικειότητα στους προγραμματιστές και τους τεχνικούς για ανάπτυξη εφαρμογών. Το InTouch με τη σειρά του παρέχει τις ίδιες βασικές λειτουργίες και δυνατότητες με το iFix, με τη σύγκριση των δύο να μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε πρακτικό επίπεδο.

Τέλος, η πολύ γνωστή στο χώρο των αυτοματισμών, Rockwell έχει διεισδύσει και στον χώρο των SCADA συστημάτων με ένα όμοιο με τα παραπάνω από πλευράς ιδιοτήτων πακέτο. Η λύση της Rockwell στον τομέα του HMI ονομάζεται RSVIEW, ενώ κυκλοφορεί ξεχωριστά ο RSBizHistorian (καταγραφέας και αναλυτής δεδομένων) και μια σειρά άλλων εργαλείων, όπως το RSTrend (δημιουργία real-time ή ιστορικών γραφημάτων) και το RSMessenger (ειδοποίηση κρίσιμων γεγονότων- Alarms μέσω H/Y, τηλεφώνου, βομβητή, ηχοσυστήματος κτλ.).

1.8 Εφαρμογές των συστημάτων στα SCADA στα μικροδίκτυα

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα συστήματα SCADA διεισδύουν γοργά στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας ερχόμενα να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες για την βέλτιστη αξιοποίηση των πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα των ανανεώσιμων. Σημαντική εφαρμογή βρίσκουν στα μικροδίκτυα όπου στη πράξη εκτός από παρακολούθηση της λειτουργίας του μικροδικτύου παρεμβαίνουν ώστε να αξιοποιούνται όλες οι δυνατότητές του (αδιάλειπτη παροχή ισχύος με χρήση απομονωμένης λειτουργίας σε περίπτωση κατάρρευσης του δικτύου, αποθήκευση πλεονάζουσας ενεργειας, σύνδεση με το δίκτυο όταν η ισχύς του μικροδικτύου δεν επαρκεί). Προγραμματιστικά πακέτα που χρησιμοποιούνται από διάφορα πανεπιστήμια ανά τον κόσμο είναι το MatLab Simulink και το LabVIEW. Το δεύτερο πακέτο θα αναλυθεί διεξοδικά σε μεταγενέστερο κεφάλαιο προτού περιγραφούν τα προγράμματα που υλοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία. Τα μικροδίκτυα αποτελούν σημαντικό τομέα εφαρμογών και διαρκώς αναπτύσσονται καινούριοι τρόποι για τον έλεγχο και τον συνδυασμό των πηγών ενέργειας. Τέτοιες εφαρμογές έχουν υλοποιηθεί σε διάφορα πανεπιστήμια παγκοσμίως όπως στα πανεπιστήμια California [11], Beijing [12], Carnegie Mellon [13]. Παρακάτω παρατίθενται παραδείγματα εφαρμογής των SCADA στα μικροδίκτυα.

Αρχικά θα αναφερθεί η εφαρμογή του Ινστιτούτου Ενέργειας και Πηγών της Ινδίας και η δημιουργία ενός νέου τύπου μικροδικτύου που ονομάζεται SMG (Smart Mini Grid) [14]. Το SMG οδηγείται από τα πιο σύγχρονα ηλεκτρονικά ισχύος που ελέγχονται από υπερυψηλής ταχύτητας ψηφιακή τεχνολογία και βασίζονται στη χρήση του NI Compact RIO και του λογισμικού NI Labview. Όλα αυτά εξασφαλίζουν ευελιξία, αξιοπιστία, αποτελεσματικότητα και ασφάλεια για το δίκτυο.

Ένα σύστημα SMG είναι ένα υποσύνολο ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου και γενικά ορίζεται ως ένα έξυπνο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και 11kV που μπορεί να καλύψει της ανάγκες μίας κοινότητας. Η ενέργεια παρέχεται από

ένα ευρύ φάσμα πηγών, συμπεριλαμβανομένων και μικρών συμβατικών γεννητριών όπως είναι μικρές γεννήτριες πετρελαίου σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες, ανεμογεννήτριες, Φ/Β πλαίσια και παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Το σύστημα SMG μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο καθώς και να λεπτοουργήσει στην απομονωμένη λειτουργία. Ένα σύστημα SMG είναι μία εφαρμογή τεχνολογιών ψηφιακών πληροφοριών και επικοινωνίας που χρησιμοποιεί εξελιγμένους αισθητήρες, συστήματα επικοινωνιών και τεχνολογίες ελέγχου που σκοπό έχουν να βελτιστοποιήσουν τη παραγωγή, διανομή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια του μικροδικτύου. Το σύστημα SMG παρέχει δυναμική επικοινωνία και ισορροπία με το δίκτυο κάτι το οποίο ελαχιστοποιεί της απώλειες και αυξάνει την ευστάθεια του δικτύου.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος SMG είναι τα ακόλουθα:

- Προώθηση της διαχείρισης της ζήτησης ενέργειας
- Μείωση των διακοπών και αύξηση της αξιοπιστίας, της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας του δικτύου
- Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ελαχιστοποίηση της χρήσης ορυκτών καυσίμων
- Παρέχει μεγαλύτερη αυτονομία στους καταναλωτές να διαχειρίζονται τις ενεργειακές τους ανάγκες

Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του προτύπου TERI SMG είναι τα ακόλουθα:

- Ενσωμάτωση διεσπαρμένων πηγών ενέργειας ευρέως φάσματος ούτως ώστε να διασφαλιστεί η μέγιστη χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Προγραμματισμός πηγών και πρόβλεψη και έλεγχος φορτίου
- Κεντρικός έλεγχος για βελτιστοποίηση της χρήσης των πηγών και της διαχείρισης της ζήτησης ενέργειας
- Εισαγωγή της ιεράρχησης φορτίων- τα συνολικά φορτία αξιολογήθηκαν ως κρίσιμα, ευαίσθητα, και περιττά
- Ενσωμάτωση υψηλής ταχύτητας FPGA ψηφιακή τεχνολογία με τη χρήση του λογισμικού LabVIEW για τη συλλογή δεδομένων και την αποστολή και λήψη ελέγχων
- Ολοκλήρωση της συλλογής δεδομένων πραγματικού χρόνου και παρακολούθησης ηλεκτρικών και φυσικών παραμέτρων και παραμέτρων καιρού από εγκατεστημένους αισθητήρες
- Ελαχιστοποίηση των διακοπών και των γρήγορων αποκρίσεων στις διακυμάνσεις του δικτύου μέσω σύνδεσης και αποσύνδεσης των στοιχείων του συστήματος

Η καρδιά και το μυαλό πίσω από ένα σύστημα SMG είναι ο έξυπνος ελεγκτής που βασίζεται στην πλατφόρμα του Compact RIO. Το σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων SCADA αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό NI Developer Suite που περιλαμβάνει τις εξής δομές του LabVIEW:

- LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) Module
- LabVIEW Real-Time Module
- LabVIEW FPGA Module
- LabVIEW Electrical Power Suite (EPS)

Για την επικοινωνία του συστήματος του συστήματος SCADA και του Compact RIO χρησιμοποιήθηκε η δομή GSM/GPRS SA 1802 C Series. Τα δεδομένα που συλλέγονται από διάφορους κόμβους δεδομένων μεταφέρονται μέσω Ethernet χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ModBus και ενός GSM modem χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο TCP/IP.

Το NI Developer Suite χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία πλαισίου παρουσίασης δεδομένων του συστήματος SMG στο οποίο παρουσιάζονται όλες οι πραγματικού χρόνου πληροφορίες όπως ηλεκτρικές παράμετροι, παράμετροι καιρού και ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση.

Τέλος το σύστημα SMG μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους χώρους όπως οι ακόλουθοι:

- Εμπορικά και βιομηχανικά συμπλέγματα όπως εμπορικά κέντρα, ξενοδοχεία και νοσοκομεία
- Συγκροτήματα κατοικιών
- Κέντρα εκπαίδευσης
- Εκτός δικτύου αγροτικές περιοχές
- Σταθμούς τηλεπικοινωνιών

Μία ακόμα εφαρμογή στο τομέα των μικροδικτύων είναι της εταιρείας Local Grid Technologies [15] όπου χρησιμοποιείται ο ελεγκτής CompactRIO-9068 και το λογισμικό Local Grid Data Fabric που είναι βασισμένο στο λογισμικό LabVIEW.

Ως αποτέλεσμα της γρήγορης ανάπτυξης της τεχνολογίας, της διαρκώς αυξανόμενης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έναντι των συμβατικών η Local Grid Technologies θεωρεί πως το παραδοσιακό δίκτυο διανομής ενέργειας αλλάζει και οδεύει προς την αποκεντρωμένη παραγωγή. Ως εκ τούτου, πρέπει και οι εταιρείες διανομής ενέργειας να αγκαλιάσουν νέες τεχνολογίες στην διανομή ενέργειας που είναι τα έξυπνα, συνεχώς εξελισσόμενα ηλεκτρικά δίκτυα που μπορούν να ικανοποιήσουν τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες των καταναλωτών, αυξάνουν την αξιοπιστία των υπηρεσιών και την ενεργειακή ασφάλεια ενώ παράλληλα προβλέπουν την τήρηση νέων περιβαλλοντικών προτύπων.

Για τη σχεδίαση ενός συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου που να διασφαλίζει και την επεκτασιμότητα της εφαρμογής που περιγράφεται απαιτείται μία ευέλικτη πλατφόρμα λογισμικού και υλικού και κατάλληλη κλιμακωτή διάρθρωση. Για το λόγο αυτό, η Local Grid Technologies χρησιμοποιεί τον ελεγκτή CompactRIO 9068 για τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τις απομακρυσμένες συσκευές και το Local Grid Data Fabric λογισμικό που βασίζεται στο λογισμικό LabVIEW για τον εποπτικό έλεγχο του μικροδικτύου.

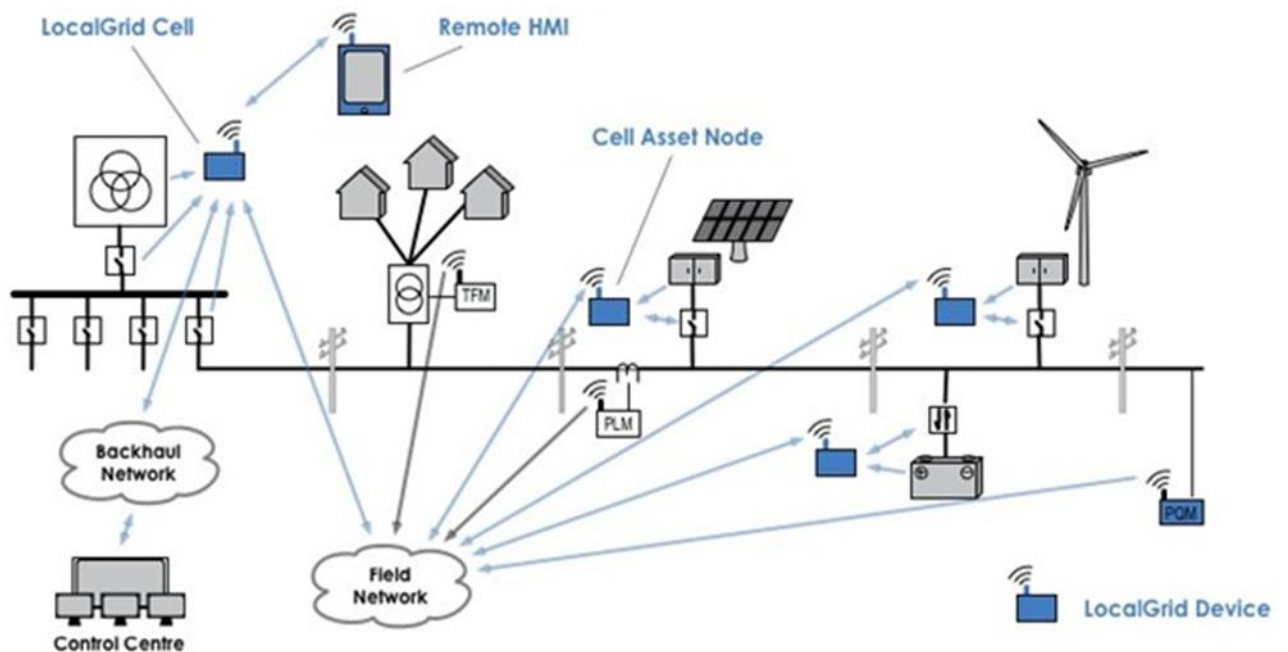
Η αρχιτεκτονική του συστήματος Local Grid έχει αρκετά πλεονεκτήματα που βασίζονται στην αρχιτεκτονική των μικροδικτύων και γενικότερα των δικτύων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα πλεονεκτήματα αυτά αφορούν κυρίως τις εταιρείες ενέργειας. Το πρώτο πλεονέκτημα είναι η μείωση του κόστους μέσω αναβολής επενδύσεων κεφαλαίου, δηλαδή επενδύσεων που αφορούν την συντήρηση και αναβάθμιση εγκαταστάσεων, υποσταθμών, μετασχηματιστών και γραμμών μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει, διότι, η παραγωγή περισσότερης ενέργειας από τα μικροδίκτυα πίσω από τους υφιστάμενους μετασχηματιστές και η μεταφορά της σε ώρες που δεν υπάρχει αιχμή στο φορτίου συνεισφέρει στην ελάττωση των βλαβών και της καταπόνησης των υφιστάμενων εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού. Επίσης, με τα δεδομένα που περιγράφουν τη συμπεριφορά του μικροδικτύου, οι εταιρείες ενέργειας μπορούν να υλοποιούν στοχευμένες επενδύσεις βασισμένες σε δεδομένα λεπτομερή και υψηλής ευκρίνειας για να βελτιστοποιηθεί η διαχείριση της ανάπτυξης

του δικτύου. Με την δυνατότητα της συλλογής δεδομένων πραγματικού χρόνου, ανάλυσης και του αυτόνομου ελέγχου οι εταιρείες ενέργειας μπορούν να κάνουν περισσότερα με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις απομονώνοντας, διορθώνοντας σφάλματα και βελτιώνοντας την ευστάθεια του δικτύου.

Η παροχή αποκεντρωμένης διαχείρισης της ενέργειας σε επίπεδο παραγωγού δίνει περισσότερα εργαλεία για την οικονομικά αποτελεσματικότερη διαχείριση των φορτίων αιχμής, αυξάνει την αποδοτικότητα του δικτύου και βελτιώνει δυνατότητα χρήσης των υπάρχουσών υποδοχών.

Δίκτυο στον 20ο αιώνα	Δίκτυο στον 21ο αιώνα
Ηλεκτρομηχανικό	Ψηφιακό
Μονόδρομη επικοινωνία	Αμφίδρομη επικοινωνία
Κεντρική παραγωγή	Διεσπαρμένη παραγωγή
“Τυφλό”	Αυτο-ελεγχόμενο
Χειροκίνητη αποκατάσταση παροχής ενέργειας	Αυτοματοποιημένη αποκατάσταση παροχής ενέργειας
Χειροκίνητος έλεγχος εξοπλισμού	Απομακρυσμένος έλεγχος εξοπλισμού
Περιορισμένος έλεγχος της ροής ενέργειας	Διάχυτο σύστημα ελέγχου
Λίγες επιλογές για τους καταναλωτές	Πολλές επιλογές για τους καταναλωτές

Πίνακας 1.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών των σύγχρονων δικτύων



Σχήμα 1.8 Η αρχιτεκτονική του μικροδικτύου Local Grid

Το μικροδίκτυο της Local Grid περιλαμβάνει τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά:

- Το Local Grid Cell Controller που βασίζεται στον ελεγκτή CompactRIO 9068, όπου αποτελεί έναν ελεγκτή για τη συλλογή και μεταφορά δεδομένων από τις απομακρυσμένες συσκευές στο κεντρικό υπολογιστή
- Το Cell Asset Node που βασίζεται στον ελεγκτή CompactRIO 9068, το οποίο χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση των διεσπαρμένων πηγών ενέργειας, απομακρυσμένη παρακολούθηση της ποιότητας της ενέργειας και αποστολή εντολών ελέγχου
- Κεντρικά εργαλεία διαχείρισης της παρακολούθησης και ρύθμισης των απομακρυσμένων συσκευών
- Συμπλήρωση των λειτουργιών των βασικών λειτουργικών συστημάτων και των υπαρχουσών συσκευών

Το λογισμικό Local Grid Data Fabric που αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο είναι ένα εύκολα επεκτάσιμο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου, που περιλαμβάνει υψηλής ταχύτητας συλλογή δεδομένων, αποθήκευση, έλεγχο και μείωση των δεδομένων από τους διεσπαρμένους κόμβους προς το δίκτυο. Ο σχεδιασμός αποκεντρωμένου ελέγχου οδηγεί στην λήψη αποφάσεων στις απομακρυσμένες συσκευές, βελτιώνοντας την ανοχή στα σφάλματα και μειώνοντας την ανάγκη για υψηλής αξιοπιστίας και υψηλού εύρου ζώνης δίκτυο επικοινωνίας.

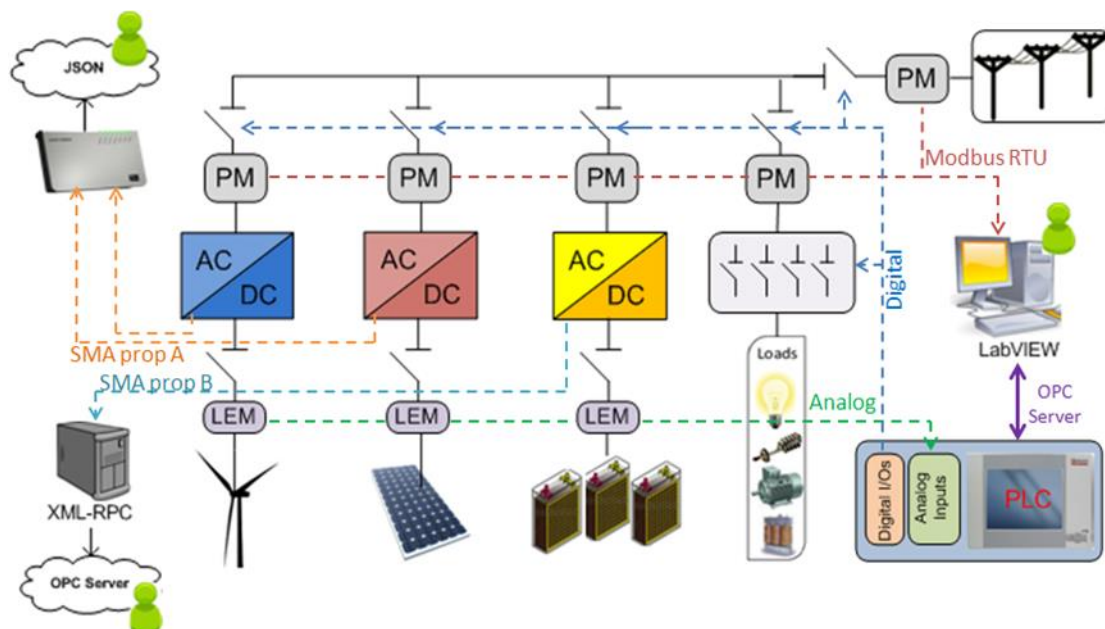
Η αρχιτεκτονική του συστήματος που βασίζεται στον ελεγκτή CompactRIO έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα για τα μικροδίκτυα και τα δίκτυα διεσπαρμένης παραγωγής:

- Υψηλή αποδοτικότητα, ασφαλή επικοινωνία και ενσωμάτωση των δεδομένων
- Ικανότητα ανάπτυξης λογισμικού χαμηλής μνήμης και μικρότερης ισχύος
- Δυνατότητα ταχύτερης αποστολής δεδομένων της τάξης των millisecond
- Επεκτασιμότητα από δεκάδες σε χιλιάδες συσκευές με μικρή πρόσθετη επιβάρυνση
- Ντετερμινιστική απόδοση μικρών καθυστερήσεων και διακυμάνσεων
- Η δυνατότητα χρήσης πολλών γλωσσών προγραμματισμού για το σχεδιασμό του επιθυμητής πλατφόρας παρακολούθησης και ελέγχου όπως C, C++, Java, LabVIEW και άλλες.

Στο μέλλον, το δίκτυο πρέπει να είναι περισσότερο ευέλικτο, επεκτάσιμο και που προσαρμόζεται στις ανάγκες των καταναλωτών. Ένα στατικό δίκτυο που δεν αλλάζει για αρκετά χρόνια δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας και της τεχνολογίας. Με τη χρήση μιας έξυπνης, σωστά διαβαθμισμένης και εύκολα προσαρμόσιμης παραγωγής και διανομής ενέργειας μπορούμε να αντιμετωπίσουμε πιο αποτελεσματικά της ενεργειακές ανάγκες τόσο στον ανεπτυγμένο όσο και στον αναπτυσσόμενο κόσμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί βασικός εξοπλισμός του εργαστηριακού μονοφασικού μικροδικτύου.



Σχήμα 2.1 Το εργαστηριακό μονοφασικό μικροδίκτυο

2.1 Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες

Στο εργαστήριο είναι εγκατεστημένοι 10 συλλέκτες, οι οποίοι με τη σειρά τους περιέχουν 36 στοιχεία. Η μέγιστη ισχύς κάθε συλλέκτη είναι 110 Wp, η δε τάση ανοιχτοκύκλωσης είναι 21,6V, οπότε αυτά συνδεδεμένα σε σειρά δίνουν συνεχή τάση 180V. Τα συγκεκριμένα στοιχεία, ισπανικής κατασκευής, είναι από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Τα στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση, περίπου 15%.

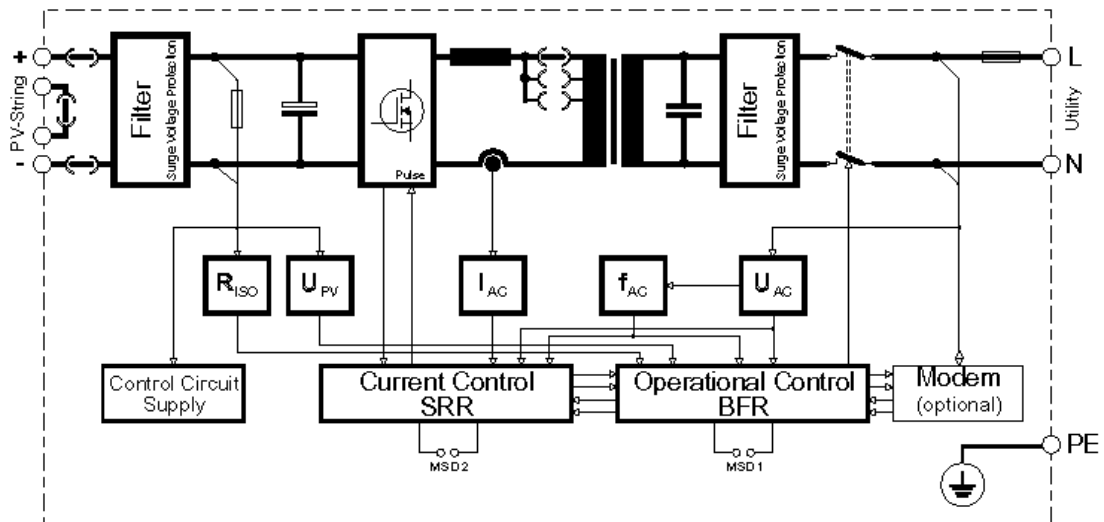
Άλλες τεχνολογίες ευρέως διαδεδομένες είναι του πολυκρυσταλλικού και του άμορφου πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής είναι αυτή που διαφοροποιεί τα στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου τόσο στην απόδοση όσο και στο κόστος παραγωγής.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Διαστάσεις	1310*654*39,5 mm
Βάρος	11,5 κιλά
Αριθμός εν σειρά κυψελών	36
Αριθμός κυψελών εν παραλλήλω	2
Αναφορά μετρήσεων	NOCT (800 W/m ² , 25 °C, AM 1,5)
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
(μετρήσεις σε συνθήκες 1000 w/m ² , 25 °C, AM 1.5)	
Ονομαστική τάση λειτουργίας	12 volt
Μέγιστη ισχύς	110 Wp +- 10%
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I _{sc}	6,67 A
Τάση ανοιχτού κύκλου V _{oc}	21,6 Volt
Ένταση στη μέγιστη ισχύ I _{max}	6,32 A
Τάση στη μέγιστη ισχύ V _{max}	17,4 volt
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Στοιχεία	Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με αντανακλαστική επίστρωση
Επαφές	Ενισχυμένες επαφές σε κάθε στοιχείο για αξιοπιστία του κυκλώματος
Κάλυψη	EVA(ethylene vinyl acetate)
Εμπρόσθια όψη	Ενισχυμένο γυαλί με βελτιωμένη μετάδοση φωτός
Πλαίσιο	Ανοδιωμένο αλουμίνιο
Κιβώτια επαφών	IP65 με ενσωματωμένες διόδους παράκαμψης
Ακροδέκτες γείωσης	ναι
Καλώδια επαφών	4-10 mm ²

Πίνακας 2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων του μικροδικτύου

2.2 Sunny Boy 1100E

Ο αντιστροφέας Sunny Boy βασίζεται σε μία μονάδα ισχύος που λειτουργεί με πολύ υψηλή απόδοση και βέλτιστη αξιοπιστία. Μία γέφυρα IGBT, φέρουσα συχνότητας 16kHz, μετατρέπει τη συνεχή τάση που προέρχεται από τα ΦΒ πλαίσια σε εναλλασσόμενη. Η τάση διοχετεύεται στο δίκτυο μέσω ενός τοροειδούς μετασχηματιστή απομόνωσης, ο οποίος εξασφαλίζει την ηλεκτρική απομόνωση της DC πλευράς από την AC. Παρακάτω δίνεται ένα σχεδιάγραμμα της ηλεκτρικής διάταξης του Sunny Boy καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 2.2 Ηλεκτρικό σχεδιάγραμμα αντιστροφέα φωτοβολταϊκών του μικροδικτύου

Τεχνολογία αντιστροφέα	πραγματικού ημιτόνου, πηγής ρεύματος, υψηλής συχνότητας διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)
Ονομαστική AC τάση εξόδου	213-260 volt ac (standard 240)
Ονομαστική συχνότητα εξόδου	49,3 – 50,5 Hz
DC τάση εισόδου	129-400 volt dc
Τάση για μέγιστη ισχύ εξόδου (MPPT)	145 - 400 Volt DC
Μέγιστη ισχύς εισόδου (dc τάσης)	1440 watt
Μέγιστη ισχύς εξόδου (240 volt ac)	1100 watt
Ονομαστική ισχύς εξόδου	1000 watt
Αρμονική παραμόρφωση ρεύματος THD	Μικρότερη από 4%
Συντελεστής ισχύος	1
Μέγιστη απόδοση αντιστροφέα	93%
Ψύξη	Φυσική απαγωγή (χωρίς ανεμιστήρα)
Τάση εισόδου για έναρξη λειτουργίας	180 volt dc
Μέγιστο ρεύμα εξόδου AC	4,6 Ampere
Μέγιστο ρεύμα εισόδου DC	9,5 Ampere
Κυμάτωση DC τάσης	Μικρότερη από 10%
Κατανάλωση ισχύος	0 watt τη νύχτα, μικρότερη από 4 watt σε λειτουργία, μικρότερη από 0,1 watt σε λειτουργία stand by
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	45 °C

Πίνακας 2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα φωτοβολταϊκών του μικροδικτύου

Το εύρος της τάσης εισόδου του Sunny Boy είναι σχεδιασμένο το μέγιστο για 16 ΦΒ πλαίσια με 36 έως 40 κυψέλες το καθένα.

Το ρεύμα που διοχετεύεται στο δίκτυο έχει πολύ χαμηλή αρμονική παραμόρφωση και η κυματομορφή του είναι τέλειο ημίτονο. Το ακολουθιακό σύστημα ελέγχου φροντίζει την πλήρως αυτόματη λειτουργία, χειρίζεται το MPPT και ελαχιστοποιεί τις απώλειες.

Η ψύχτρα είναι απαραίτητη ούτως ώστε να επάγεται ενέργεια από τις ημιαγωγίμες διατάξεις στο περιβάλλον. Είναι αρκετά μεγάλη ώστε να επιτρέπει τη συνεχή λειτουργία του Sunny Boy ακόμα και σε περιβάλλον με υψηλές θερμοκρασίες

όπως π.χ. η στέγη ενός σπιτιού. Ο Sunny Boy είναι εξοπλισμένος με σύστημα που παρακολουθεί την θερμοκρασία και αν ανιχνεύσει υψηλές τιμές μειώνει την ενέργεια που παρέχει στο δίκτυο χωρίς όμως να την διακόπτει.

Ο αντιστροφέας επιτρέπει μονόδρομη ροή ισχύος, δηλαδή μόνο από την είσοδο (πλευρά φ/β συστοιχίας) προς την έξοδο (δίκτυο), με τιμή αναφοράς για τον συντελεστή ισχύος μονάδα ίσο με τη μονάδα (η θεμελιώδης συνιστώσα του ρεύματος εξόδου, ελέγχεται ώστε να είναι συνεχώς σε φάση με την τάση) [16].

2.2.1 Προστασίες του αντιστροφέα

Ο αντιστροφέας διαθέτει προστασίες για την αποφυγή απομονωμένης λειτουργίας, από υπερτάσεις και σφάλματα γης τόσο στην dc πλευρά εισόδου όσο και στην ac πλευρά εξόδου.

Την προστασία από τυχόν ατμοσφαιρικές υπερτάσεις που προκαλούνται π.χ. από ηλεκτρικά πεδία οφειλόμενα σε πτώση κεραυνών, αναλαμβάνουν τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο θερμικά ελεγχόμενα varistors. Αυτά είναι varistors τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά με ασφάλεια την οποία ανοίγουν όταν ζεσταθούν απότομα. Έτσι προστατεύεται ο εσωτερικός ηλεκτρονικός εξοπλισμός του αντιστροφέα.

Τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του αντιστροφέα υπάρχουν εσωτερικά αυτόματοι διακόπτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να συνδέουν τον αντιστροφέα με την dc και την ac πλευρά αντίστοιχα.

Οι περιπτώσεις που προκαλούν αποσύνδεση του αντιστροφέα από το δίκτυο είναι οι εξής:

A) Αν η αντίσταση του δικτύου είναι μεγαλύτερη των 1,25 Ω τότε ο αντιστροφέας δεν συνδέεται καθόλου.

B) Αποσυνδέεται μέσα σε 5 δευτερόλεπτα αν η αντίσταση του δικτύου αυξηθεί δραστικά σε σύντομο χρονικό διάστημα ($\Delta Z_{ac} \geq 0.5\Omega$) ή αν η αντίσταση του δικτύου ξεπεράσει τα 1,75Ω

Γ) Αποσυνδέεται σε 0,2 δευτερόλεπτα αν η τάση του δικτύου γίνει μεγαλύτερη κατά 10% της ονομαστικής ή μικρότερη κατά 15%.

Δ) Αποσυνδέεται σε 0,2 δευτερόλεπτα αν η συχνότητα του δικτύου ξεπεράσει ένα εύρος $\pm 0,2\text{Hz}$ της ονομαστικής συχνότητας και η τάση ένα εύρος -30% και +15% της ονομαστικής.

Ε) Αποσυνδέεται σε διάστημα 5 δευτερολέπτων αν υπερβεί δραστικά η συχνότητα ένα συγκεκριμένο εύρος.

2.3 Ανεμογεννήτρια

Η ανεμογεννήτρια του εργαστηρίου παράγει AC τάση και ρεύμα, μεταβλητής όμως συχνότητας και τάσης. Αυτή η ισχύς ανορθώνεται και μετατρέπεται σε DC μέσω ενός μετατροπέα AC-DC (Whisper link). Στη συνέχεια, αυτή η DC ισχύς μετατρέπεται εκ νέου σε AC (με τα επιθυμητά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αυτή τη φορά) μέσω του αντιστροφέα SMA WINDY BOY και παρέχεται στο μικροδίκτυο. Η μέγιστη AC ισχύς που εγχύει το σύστημα της ανεμογεννήτριας του εργαστηρίου είναι 1100W.

2.4 Αντιστροφέας WINDY BOY

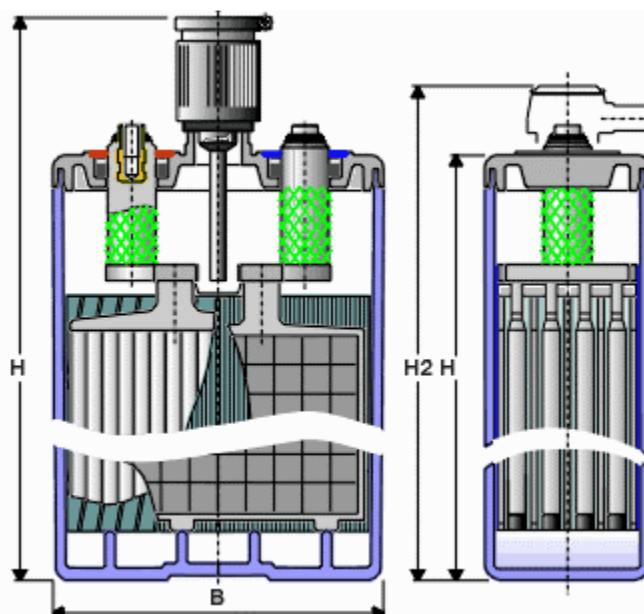
Ο Windy Boy είναι ένας αντιστροφέας αιολικής ισχύος, ο οποίος μετατρέπει το ανορθωμένο ρεύμα μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος σε εναλλασσόμενο και τροφοδοτεί την ενέργεια αυτή στο δίκτυο διανομής είτε στο μικροδίκτυο του Sunny Island. Επίσης ο Windy Boy μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αντιστροφέας μονάδων μετατροπής ενέργειας που βασίζονται σε γεννήτριες μονίμων μαγνητών (υδροηλεκτρικές μονάδες, μονάδες συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας-ηλεκτρικής ενέργειας και γεννήτριες ντιζελ).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Windy Boy είναι όμοια με του Sunny Boy που παρατέθηκαν προηγουμένως [17].

2.5 Οι συσσωρευτές του μικροδικτύου

Στο μικροδίκτυο του εργαστηρίου ΣΗΕ είναι εν σειρά εγκατεστημένοι 30 συσσωρευτές Ergon OPzS των 2 volt, και ονομαστικής χωρητικότητας C10=250Ah ή C120=370Ah, δίνοντας συνολικά μια τάση εξόδου 60 volt. Οι τιμές αυτές αναφέρουν την μέγιστη χωρητικότητα του κάθε στοιχείου των 2 Volt, όπως προκύπτει από την εξίσωση Peukert για χρόνο εκφόρτισης 10 και 120 ωρών αντίστοιχα. Στην πρώτη δηλαδή περίπτωση, εννοείται ότι το στοιχείο μπορεί να δίνει 25A για 10 ώρες, ενώ στη δεύτερη ότι το στοιχείο μπορεί να δίνει ρεύμα 3A για 120 ώρες. Προφανές είναι ότι η χωρητικότητα των στοιχείων μειώνεται συναρτήσει του ρεύματος εξόδου. Έτσι η συνολική ενέργεια που μπορούν να αποθηκεύσουν είναι $60 \cdot 250 = 15000 \text{ Wh} = 15 \text{ kWh}$ για ρεύματα εκφόρτισης 25A, ή $60 \cdot 370 = 22,2 \text{ kWh}$ για ρεύματα εκφόρτισης 3A.

Είναι τεχνολογίας μολύβδου-αντιμονίου και περιέχουν σαν ηλεκτρολύτη διάλυμα θεικού οξέος. Από όσες κατηγορίες συσσωρευτών αναφέρθηκαν είναι οι πιο κατάλληλες για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα, λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και της ικανότητας τους να εκφορτίζονται βαθιά. Οι θετικές πλάκες αποτελούνται από συμπαγείς χοντρές σωλήνες μολύβδου (tubular plates) πάνω σε πλαστικό υλικό ενώ οι αρνητικές από σχάρες μολύβδου.



Σχήμα 2.3 – Τομή και πλάγια όψη δίβολτου συσσωρευτή σωληνοειδών πλακών (tubular plates)

Οι προδιαγραφές τους αναφέρουν διάρκεια ζωής 15 έτη, όταν χρησιμοποιούνται σαν εφεδρικοί (stand-by use), δηλαδή χωρίς να εκφορτίζονται/φορτίζονται διαρκώς.

Για κυκλική χρήση, οι προδιαγραφές τους αναφέρουν ότι μπορούν να πραγματοποιήσουν το λιγότερο 1200 κύκλους για ένα βαθμό εκφόρτισης έως και 80% με ρεύμα C/10, δηλαδή $250/10=25$ A, για την περίπτωση των συσσωρευτών του εργαστηρίου. Για βαθμούς εκφόρτισης μέχρι και 50% οι κύκλοι μπορούν να φτάσουν και τους 3000. Οι τιμές αυτές βάθους εκφόρτισης και ρεύματος είναι οι μέγιστες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτό τον τύπο συσσωρευτών.

Η τιμή του μέγιστου ρεύματος που μπορούν να παρέχουν, αν υπολογιστεί από τον πρακτικό τύπο $I_{max}=C/0.05h$ βρίσκεται $250Ah/0.05h=5000A$. Δεδομένου ότι ο αντιστροφέας Sunny Island μπορεί να εξάγει μέγιστη ισχύ 6,6KW για διάστημα 20 sec., ένα ρεύμα $I=6000W/60V=100A$, απαιτείται. Συνεπώς, οι συσσωρευτές είναι ικανοί να παρέχουν τη μέγιστη ισχύ των 6,6KW. Ο βαθμός αυτοεκφόρτισης των συγκεκριμένων στοιχείων έχει μετρηθεί ως εξής:

Ξεκινώντας από κατάσταση πλήρους φόρτισης (100%), αν αφεθούν 90 ημέρες ανοιχτοκυκλωμένα (δηλαδή χωρίς να εκφορτιστούν ή να φορτιστούν), χάνουν το 9% της αποθηκευμένης ενέργειάς τους. Ο βαθμός αυτοεκφόρτισης είναι δηλαδή 3% ανά μήνα.

Τάση μέγιστης φόρτισης (Voltage regulation, VR)	2,40-2,44 volts/cell
Τάση συντήρησης (float charge)	2,23 volts/cell
Τάση βελτιστοποίησης φόρτισης (equalizing charge)	2,50 volts/cell
Συνιστώμενη θερμοκρασία λειτουργίας	10 – 30 °C
Πυκνότητα ηλεκτρολύτη	1,25 gr/cm ³

Πίνακας 2.3 Χαρακτηριστικά των συσσωρευτών του μικροδικτύου (2Volt Ergon OpzS)

Όπως θα δούμε παρακάτω και στις εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί οι πληροφορίες για την κατάσταση των μπαταριών στέλνονται από τον αντιστροφέα των μπαταριών μέσω καλωδίου RS232 στον OPC server. Στη συνέχεια, αποστέλλονται μέσω καλωδίου USB στο H/Y όπου τις επεξεργαζόμαστε με το πρόγραμμα LabView.

Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι χρήση το μπαταριών χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς υπάρχουν εκπομπές αερίων για αυτό απαιτείται κατάλληλος εξαερισμός στον χώρο λειτουργίας. Τέλος, πρέπει να φορτίζονται με μεγάλη προσοχή, ιδιαίτερα όταν πλησιάζουν στην πλήρη φόρτιση, καθώς σύμφωνα με τις προδιαγραφές υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης.

2.6 SUNNY ISLAND. Αμφίδρομος αντιστροφέας συσσωρευτών

Η πιο σύνθετη συσκευή του μικροδικτύου, είναι ο αντιστροφέας ισχύος Sunny island 4500. Ο συγκεκριμένος αντιστροφέας χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των συσσωρευτών μολύβδου – οξέος με το δίκτυο χαμηλής τάσης. Η διάταξη προορίζεται βασικά για χρήση σε αυτόνομα μικρά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Ακόμη όμως και αν το μικροδίκτυο είναι διασυνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο χαμηλής τάσης, ο

αντιστροφέας Sunny Island μπορεί να λειτουργήσει σαν μονάδα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS), εντοπίζοντας μια τυχόν διακοπή της τάσης του κεντρικού δικτύου, και τροφοδοτώντας τότε αμέσως τα φορτία του μικροδικτύου [18].

A) Αυτόνομα δίκτυα.

Σε αυτόνομα μικροδίκτυα χαμηλής τάσης, μονοφασικής εάν πρόκειται για ένα μόνο Sunny Island, ή τριφασικής εάν πρόκειται για τρία, βασικός σκοπός του αντιστροφέα είναι να ρυθμίζει την τάση και τη συχνότητα του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με το να συμπληρώνει τη λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή την ισχύ που παρέχουν οι αντιστροφέες sunny boy στο δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οπότε τα φωτοβολταϊκά παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο, σε περίπτωση που η παρεχόμενη ενέργεια είναι περισσότερη από την καταναλισκόμενη φορτίζουν τους συσσωρευτές, αντίθετα όταν η παρεχόμενη ενέργεια είναι λιγότερη από αυτή που ζητείται τότε παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αντιστροφέας Sunny Island παρέχει ισχύ στο δίκτυο. Να σημειωθεί ότι βασική λειτουργία του αντιστροφέα είναι όχι μόνο να κρατάει σταθερές την τάση και τη συχνότητα του αυτόνομου δικτύου με το να ελέγχει την φόρτιση – εκφόρτιση των συσσωρευτών σύμφωνα με το ενεργειακό ισοζύγιο του μικροδικτύου, αλλά και να ελέγχει άλλες συσκευές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως γεννήτριες ντίζελ και ανεμογεννήτριες σε περίπτωση που η αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών δεν επαρκεί για να καλύψει τη ζήτηση.

Αντίθετα, όταν οι συσσωρευτές είναι πλήρως φορτισμένοι και η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά είναι μεγαλύτερη από αυτή που καταναλίσκεται ο αντιστροφέας μπορεί να θέσει σε λειτουργία ένα φορτίο για να απορροφήσει την περίσσεια ενέργεια (π.χ. ηλεκτρικές αντιστάσεις, αντλίες), είτε να διακόψει τη λειτουργία των φ/β συλλεκτών.

B) Δίκτυα διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο.

Σε αυτή την περίπτωση η λειτουργία του Sunny Island δεν είναι τόσο καθοριστικής σημασίας. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα να λειτουργεί ως συσκευή αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS), παρέχοντας ισχύ στο δίκτυο του κτιρίου που είναι εγκατεστημένο, όταν το δίκτυο αυτό αποκοπεί από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή, είτε συμβεί κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου τα φωτοβολταϊκά παράγουν ενέργεια είτε κατά τη διάρκεια της νύχτας που δεν παράγουν, ο αντιστροφέας Sunny Island μπορεί να τροφοδοτήσει αυτόματα ένα περιορισμένο δίκτυο το οποίο βέβαια θα έχει απομονωθεί από το κεντρικό, με χρόνο μεταγωγής της τάξεως των millisecond.

Παρακάτω δίνονται τα περισσότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του **SUNNY ISLAND**.

Μέγιστη ισχύς εξόδου	4,3 KVA (για χρόνο μέχρι 30 λεπτά, σε θερμοκρασία 20 °C)
Ονομαστική ισχύς εξόδου	3,3 KVA
Απόδοση	>= 90%
Ονομαστική τάση συστοιχίας συσσωρευτών	60 Volt
Τάση λειτουργίας συστοιχίας συσσωρευτών	46 – 81 Volt
Ονομαστικό ρεύμα συσσωρευτών	60 A

Μέγιστο ρεύμα συσσωρευτών	125 A
Ονομαστική τάση εξόδου	230 Volt
Εύρος τάσης εξόδου	196 – 253 Volt
Ονομαστικό ρεύμα εξόδου	14,5 A
Ονομαστική συχνότητα εξόδου	50 Hz
Εύρος συχνότητας εξόδου	48 – 62 Hz
Αρμονική παραμόρφωση εξόδου (μετρημένη με αρμονική παραμόρφωση δικτύου <2% και απόδοση του αντιστροφέα P>0,5 Pac nom)	<3%
Προστασία από υπερφόρτωση	Με αυτόματους διακόπτες
Κυμάτωση τάσης	< 5%
Προστασία από ανάστροφη πολικότητα	Όχι

Πίνακας 2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα συσσωρευτών του μικροδικτύου sunny island

2.7 Άλλες διατάξεις του μικροδικτύου

Σαν φορτία χρησιμοποιούνται κοινοί λαμπτήρες (ωμικά φορτία) ισχύος 100W, 200W, 300W, 500W και 1kW, σύγχρονοι ηλεκτρονικοί (compact fluorescent bulbs), οι οποίοι παρουσιάζουν και ωμική αλλά και επαγωγική συμπεριφορά, μονοφασικός κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος, πηνία ισχύος 300VA_r, πυκνωτές και αντιστάσεις του εργαστηρίου ελεγχόμενες από πίνακα μέσω διακοπών.



Σχήμα 2.4 Οι αντιστάσεις που έχουν εγκατασταθεί στο μικροδίκτυο

Για τη σύνδεση-αποσύνδεση του μικροδικτύου με το κεντρικό δίκτυο χρησιμοποιείται μικροαυτόματος Hager ES240, ο οποίος και ελέγχεται από τον αντιστροφέα. Βολτόμετρα, αμπερόμετρα και ασφάλειες υπάρχουν σε κάθε ζυγό (φορτία, αντιστροφέα φωτοβολταϊκών, αντιστροφέα sunny island, δίκτυο).

Όλες οι διατάξεις του μικροδικτύου, εκτός φυσικά από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες και τα φορτία, έχουν τοποθετηθεί στον τοίχο του εργαστηρίου, και έχουν καλυφθεί με μεταλλικό πλαίσιο για προστασία και καλύτερη παρουσίαση της ηλεκτρικής σύνδεσης των διατάξεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ (SCADA) ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας συστήματος SCADA

Οι βασικές λειτουργίες που πρέπει να εκτελεί το σύστημα SCADA του μικροδικτύου και στις οποίες θα επικεντρωθούμε στη συνέχεια είναι οι εξής:

- A) Διεπαφή
- B) Καταγραφή και παρουσίαση μετρήσεων
- Γ) Έλεγχος φορτίων
- Δ) Έλεγχος διεσπαρμένης παραγωγής

Έχοντας πραγματοποιήσει τα παραπάνω είναι εύκολο στη συνέχεια να υλοποιηθούν διάφοροι έλεγχοι για το μικροδίκτυο και να πραγματοποιηθούν τα αντίστοιχα πειράματα που θα επιβεβαιώνουν την ορθή λειτουργία του.

A) Διεπαφή (Interface)

Βασικό χαρακτηριστικό ενός συστήματος SCADA για ένα μικρό μονοφασικό μικροδίκτυο όπως αυτό του εργαστηρίου ΣΗΕ είναι η διεπαφή του (interface). Η διεπαφή αυτή πρέπει να έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά:

1. Να αποτελεί ένα φιλικό και κατανοητό προς το χρήστη περιβάλλον το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς την παρουσία του σχεδιαστή του προγράμματος
2. Να είναι αρκετά απλή και αφαιρετική ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εργαστηριακές επιδείξεις. Κύριος στόχος των επιδείξεων αυτών είναι να μπορούν οι φοιτητές και επισκέπτες του εργαστηρίου να κατανοήσουν εύκολα και γρήγορα τις βασικές λειτουργίες ενός μικροδικτύου.

Έτσι, όλες οι εφαρμογές και τα προγράμματα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια σχεδιάζονται πάντα με γνώμονα τα δύο παραπάνω χαρακτηριστικά.

B) Καταγραφή και Παρουσίαση Μετρήσεων

1. Μετρήσεις στην AC πλευρά του μικροδικτύου. Οι μετρήσεις γίνονται με χρήση πολυοργάνων της DEIF. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι το LabVIEW όπου είναι πολύ εύκολη η χρήση του πρωτοκόλλου Modbus.
2. Μετρήσεις στην DC πλευρά του μικροδικτύου και μετρήσεις αισθητήρων. Οι μετρήσεις γίνονται με χρήση LEM και μέσω των αναλογικών καρτών AICan του PLC. Οι μετρήσεις λαμβάνονται πρώτα στο λογισμικό CoDeSys. Στη συνέχεια στέλνονται στο λογισμικό LabVIEW για παρουσίαση και καταγραφή.
3. Μετρήσεις που λαμβάνονται άμεσα από τους αντιστροφείς. Μέσω του λογισμικού LabVIEW και κατόπιν αποστολής του αντίστοιχου αιτήματος μπορούμε να λαμβάνουμε λεπτομερείς πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση των inverter αλλά και του μικροδικτύου συνολικά.

Γ) Έλεγχος Φορτίων

Ο έλεγχος όλων των φορτίων που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.7 γίνεται ελέγχοντας συγκεκριμένα ρελέ φορτίων. Οι εντολές για τα ρελέ δίνονται μέσω της διεπαφής LabVIEW με τη μορφή δυαδικών αριθμών. Το λογισμικό LabVIEW επικοινωνεί με το CoDeSys (PLC) και στέλνει τις εντολές. Το PLC ενεργοποιεί μέσω των καθορισμένων καρτών τα κατάλληλα ρελέ.

1. Χειροκίνητος έλεγχος φορτίων. Τα φορτία σε αυτήν την περίπτωση θα ελέγχονται μέσω του interface "χειροκίνητα" με διακόπτες του SCADA. Με αυτή τη λογική ο χρήστης θα επιλέγει κάθε φορά μέσω υπολογιστή το φορτίο που θέλει να συνδέσει στο μικροδίκτυο.
2. Προγραμματιζόμενη καμπύλη φορτίου. Σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης εισάγει δεδομένα για μια καμπύλη φορτίου που θέλει να εξυπηρετήσει το μικροδίκτυο και αυτή εκτελείται αυτόματα χωρίς περαιτέρω παρεμβάσεις του χρήστη. Η προγραμματιζόμενη καμπύλη φορτίου μπορεί να δίνεται με τη μορφή (P, Q, timestamp) ή με τη μορφή (P, Q, ΔT) όπου ΔT η διάρκεια του κάθε φορτίου. Ο πρώτος τρόπος προγραμματισμού της καμπύλης φορτίου επιβάλλει την ρύθμιση της ώρας που θα λειτουργήσουν τα φορτία για κάθε καμπύλη που προγραμματίζουμε ξεχωριστά ακόμα κι αν το πείραμα που επαναλαμβάνουμε είναι το ίδιο. Δηλαδή, αν θέλουμε να επαναλάβουμε ένα πείραμα 10 φορές τότε θα πρέπει να προγραμματίσουμε 10 φορές την ίδια καμπύλη φορτίου, και επίσης αν θέλουμε να διορθώσουμε μία τιμή της καμπύλης φορτίου στην πράξη υποχρεούμαστε να την επαναπρογραμματίσουμε ολόκληρη κάτι που αποτελεί χρονοβόρα και κουραστική διαδικασία ιδιαίτερα όταν η καμπύλη φορτίου είναι αρκετά μεγάλη. Η δεύτερη επιλογή κρίνεται καλύτερη, παρ'ότι αυξάνει την πολυπλοκότητα των

προγραμμάτων που την υλοποιούν, καθώς απαιτείται μόνο ένας προγραμματισμός της καμπύλης φορτίου για την επανάληψη ενός πειράματος όσες φορές θέλουμε και αντίστοιχα διόρθωση μόνο των επιθυμητών τιμών. Κατ'επέκταση μπορεί να προγραμματιστεί η καμπύλη φορτίου αναλυτικά και αν χρειαστεί μπορεί να διορθωθεί εύκολα και γρήγορα.

3. Προγραμματιζόμενη καμπύλη φορτίου υπό την μορφή txt. Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης εισάδει τα δεδομένα σε ένα αρχείο txt διαφορετικό για κάθε φάση. Τα δεδομένα αφορούν την ισχύ, ενεργό και άεργο, αλλά και τους χρονισμούς και χωρίζονται με tab. Πλεονέκτημα αυτού του πρόγραμματος είναι ότι μπορούμε να εξασφαλίσουμε μια πολύ αναλυτική καμπύλη φορτίου καθώς με αρχείο txt έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε μεγάλο όγκο δεδομένων.

Δ) Έλεγχος πηγών

Η δυνατότητα να συνδέονται και να αποσυνδέονται οι πηγές από το μικροδίκτυο μέσω του SCADA. Ο έλεγχος γίνεται στην AC πλευρά, στην έξοδο των αντιστροφών, με την ίδια λογική που γίνεται και ο έλεγχος των ρελέ των φορτίων. Ο έλεγχος των πηγών έχει υλοποιηθεί στο ίδιο πρόγραμμα όπου προγραμματίζουμε και την καμπύλη φορτίου. Τα φορτία μπορούν να ελέγχονται καθώς τρέχει το πρόγραμμα σε αντίθεση με την καμπύλη φορτίου που είναι προκαθορισμένη. Θα πρέπει να επισημανθεί βέβαια ότι ο έλεγχος τους δεν μπορεί ποτέ να είναι πλήρης καθώς για τη λειτουργία τους δε επεμβαίνει μόνο ο χρήσης αλλά και οι ίδιοι οι αντιστροφείς όποτε κρίνεται απαραίτητο. Αυτό το διαπιστώνουμε πολύ παραστικά στις εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί και θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα όσα περιγράφηκαν παραπάνω αποτελούν τις βασικές λειτουργίες που θα εκτελεί το SCADA. Από εκεί και πέρα αυτός ο πυρήνας μπορεί να εξελίσσεται και να εξειδικεύεται για κάθε εφαρμογή ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη και σύμφωνα με τις ικανότητές του κυρίως στη χρήση του λογισμικού LabVIEW. Έχουν υλοποιηθεί εφαρμογές που βασίζονται στις παραπάνω λειτουργίες του μικροδικτύου και αφορούν τον έλεγχο της συχνότητας, της ισχύος καθώς και της τάσης του μικροδικτύου. Οι εφαρμογές αυτές θα αναλυθούν λεπτομερέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2 Εξοπλισμός που συνθέτει το σύστημα SCADA του εργαστηρίου

Αφού περιγράφηκαν οι βασικές λειτουργίες που πρέπει να εκτελεί ένα σύστημα παρακολούθησης, ελέγχου και καταγραφής παρουσιάζεται ο βασικός εξοπλισμός που συνθέτει το σύστημα SCADA του εργαστηρίου ΣΗΕ.

3.2.1 Η CPU του PLC

Το σύστημα SCADA του μικροδικτύου είναι δομημένο πάνω σε ένα PLC (Programming Logic Controller). Ο "εγκέφαλος" του PLC είναι η CPU (Central Processing Unit) την οποία το εργαστήριο των ΣΗΕ προμηθεύτηκε από την εταιρία Golden A/S [19]. Πρόκειται για το μοντέλο DC 1010 της εταιρίας Berghof [20]. Το μοντέλο αυτό έχει αυξημένες δυνατότητες και μπορεί να στηρίξει μέχρι και 127 κάρτες. Ο προγραμματισμός του γίνεται με το λογισμικό CoDeSys στο οποίο γίνεται ξεχωριστή αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.

Το PLC περιλαμβάνει επιπλέον ψηφιακές (DIOCan) και αναλογικές (AICan) κάρτες. Η επικοινωνία μεταξύ καρτών και CPU γίνεται μέσω CAN bus και του πρωτοκόλλου CANOpen. Οι κάρτες αριθμούνται με τη βοήθεια διακόπτων στο εσωτερικό τους και συνδέονται σε σειρά μέσω πεντάκλωνου καλωδίου σημάτων. Οι πέντε κλώνοι αντιστοιχούν σε τροφοδοσία (2 κλώνοι, $\pm 24V$) σήμα (2 κλώνοι, high-low) και γείωση σήματος που παραμένει ασύνδετη. Οι κάρτες αυτές είναι της εταιρίας Golden A/S.

Το σύστημα τροφοδοτείται από τροφοδοτικό 24V της Phoenix Contact [21]. Πρόκειται για το μοντέλο QUINT-PS/1AC/24DC/5. Το τροφοδοτικό αυτό χρησιμοποιείται για τη CPU, τις κάρτες αλλά και τα ρελέ.

Προτού περιγραφεί ο υπόλοιπος εξοπλισμός που συνθέτει το σύστημα SCADA του εργαστηρίου θα περιγραφεί το πρωτόκολλο CANOpen.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας CANOpen ορίστηκε βασισμένο στο πρωτόκολλο CAN [22] και προορίζεται για χρήση σε διανεμημένα βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού. Βάση του μοντέλου OSI (Open System Interconnection ISO/IEC 7498-1) το CANOpen υλοποιεί τις βαθμίδες ανώτερες της Network Layer, συμπεριλαμβανομένης αυτής, ενώ οι κατώτερες βαθμίδες Data Link και Physical Layer υλοποιούνται βάση του πρωτοκόλλου CAN. Ορίστηκε από την επιτροπή CiA (CAN in Automation) και στην Ευρώπη θεωρείται ως το πιο διαδεδομένο πρότυπο βασισμένο στο CAN, για βιομηχανικές εφαρμογές.

Το CANOpen βασίζεται σε ένα «προφίλ επικοινωνίας» το οποίο προσδιορίζει τα επίπεδα των μηχανισμών επικοινωνίας και τον ορισμό αυτών [CiA-301, CiA-302]. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι συσκευών που χρησιμοποιούνται στους βιομηχανικούς αυτοματισμούς όπως: συστήματα αναλογικών και ψηφιακών εισόδου/εξόδου [CiA-401], drives [CiA-402], συσκευές MMI (Man Machine Interface) [CiA-403], ελεγκτές [CiA-404], προγραμματιζόμενες συσκευές [CiA-405] ή τέλος encoders [CiA-406] περιγράφονται στα αντίστοιχα «προφίλ συσκευών». Η βάση για την ανεξάρτητη συνεργασία συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών είναι ότι η παραμετροποίηση τους γίνεται μέσω του διαύλου.

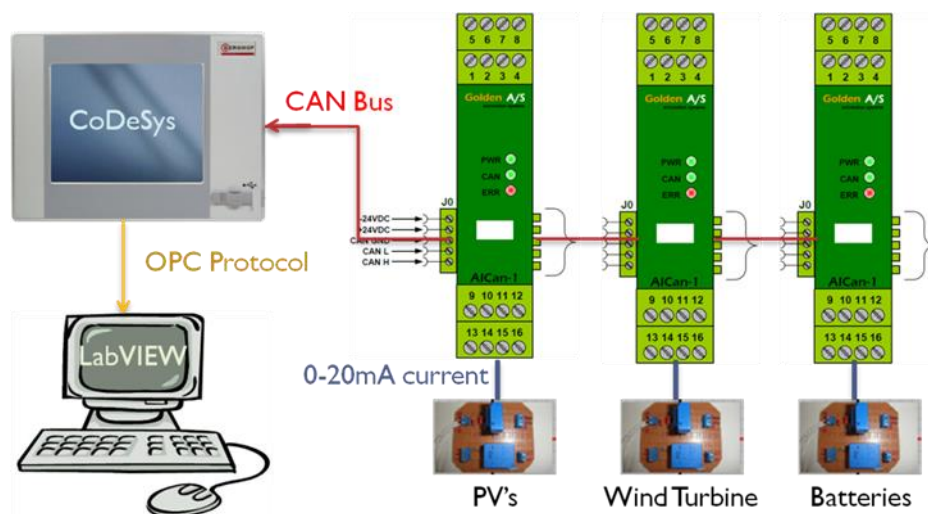
Κεντρικό στοιχείο του CANOpen, είναι η περιγραφή της λειτουργικότητας, παραμέτρων και δεδομένων μιας συσκευής σε ένα «λεξικό αντικειμένων». Το λεξικό αντικειμένων αποτελεί ουσιαστικά ένα κομμάτι μνήμης και χωρίζεται σε δύο τομείς. Έναν τομέα που περιέχει γενικά στοιχεία για μια συσκευή όπως κωδικός συσκευής, όνομα κατασκευαστή κτλ, καθώς επίσης και παραμέτρους επικοινωνίας και ένα δεύτερο τομέα που περιγράφει συγκεκριμένη λειτουργικότητα της συσκευής, καθώς και παραμέτρους και δεδομένα της συσκευής. Κάθε εισαγωγή (αντικείμενο) του λεξικού αντικειμένων περιγράφεται - διευθυνσιοδοτείται από ένα πεδίο 16bit και ένα υπό-πεδίο 8bit. Οι εισαγωγές του λεξικού αντικειμένων συνδυάζονται για να παρέχουν τα «Αντικείμενα Εφαρμογής» μιας συσκευής όπως, σήματα εισόδου-εξόδου, παραμέτρους συσκευής κτλ.

Η λειτουργικότητα και τα χαρακτηριστικά μιας συσκευής CANOpen ορίζονται σε ένα αρχείο EDS (Electronic Data Sheet) σε μορφή ASCII. Η παραμετροποίηση μιας συσκευής ορίζεται σε ένα αρχείο DCF (Device Configuration File). Τα αρχεία EDS και DCF μπορούν να αποθηκευτούν στη συσκευή ή σε οποιοδήποτε άλλο μέσο.

Το πρότυπο CANOpen περιγράφει δύο βασικούς μηχανισμούς μετάδοσης δεδομένων: η ανταλλαγή σε πραγματικό χρόνο δεδομένων λειτουργίας που ονομάζονται PDOs (Process Data Objects), καθώς και η λιγότερο χρονικά κρίσιμη πρόσβαση στις εισαγωγές του Λεξικού Αντικειμένων μέσω των SDOs (Service Data Objects).

3.2.2 Αναλογικές κάρτες (AICan Cards)

Οι αναλογικές κάρτες AICan χρησιμοποιούνται για την καταγραφή αναλογικών μεγεθών. Στην προκειμένη περίπτωση καταγράφουν τάση και ρεύμα (DC) στην έξοδο των πηγών του μικροδικτύου. Η μέτρηση των μεγεθών αυτών γίνεται μέσω κυκλωμάτων LEM. Οι έξοδοι των κυκλωμάτων αποτελούν είσοδο για τις αναλογικές κάρτες. Εκτός από κυκλώματα LEM οι αναλογικές κάρτες μπορούν να καταγράψουν και σήματα αισθητήρων. Αυτή τη στιγμή μέσω αναλογικής κάρτας καταγράφεται από το σύστημα η ηλιοφάνεια για τα φωτοβολταϊκά της ταράτσας του εργαστηρίου. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται πάντα στο εύρος και στο είδος του σήματος που μετράει κάθε κάρτα. Στα εγχειρίδια των καρτών μπορεί ο ενδιαφερόμενος να πληροφορηθεί για τις διαφορετικές επιλογές του (αυτή τη στιγμή οι κάρτες μετράνε σήμα ρεύματος 0-20 mA. Μπορούν επιπλέον να καταγράψουν σήματα 4-20 mA και 0-10 V). Η επιλογή γίνεται κατά τον προγραμματισμό του PLC σε CoDeSys. Η σύνδεση των καρτών αλλάζει καθώς αλλάζει η επιλογή για σήμα τάσης ή ρεύματος και για τους διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης θα πρέπει κανείς να συμβουλευτεί τα εγχειρίδια. Στο μικροδίκτυο αυτή τη στιγμή είναι εγκατεστημένες 3 αναλογικές κάρτες. Μία για τα φωτοβολταϊκά, μια για την Α/Γ και μια για τις μπαταρίες. Κάθε κάρτα έχει το δικό της κύκλωμα LEM.

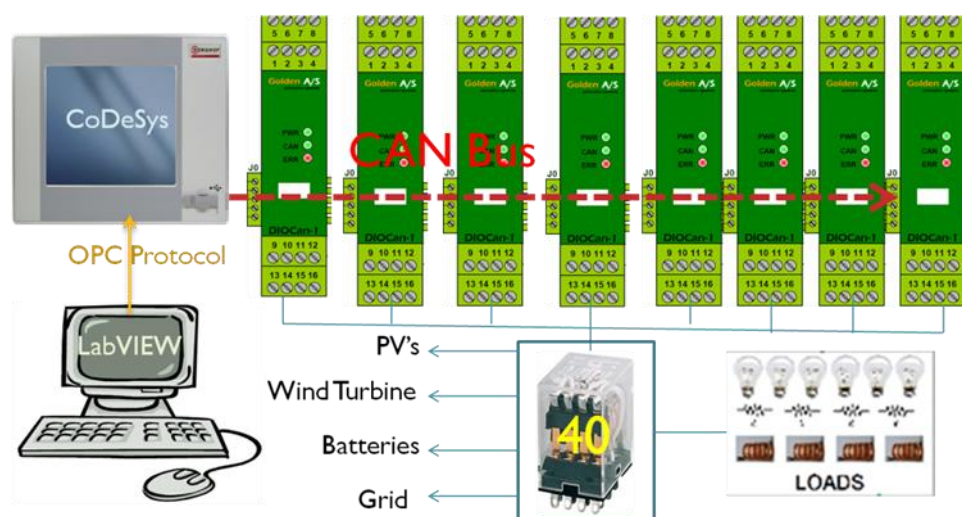


Σχήμα 3.1 Η σύνδεση των αναλογικών καρτών με το PLC και τον κεντρικό υπολογιστή

3.2.3 Ψηφιακές κάρτες

Οι ψηφιακές κάρτες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διακοπών (ρελέ). Κάθε κάρτα μπορεί να ελέγξει μέχρι και 8 διακόπτες λαμβάνοντας απλές ψηφιακές εντολές (0/1) από το CANBus (δηλαδή από τη CPU) και έχει σαν έξοδο σήματα τάσης τροφοδοσίας ($\pm 24V$). Η λογική με την οποία γίνεται ο έλεγχος είναι η εξής: Ο ένας κλάδος της τροφοδοσίας συνδέεται απευθείας στη μία επαφή του πηνίου του ρελέ ενώ ο άλλος διέρχεται πρώτα από την ψηφιακή κάρτα και ύστερα συνδέεται στην άλλη επαφή του πηνίου. Η κάρτα λειτουργεί σα διακόπτης. Όταν λάβει εντολή ON ο "διακόπτης" κλείνει και το ρελέ τροφοδοτείται. Αντίστροφα για εντολή OFF. Τα εγκατεστημένα ρελέ είναι της εταιρίας ABB με δύο επαφές, δυνατότητα διακοπής 12 A η κάθε μια και τροφοδοσία πηνίου 24V.

Στο μικροδίκτυο είναι αυτή τη στιγμή εγκατεστημένες συνολικά 8 ψηφιακές κάρτες. Οι 4 αφορούν τα φορτία και ελέγχουν 32 ρελέ που είναι συνδεδεμένα με τα φορτία που βρίσκονται στην ταράτσα (15 x 1 kW), με τα φορτία που βρίσκονται μέσα στο εργαστήριο (λαμπτήρες, 9 πηνία 250 VA γ και ένας μικρός κινητήρας). Οι άλλες 4 κάρτες αντιστοιχίζονται σε κάθε μια πηγή. Μία για τα Φ/Β, μία για την Α/Γ, μία για τις μπαταρίες και μια για το δίκτυο. Ελέγχουν από δύο ρελέ τοποθετημένα στην AC πλευρά του μικροδικτύου με στόχο να συνδέουν και να αποσυνδέουν τους αντιστροφείς (και το δίκτυο).



Σχήμα 3.2 Η σύνδεση των ψηφιακών καρτών με το PLC και τον κεντρικό υπολογιστή

3.2.4 Αισθητήρες

Το SCADA έχει και τη δυνατότητα καταγραφής μετρήσεων από αισθητήρες. Στην ταράτσα του εργαστηρίου έχει εγκατασταθεί πυρανόμετρο η έξοδος του οποίου είναι σήμα τάσης. Το σήμα αυτό μετατρέπεται σε ρεύμα με τη βοήθεια του μετατροπέα MINI MCR-SL-SHUNT-UI-NC της Phoenix Contact. Ο μετατροπέας αυτός είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο καθώς μπορεί να μετατρέψει πολλά ήδη σημάτων σε άλλα προκειμένου να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με την είσοδο των καρτών. Στο αντίστοιχο εγχειρίδιο περιγράφεται πολύ καλά η λειτουργία του μετατροπέα.

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης καρτών μέτρησης θερμοκρασίας (TMPCan) που μπορούν να μετρήσουν τη θερμοκρασία του

περιβάλλοντος αλλά και των μπαταριών. Τέλος υπάρχει ένας αισθητήρας του ISET ο οποίος μετράει θερμοκρασία και ακτινοβολία ταυτόχρονα.

3.2.5 Κλάδος πολυοργάνων

Για τις μετρήσεις στην AC πλευρά του μικροδικτύου χρησιμοποιούνται πολυόργανα (multi-instruments) της DEIF [23] και συγκεκριμένα το μοντέλο 4189320009F. Τα πολυόργανα αυτά έχουν τη δυνατότητα μέτρησης πολλών διαφορετικών μεγεθών και είναι τριφασικά (ένα όργανο και για τις τρεις φάσεις). Αυτή τη στιγμή βρίσκονται εγκατεστημένα στο μικροδίκτυο 5 πολυόργανα, για τις 3 μικροπηγές, το δίκτυο και τα φορτία. Τα πολυόργανα αυτά μετράνε απευθείας την τάση των 230V ενώ χρειάζονται μετασχηματιστή ρεύματος για να μετρήσουν ρεύματα μεγαλύτερα από 5A. Με λίγα λόγια M/Σ ρεύματος χρησιμοποιείται για τη λήψη μετρήσεων στον αντιστροφέα μπαταριών, στο δίκτυο (3 ανά φάση) και στα φορτία (3 ανά φάση). Η τοποθέτηση των μετατροπέων αυτών μειώνει την ακρίβεια των μετρήσεων λόγω του τρόπου λειτουργίας των πολυοργάνων. Οι καταχωρητές που κρατάνε τις μεταβλητές δεν υποστηρίζουν δεκαδικούς αριθμούς με αποτέλεσμα η ακρίβεια της μέτρησης να μειώνεται όταν πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή του M/Σ ρεύματος. Το φαινόμενο είναι πιο έντονο στη μέτρηση της ισχύος όπου οι μετρήσεις γίνονται ανά 20 W. Με λίγα λόγια, μια μέτρηση που στην πραγματικότητα θα ήταν 1772 W θα καταγράφεται από το πολυόργανο ως 1780 W. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι ο έμμεσος υπολογισμός της ισχύος από το γινόμενο τάσης και ρεύματος, καθώς το σφάλμα στο ρεύμα εμφανίζεται στο 3ο δεκαδικό ψηφίο.

3.3 Το λογισμικό CoDeSys

3.3.1 Γενικά

Το λογισμικό CoDeSys χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του PLC της Berghof αλλά και για τον προγραμματισμών άλλων PLC [24]. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η έκδοση CoDeSys V2.3 για Windows XP 32bit. Το CoDeSys χρησιμοποιείται πολύ στην Ευρώπη και κυρίως στη βιομηχανία. Στην ιστοσελίδα της εταιρίας μπορεί κανείς να βρει τόσο το εγχειρίδιο όσο και τις εφαρμογές του. Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι το documentation δεν είναι επαρκές για να κατανοήσει κανείς πλήρως τη λειτουργία και τις δυνατότητες του λογισμικού. Θα γίνει όμως μια προσπάθεια ώστε να κατανοήσει ο αναγνώστης πλήρως το πρόγραμμα.

3.3.2 Εγκατάσταση

Το CoDeSys πρόκειται για λογισμικό που χρησιμοποιείται από πολλές διαφορετικές εταιρίες, για πολλές διαφορετικές συσκευές [25]. Έτσι, προκειμένου να αρχίσει κανείς να προγραμματίζει για το PLC θα πρέπει να έχει στη διάθεσή του τα συγκεκριμένα αρχεία (eds files) που αφορούν το PLC (CPU και κάρτες) που θα χρησιμοποιήσει, ώστε να αναγνωρίσει το λογισμικό το αντίστοιχο υλικό. Τα αρχεία αυτά θα πρέπει να προστεθούν μετά την εγκατάσταση στο σωστό directory ώστε να μπορούν να βρεθούν από το πρόγραμμα. Συνήθως μπαίνουν στο φάκελο compile του CoDeSys V2.3. Στη συνέχεια "Install Target" για να βρεθεί το Berghof (tnf ή trg).

Αφού έχει γίνει σωστά η εγκατάσταση μπορεί να δημιουργηθεί το πρώτο πρόγραμμα File==>New. Στη συνέχεια θα εμφανιστεί ένα παράθυρο με τίτλο Target Settings και στο εσωτερικό Configuration. Εκεί, αν όλα τα παραπάνω έχουν γίνει σωστά θα πρέπει να υπάρχει η επιλογή CoDeSys for Berghof PPC V2. Μετά το OK η μόνη επιλογή που πρέπει να γίνει είναι Visualization==>Target Visualization. Στη συνέχεια OK για να δημιουργηθεί το απαραίτητο βασικό πρόγραμμα προκειμένου να σχεδιαστεί κάποια εφαρμογή.

Στα resources, μπορεί να κανείς να προσθέσει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες που θα χρειαστούν αργότερα για τον προγραμματισμό. Για κάθε PLC υπάρχουν και εξειδικευμένες βιβλιοθήκες πέρα από τις κοινές. Οι βιβλιοθήκες πρέπει να προστεθούν στο κατάλληλο directory. Τα directories ρυθμίζονται από το Project==>Options==>Directories σε Target και General. Μετά τις απαραίτητες ρυθμίσεις τα Directories θα πρέπει να είναι όπως στο σχήμα 3.3.

Στη συνέχεια ρυθμίζονται οι global variables. Όπου CanOpen Implicit Variables συμπληρώνεται ο εξής κώδικας:

```

VAR_GLOBAL CONSTANT
    MAX_CTRLINDEX : INT := 0;
END_VAR
VAR_GLOBAL CONSTANT
    USE_CANOPEN_NODES : BOOL := TRUE;
    MAX_MASTERINDEX : INT := 0;
    MAX_NODEINDEX : INT := 10;
    MAX_SDOINDEX : INT := 410;
    MAX_PDOINDEX_RX : INT := 27;
    MAX_PDOINDEX_TX : INT := 7;
    MAX_MASTER_ODENTRY_IDX : INT := 0;
END_VAR
VAR_GLOBAL
    pCANopenMaster      :      ARRAY[0..MAX_MASTERINDEX]      OF
CanOpenMaster;
    pCanOpenNode : ARRAY[0..MAX_NODEINDEX] OF CanOpenNode;
    pCanOpenSDO : ARRAY[0..MAX_SDOINDEX] OF CanOpenSDO;
    pCanOpenPDO_Rx      :      ARRAY[0..MAX_PDOINDEX_RX]      OF
CanOpenPDO_Rx;
    pCanOpenPDO_Tx      :      ARRAY[0..MAX_PDOINDEX_TX]      OF
CanOpenPDO_Tx;
    ODMEntries:      ARRAY[0..MAX_MASTER_ODENTRY_IDX]      OF
CanOpenODEntry;
END_VAR

```

Στο Global Variables συμπληρώνεται:

```

VAR_GLOBAL
    TIMER:TP;
    (*Global timer instance of type TP. It is required to inform for a timeout
connection in blocking mode*)
    Client :ARRAY [0..4] OF CLIENT_ACCEPT;      (*Array      of
CLIENT_ACCEPT structure. It is used in the multihosting Application Note. Here
can be used just one variable*)

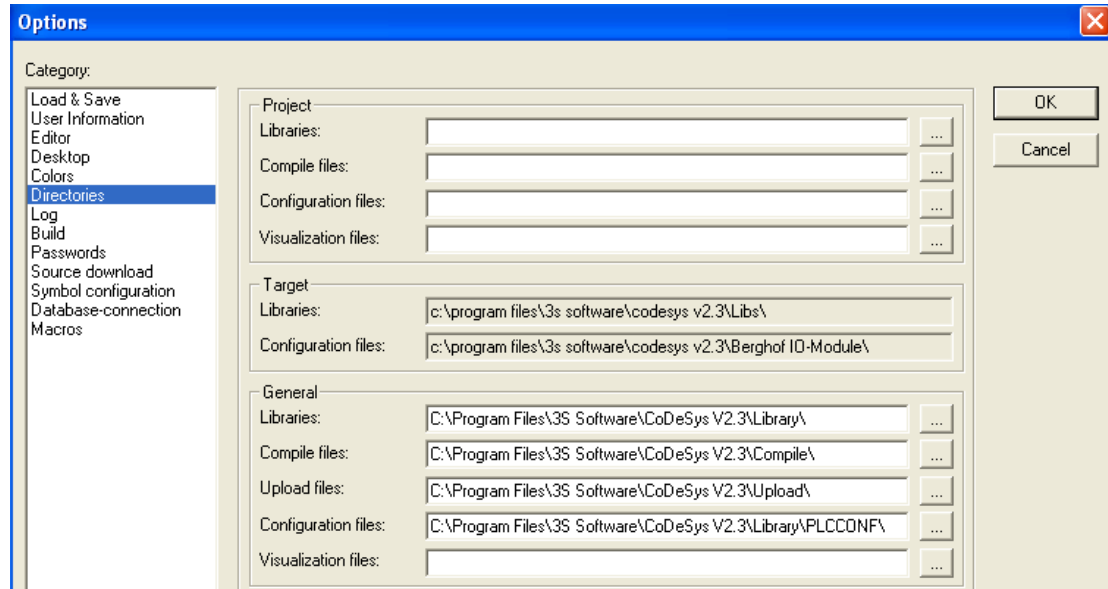
```

```

gdbSocket : DINT := -1;
(*Initialization of the main socket*)
switch:BOOL:=FALSE; (*is used to check an external acknowledgment signal*)

```

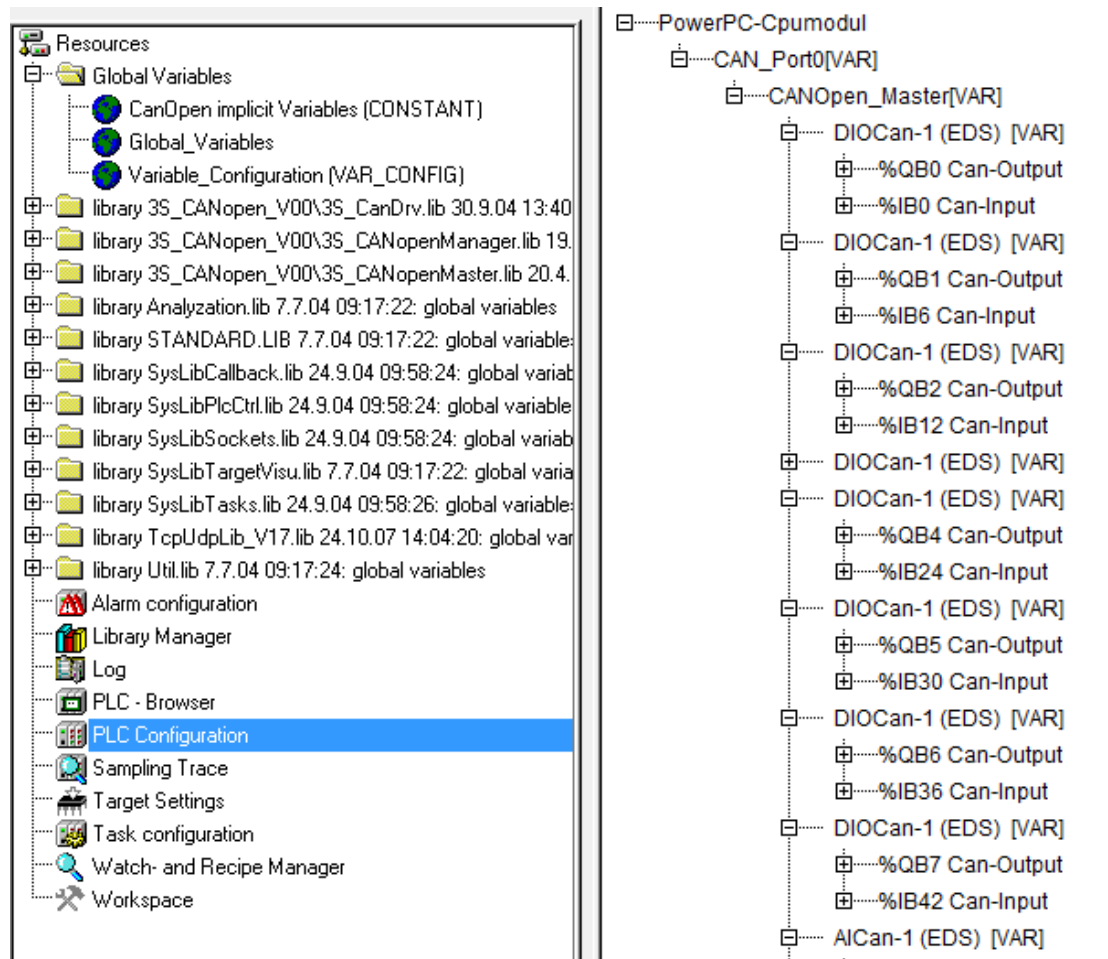
END_VAR



Σχήμα 3.3 Ρύθμιση Directories στο CoDeSys

3.3.3 PLC Configuration

Το πρώτο που πρέπει να γίνει είναι να ρυθμιστεί το PLC Configuration. Πρόκειται ουσιαστικά για μια περιγραφή του hardware (κάρτες και CPU) και του τρόπου με τον οποίο είναι όλα συνδεδεμένα. Ξεκινώντας προστίθεται ο τύπος του συστήματος (η CPU), στην προκειμένη περίπτωση PowerPC-Cpumodul. Έπειτα εισάγεται η θύρα επικοινωνίας. Η συγκεκριμένη CPU έχει δύο θύρες CAN. Τη X6 και τη X7. Επιλέγεται η X6 καθώς είναι optically isolated. Στο PLC Configuration η θύρα αυτή είναι η CAN_Port0. Στη συνέχεια επιλέγεται append CANOpen_Master και ο χρήστης πλέον μπορεί να αρχίσει να εισάγει τις κάρτες τις οποίες χρησιμοποιεί. Αν κάτι από τα παραπάνω δεν είναι δυνατόν να βρεθεί σημαίνει ότι κάποιος λάθος έχει γίνει με τα directories στο προηγούμενο βήμα. Όσον αφορά τις αναλογικές και ψηφιακές κάρτες εισάγονται οι AICAN1-12 και DIOCAN1-12. Αυτόματα με την εισαγωγή παίρνουν διευθύνσεις οι εισοδοί και οι έξοδοι των καρτών. Οι διευθύνσεις αυτές είναι μοναδικές για κάθε κανάλι κάθε κάρτας και θα χρησιμοποιηθούν αργότερα κατά το στάδιο του προγραμματισμού. Ο χρήστης θα πρέπει τελειώνοντας να έχει κατασκευάσει ένα δέντρο σαν αυτό της παρακάτω εικόνας με 8 DIOCan και 3 AICan για αρχή. Γενικά, οποιαδήποτε κάρτα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να δηλωθεί σε αυτό το σημείο.



Σχήμα 3.4 Εισαγωγή χαρακτηριστικών του PLC στο CoDeSys.Επιλογή καρτών και αντίστοιχων NodeIDs

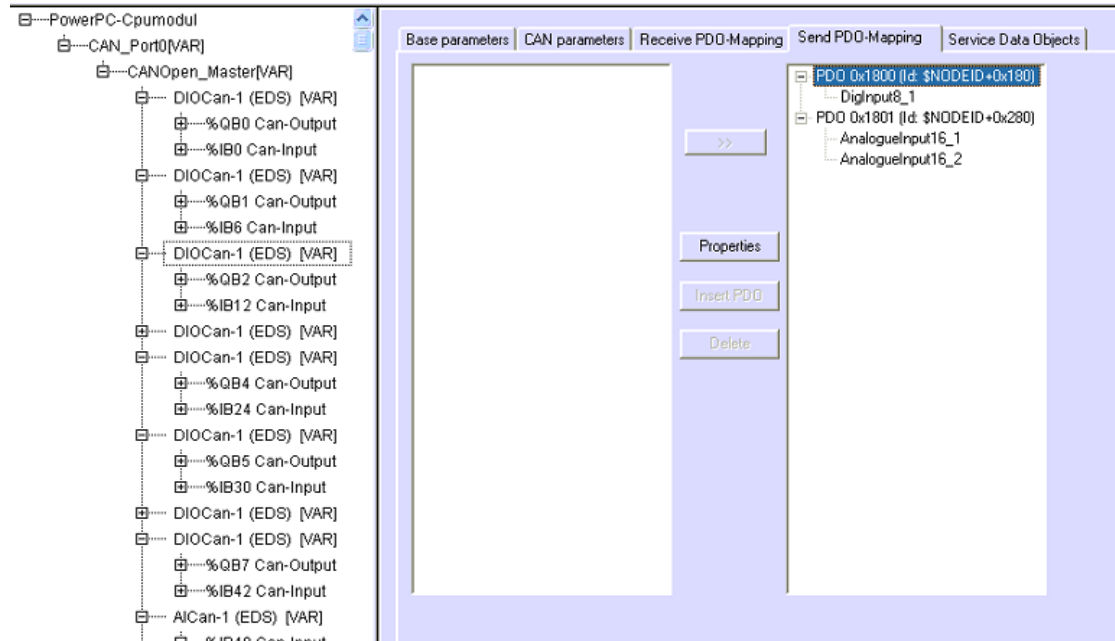
Στη συνέχεια πρέπει να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά κάθε κάρτας. Το πρώτο που πρέπει να γίνει είναι η σωστή αρίθμηση των καρτών έτσι ώστε η αναφορά που γίνεται σε μια κάρτα στο πρόγραμμα να αφορά την σωστή κάρτα. Αυτό γίνεται ρυθμίζοντας την παράμετρο Node ID (CAN Parameters). Η αρίθμηση γίνεται πρώτα στην πραγματική κάρτα όπως περιγράφεται στα αντίστοιχα εγχειρίδια. Η αρίθμηση αυτή τη στιγμή έχει ως εξής:

Κάρτα	Node ID
DIOCan Loads 1	12
DIOCan Loads 2	13
DIOCan Loads 3	14
DIOCan Loads 4	15
DIOCan Sunny Island	4
DIOCan PV's	2
DIOCan Wind Turbine	7
DIOCan Grid	9
AICan Sunny Island	5
AICan Wind Turbine	8
AICan Roof Top	3

Πίνακας 3.1 Τα NodeIDs κάθε κάρτας του PLC

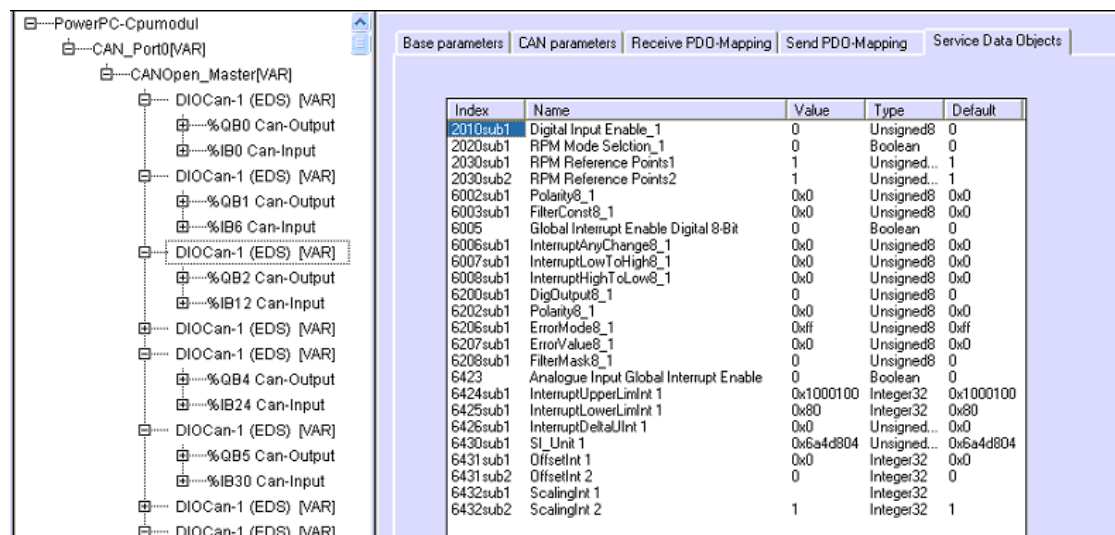
Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις γίνονται ανάλογα και με το είδος της κάρτας:
Για ψηφιακές κάρτες DIOCan Cards:

Η ρύθμιση Send PDO-Mapping δεν απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, και πρέπει να μοιάζει όπως στην παρακάτω εικόνα. Επιλέγοντας Properties πρέπει και οι δύο περιπτώσεις να ρυθμιστούν ως asynchronous - device profile specific.



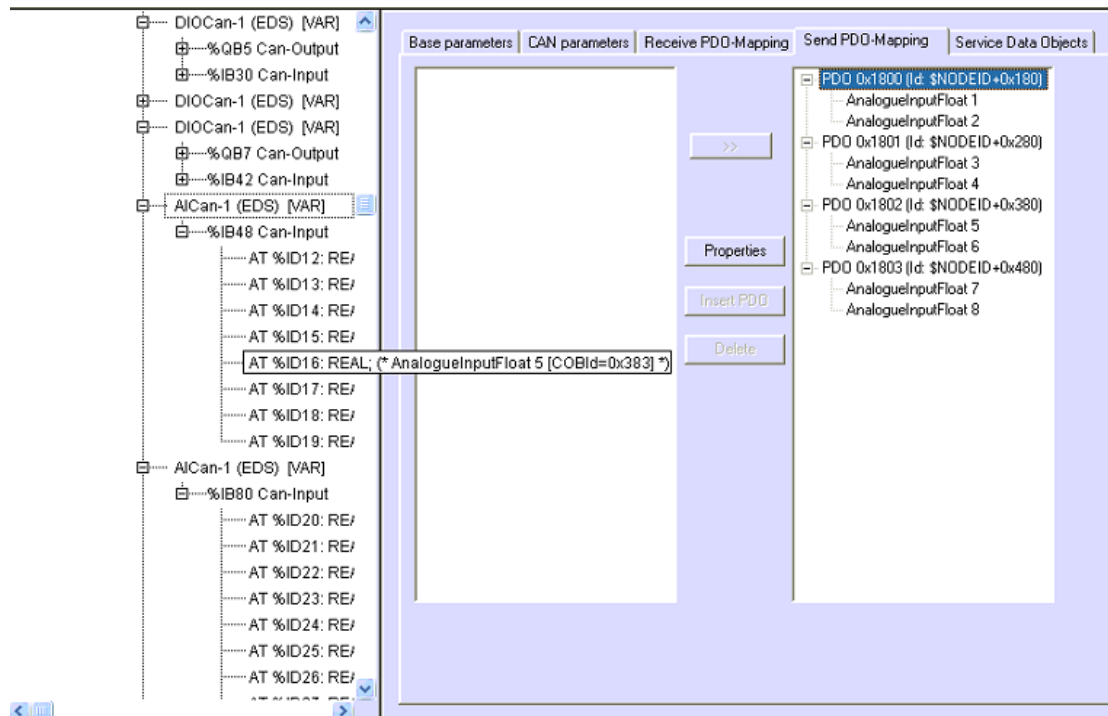
Σχήμα 3.5 Ρυθμίσεις PDO mapping του PLC

Για τη ρύθμιση Receive PDO-Mapping δεν απαιτείται κάτι ιδιαίτερο ενώ για τη ρύθμιση Service Data Objects η εικόνα θα πρέπει να είναι η εξής:



Σχήμα 3.6 Ρύθμιση Service Data Object για ψηφιακή κάρτα του PLC

Η ρύθμιση Send PDO Mapping απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Τα κανάλια που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις (AnalogueInputFloat ...) πρέπει να χαρακτηριστούν ως asynchronous - device profile specific. Η σωστή εικόνα είναι η εξής:



Σχήμα 3.7 Service Data Object για αναλογική κάρτα του PLC

Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στον καθορισμό των καναλιών τόσο στις αναλογικές, όσο και στις ψηφιακές κάρτες. Κάθε κανάλι αντιστοιχεί σε μία διεύθυνση. Στο παραπάνω σχήμα για παράδειγμα, η διεύθυνση ID16 είναι η AnalogueInputFloat5 και αντιστοιχεί στο 5ο κανάλι της συγκεκριμένης αναλογικής κάρτας. Το σήμα ρεύματος που θα πρέπει να μετρηθεί πρέπει να συνδεθεί στο σωστό κανάλι της κάρτας για να το διαβάσει το πρόγραμμα.

Τέλος, η ρύθμιση Service Data Objects έχει επίσης μεγάλη σημασία. Στην πρώτη από όλες τις παραμέτρους περιγράφεται το είδος της μέτρησης. Αν το σήμα που θα διαβάζει η κάρτα θα είναι ρεύμα 0-20mA/4-20mA ή τάση 0-10V. Η παράμετρος αυτή είναι η 2011sub1 και λαμβάνει τιμή 255 για μέτρηση ρεύματος 0-20mA και 255 για μέτρηση ρεύματος 4-20mA. Στην τελική έκδοση του SCADA υπάρχουν 3 αναλογικές κάρτες που λαμβάνουν σήμα 0-20mA και μια που προστέθηκε αργότερα (πίνακας ταράτσας) που λαμβάνει σήμα 4-20mA.

3.3.4 Ο προγραμματισμός του PLC

Στο CoDeSys δίνεται τη δυνατότητα να προγραμματίσει κανείς με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι ο κλασικός για PLC Ladder Programming που δεν επιλέγεται όμως σε αυτήν την περίπτωση. Αυτό που επιλέγεται είναι το Structured Text (ST) λόγω της ομοιότητάς με κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, Pascal κλπ). Ακολουθούν τα βασικά προγράμματα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του PLC.

PLC-PRG

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ξεκινώντας μια εφαρμογή στο CoDeSys ο χρήστης δημιουργεί ένα πρόγραμμα με όνομα PLC-PRG. Στην προκειμένη περίπτωση, ευθύνη του PLC-PRG είναι η δημιουργία ενός string που θα σταλεί από το PLC στον κεντρικό υπολογιστή (LabVIEW) και θα περιλαμβάνει όλες τις μετρήσεις των

αναλογικών καρτών (LEM και αισθητήρες). Τα προγράμματα αποτελούνται πάντα από ένα τμήμα ορισμού μεταβλητών και ένα δεύτερο όπου ορίζεται η λειτουργικότητα του προγράμματος.

Ορισμός μεταβλητών:

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    receive_data:BOOL:=TRUE; (*flag that allows the cpu to receive data from
the pc (labview)*)
    send_data:BOOL:=TRUE; (*flag that allows the cpu to send data to the pc
(labview)*)
    send_array:ARRAY [0..5] OF REAL; (*dc measurments (PV,WT,SI) and
sensor data to be sent from CPU to PC*)
    send0: STRING;
    send1: STRING;
    send2: STRING;
    send3: STRING;
    send4: STRING;
    send5: STRING;
    SENDDATAOPC: STRING;
    WINDCON: STRING;
    PVCON: STRING;
    BATTCON: STRING;
END_VAR
```

Κώδικας:

```
IF send_data THEN
(*add here all the INPUT programm variables that you want to be sent to the PC
through the CPU in the sned_array ARRAY...*)
    send_array[0]:=INPUTS.pv_v_lem;
    send_array[1]:=INPUTS.pv_c_lem;
    send_array[2]:=INPUTS.wt_v_lem;
    send_array[3]:=INPUTS.wt_c_lem;
    send_array[4]:=INPUTS.bi_v_lem;
    send_array[5]:=INPUTS.bi_c_lem;
    send0:=REAL_TO_STRING(send_array[0]);
    send1:=REAL_TO_STRING(send_array[1]);
    send2:=REAL_TO_STRING(send_array[2]);
    send3:=REAL_TO_STRING(send_array[3]);
    send4:=REAL_TO_STRING(send_array[4]);
    send5:=REAL_TO_STRING(send_array[5]);
    WINDCON:=CONCAT(send2,CONCAT('~',send3));
    PVCON:=CONCAT(send0,CONCAT('~',send1));
    BATTCON:=CONCAT(send4,CONCAT('~',send5));
    SENDDATAOPC:=CONCAT(BATTCON,CONCAT('/',CONCAT(PVCON,
CONCAT('/',WINDCON))));
END_IF
```

Οι μεταβλητές send_data και receive_data τίθενται από το χρήστη και επιτρέπουν ή απαγορεύουν την αποστολή και λήψη δεδομένων.

INPUTS

Παραπάνω είδαμε ότι χρησιμοποιείται η ονομασία INPUTS.xxx. Στο thread INPUTS υπολογίζονται όλες οι είσοδοι του PLC. Οι μετρήσεις των αναλογικών καρτών δηλαδή και οι τιμές τους ανατίθενται σε μεταβλητές προκειμένου στη συνέχεια να σταλούν στον κεντρικό υπολογιστή, μέσω της αναφοράς INPUTS.xxx.

Ορισμός μεταβλητών:

PROGRAM INPUTS

VAR_INPUT

```
pv_v_lem AT %ID15 : REAL :=0.0; (*AICanPV:ID12-ID19*)
pv_c_lem AT %ID14: REAL:=0.0;
wt_v_lem AT %ID22: REAL:=0.0; (*AICanWT:ID20-ID27*)
wt_c_lem AT %ID23 : REAL :=0.0;
bi_v_lem AT %ID30 : REAL :=0.0; (*AICanBI:ID28-ID35*)
bi_c_lem AT %ID31 : REAL :=0.0; (*add any other measurement by adding
```

more AICan Cards*)

END_VAR

VAR

```
pv_v:REAL:=0;
pv_c:REAL:=0;
pv_p:REAL:=0;
wt_v:REAL:=0;
wt_c:REAL:=0;
wt_p:REAL:=0;
bi_v:REAL:=0;
bi_c:REAL:=0;
bi_p:REAL:=0;
```

END_VAR

Κώδικας:

```
pv_v:=pv_v_lem*13.8*1000.0;
pv_c:=pv_c_lem*0.333*1000.0;
pv_p:=pv_v*pv_c;
wt_v:=wt_v_lem*13.8*1000.0;
wt_c:=wt_c_lem*0.333*1000.0;
wt_p:=wt_c*wt_v;
bi_v:=bi_v_lem*5.334*1000.0;
bi_c:=(bi_c_lem-0.01)*9.5*1000.0;
bi_p:=bi_c*bi_v;
```

Στο κομμάτι του κώδικα υπολογίζονται οι πραγματικές τιμές των μεταβλητών (ρεύμα και τάση), πολλαπλασιάζοντας τις ενδείξεις των αναλογικών καρτών με κατάλληλους συντελεστές που προκύπτουν από τα κυκλώματα LEM και τα αντίστοιχα κυκλώματα αισθητήρων.

Μεγαλύτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο κομμάτι ορισμού μεταβλητών. Εκεί ορίζεται το είδος κάθε μεταβλητής (π.χ. REAL) καθώς και η διεύθυνση στην οποία πρέπει η μεταβλητή να αναφερθεί προκειμένου να λάβει την επιθυμητή τιμή. Η διεύθυνση αυτή μπορεί να βρεθεί από το PLC Configuration. Επιπλέον αρχικοποιούνται οι μεταβλητές.

OUTPUTS

Το thread αυτό αφορά τις εξόδους του PLC προς το σύστημα. Με λίγα λόγια τις εντολές της CPU προς τις ψηφιακές κάρτες DIOCan. Οι εντολές αυτές προέρχονται από τον κεντρικό υπολογιστή και προωθούνται από τη CPU στις κάρτες.

Ορισμός μεταβλητών:

PROGRAM OUTPUTS

VAR_OUTPUT

(*look at PLC Configuration*)

```
load1 AT %QB0:BYTE:=0;
load2 AT %QB1:BYTE:=0;
load3 AT %QB2:BYTE:=0;
load4 AT %QB3:BYTE:=0;
PV AT %QB4:BYTE:=0;
WT AT %QB5:BYTE:=0;
BI AT %QB6:BYTE:=0;
GR AT %QB7:BYTE:=0;
INPUTLOADSTRING:STRING;
```

END_VAR

VAR_INPUT

END_VAR

VAR

```
PVon:BOOL;
WTon:BOOL;
BIon:BOOL;
GRon:BOOL;
i:BYTE;
j:BYTE;
PINAX:ARRAY[0..7,0..7] OF BOOL;
LDSWITCH: BOOL;
k:INT;
spot:INT;
RELAY: ARRAY[0..7] OF STRING;
lengtodel:INT;
INPUTLOADSTRING1: STRING;
INPUTLOADSTRING0: STRING;
INPUTLOADSTRING2: STRING;
INPUTLOADSTRING3: STRING;
INPUTLOADSTRING4: STRING;
INPUTLOADSTRING5: STRING;
INPUTLOADSTRING6: STRING;
INPUTLOADSTRING7: STRING;
```

END_VAR

Είσοδος εδώ είναι η μεταβλητή INPUTLOADSTRING. Πρόκειται για String που έρχεται από τον κεντρικό υπολογιστή. Στη συνέχεια παρατίθεται κώδικας που επεξεργάζεται το string που στέλνει το LabVIEW προκειμένου να πάρουν τιμές οι μεταβλητές στις οποίες έχουν ανατεθεί διευθύνσεις. Κάθε ψηφιακή κάρτα αναφέρεται με μία διεύθυνση. Η τιμή που παίρνει η κάρτα είναι τύπου BYTE, κάθε bit του οποίου αντιστοιχεί σε ένα από το 8 κανάλια της κάρτας. Έτσι, η δήλωση load1 AT %QB0:BYTE:=0; σημαίνει ότι η μεταβλητή load1 αντιστοιχεί στην κάρτα DIOCan 1 με διεύθυνση QB0 στο PLC Configuration και αναπτύσσοντας το BYTE αυτό σε bits προκύπτει η συμπεριφορά (ON/OFF) κάθε καναλιού της κάρτας. Αυτό που θέλει μεγάλη προσοχή είναι ο τρόπος ανάγνωσης του BYTE (από το least significant προς το most significant ή αντιστρόφως). Αυτή είναι μια σύμβαση που πρέπει να γίνει από την αρχή, στο πρόγραμμα του κεντρικού υπολογιστή που στέλνει το INPUTLOADSTRING και να ακολουθηθεί σε κάθε περίπτωση στη συνέχεια προκειμένου να γίνουν σωστά οι αναφορές σε κάθε ρελέ.

Κώδικας:

```
IF PLC_PRG.receive_data THEN (*if receiving data from PC (labview) is enabled*)
    spot:=FIND(INPUTLOADSTRING,$T');
    RELAY[0]:=LEFT(INPUTLOADSTRING,spot-1);
    lengtodel:=LEN(RELAY[0])+2;
    INPUTLOADSTRING0:=DELETE(INPUTLOADSTRING,lengtodel,0);
load1:=STRING_TO_BYTE(RELAY[0]);
    spot:=FIND(INPUTLOADSTRING0,$T');
    RELAY[1]:=LEFT(INPUTLOADSTRING0,spot-1);
    lengtodel:=LEN(RELAY[1])+2;
    INPUTLOADSTRING1:=DELETE(INPUTLOADSTRING0,lengtodel,0);
load2:=STRING_TO_BYTE(RELAY[1]);
    spot:=FIND(INPUTLOADSTRING1,$T');
    RELAY[2]:=LEFT(INPUTLOADSTRING1,spot-1);
    lengtodel:=LEN(RELAY[2])+2;
    INPUTLOADSTRING2:=DELETE(INPUTLOADSTRING1,lengtodel,0);
load3:=STRING_TO_BYTE(RELAY[2]);
    spot:=FIND(INPUTLOADSTRING2,$T');
    RELAY[3]:=LEFT(INPUTLOADSTRING2,spot-1);
    lengtodel:=LEN(RELAY[3])+2;
    INPUTLOADSTRING3:=DELETE(INPUTLOADSTRING2,lengtodel,0);
load4:=STRING_TO_BYTE(RELAY[3]);
    spot:=FIND(INPUTLOADSTRING3,$T');
    RELAY[4]:=LEFT(INPUTLOADSTRING3,spot-1);
    lengtodel:=LEN(RELAY[4])+2;
    INPUTLOADSTRING4:=DELETE(INPUTLOADSTRING3,lengtodel,0);
PV:=STRING_TO_BYTE(RELAY[4]);
    spot:=FIND(INPUTLOADSTRING4,$T');
    RELAY[5]:=LEFT(INPUTLOADSTRING4,spot-1);
    lengtodel:=LEN(RELAY[5])+2;
    INPUTLOADSTRING5:=DELETE(INPUTLOADSTRING4,lengtodel,0);
WT:=STRING_TO_BYTE(RELAY[5]);
```

```

spot:=FIND(INPUTLOADSTRING5,'$T');
RELAY[6]:=LEFT(INPUTLOADSTRING5,spot-1);
lengtodel:=LEN(RELAY[6])+2;
INPUTLOADSTRING6:=DELETE(INPUTLOADSTRING5,lengtodel,0);
BI:=STRING_TO_BYTE(RELAY[6]);
spot:=FIND(INPUTLOADSTRING6,'$T');
RELAY[7]:=LEFT(INPUTLOADSTRING6,1);
lengtodel:=LEN(RELAY[7])+2;
INPUTLOADSTRING7:=DELETE(INPUTLOADSTRING6,lengtodel,0);
GR:=STRING_TO_BYTE(RELAY[7]);
FOR j:=0 TO 7
DO
    FOR i:=0 TO 7
    DO
        PINAX[j,i]:=EXTRACT(X:=TCP_Server.ByRecv[j],N:=i);
        IF (PINAX[0,i] OR PINAX[1,i] OR PINAX[2,i] OR
PINAX[3,i])=TRUE THEN
            LDSWITCH:=TRUE;
        END_IF;
    END_FOR;
END_FOR;
END_IF;

```

3.3.5 Visualization

Μέχρι εδώ έχουν περιγραφεί τα βασικά threads της εφαρμογής. Στον παραπάνω κώδικα υπάρχουν κομμάτια που δεν έχουν εξηγηθεί και θα εξηγηθούν σε αυτό το κεφάλαιο. Το κομμάτια αυτά αφορούν την οπτικοποίηση (Visualization). Πρόκειται ουσιαστικά για μια οπτικοποίηση της εφαρμογής η οποία θα παρουσιάζεται στην οθόνη του PLC. Το συγκεκριμένο PLC υποστηρίζει και οθόνη αφής.

Η λογική με την οποία γίνεται οπτικοποίηση είναι σχετικά απλή. Ο χρήστης πρέπει απλά να σχεδιάσει κάθε οθόνη που θεωρεί ότι θα πρέπει να έχει η εφαρμογή. Έτσι επιλέγεται μια κεντρική οθόνη γενικής χρήσης, από την οποία ο χρήστης θα βλέπει το σύστημα και θα μπορεί αν επιλέξει πιο συγκεκριμένα ποιο υποσύστημα θέλει να παρατηρήσει. Στην προκειμένη περίπτωση τα υποσυστήματα είναι οι πηγές και τα φορτία. Έτσι υπάρχει μια οθόνη για τα φωτοβολταϊκά που θα δείχνει την τάση και το ρεύμα ή και την ηλιοφάνεια. Ομοίως για την ανεμογεννήτρια και τους συσσωρευτές. Τέλος υπάρχει μια ακόμα οθόνη για τα φορτία που θα δείχνει το συνολικό φορτίο αλλά και ποια ρελέ είναι ενεργοποιημένα κάθε φορά. Ο χρήστης σχεδιάζει κουμπιά και αναθέτει σε αυτά μεταβλητές. Με ένα κουμπί μπορεί κανείς να δίνει τιμή σε μια BOOL μεταβλητή προκειμένου να μεταβεί σε μια άλλη οθόνη ή να αλλάξει την κατάσταση κάποιου ρελέ. Εδώ τέτοιες μεταβλητές χρησιμοποιούνται για μετάβαση από μια οθόνη σε μια άλλη (π.χ. κουμπί WT για να δει κανείς τις μετρήσεις της ανεμογεννήτριας, ή κουμπί BACK για να επιστρέψει στην αρχική οθόνη). Με τον ίδιο τρόπο γίνεται ανάθεση μεταβλητών σε κουτιά ενδείξεων προκειμένου να φαίνονται οι αναλογικές μετρήσεις ή η κατάσταση των ρελέ.

Αφού σχεδιαστεί ένα σχήμα (Insert κλπ) ο χρήστης πρέπει να κάνει διπλό κλικ στο σχήμα. Στο παράθυρο που θα εμφανιστεί, στην κατηγορία text μπαίνει το είδος της μεταβλητής που θα παρουσιάζεται στο σχήμα (π.χ. %1.4f για πραγματικούς

αριθμούς με 4 δεκαδικά). Στην κατηγορία variables ονομάζεται αυτή η μεταβλητή. Αυτά είναι αρκετά στην περίπτωση που απλά παρουσιάζονται ενδείξεις του συστήματος (π.χ μετρήσεις, κατάσταση ρελέ). Όσον αφορά τα κουμπιά (που ο χρήστης θα ενεργοποιεί με το χέρι στην οθόνη) στην κατηγορία text (Content) θα μπαίνει το όνομα του κουμπιού. Στην κατηγορία colors επιλέγεται το χρώμα όταν το κουμπί δεν είναι πατημένο αλλά και το χρώμα όταν ενεργοποιείται (Alarm Color). Στην κατηγορία Input επιλέγεται toggle variable και δηλώνεται η μεταβλητή που θα θέτει το κουμπί. Αφού σχεδιαστούν όλα τα απαραίτητα και αντιστοιχηθούν όλες οι μεταβλητές οι διάφορες κάθε οθόνη ομαδοποιείται ώστε να είναι ξεχωριστή ενιαία οντότητα. Οι ρυθμίσεις που έγιναν προηγουμένως για κάθε στοιχείο της οθόνης εξακολουθούν να ισχύουν, αλλά τώρα μπορούν να γίνουν νέες ρυθμίσεις για το σύνολο. Αφού λοιπόν σχεδιαστούν όλες οι οθόνες πρέπει ρυθμιστεί το visualization ώστε ο χρήστης να μπορεί να μετακινείται από οθόνη σε οθόνη. Αυτό γίνεται με έναν σχετικά ανορθόδοξο τρόπο. Όλες οι οθόνες τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη και τους ανατίθενται μεταβλητές (Boolean) που τις καθιστούν ορατές ή αόρατες. Κάνοντας διπλό κλικ στην ομαδοποιημένη οθόνη και πηγαίνοντας στην κατηγορία variables, ο χρήστης θα δει την επιλογή invisible. Εκεί συμπληρώνεται μια μεταβλητή (πχ MPInv-Main Panel Invisible) που όταν γίνει TRUE η οθόνη θα εξαφανίζεται. Κανένα άλλο πεδίο δε χρειάζεται να συμπληρωθεί σε αυτό το σημείο, αλλά πρέπει να γραφεί το κατάλληλο κομμάτι κώδικα που θα επιτρέπει στο χρήστη να κινείται εύκολα στην οθόνη του PLC.

Όλες οι λειτουργίες που αφορούν την οπτικοποίηση κωδικοποιούνται ως εξής:

Visuprog:

Μεταβλητές:

PROGRAM Visuprog

VAR

```

BIshow:BOOL:=FALSE;
WTshow:BOOL:=FALSE;
PVshow:BOOL:=FALSE;
LDshow:BOOL:=FALSE;
show:BOOL;
back:BOOL:=FALSE;
PVin:BOOL:=TRUE;
WTinv:BOOL:=TRUE;
BIinv:BOOL:=TRUE;
LDinv:BOOL:=TRUE;
MPinv:BOOL:=FALSE;

```

END_VAR

Κώδικας:

```

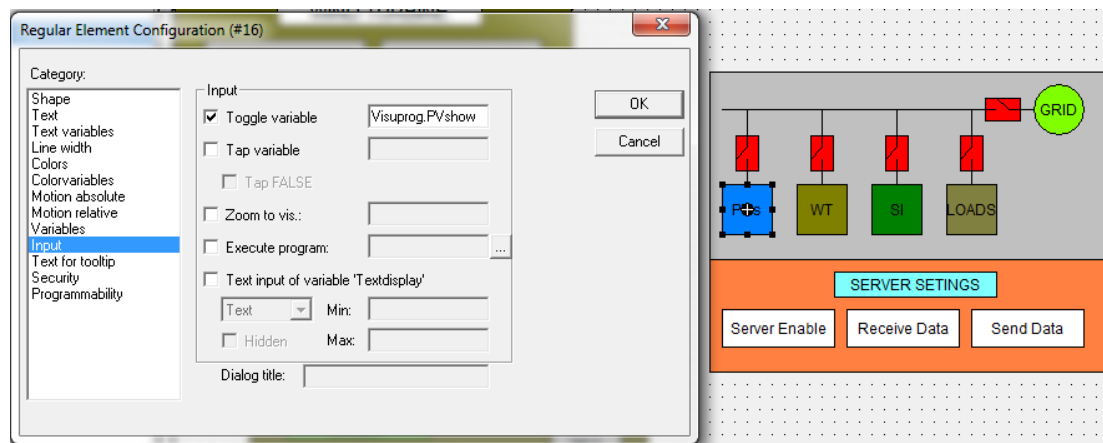
PVinv:=(WTshow OR BIshow OR LDshow) AND NOT (back) ;
WTinv:=(PVshow OR BIshow OR LDshow) AND NOT (back) ;
BIinv:=(WTshow OR PVshow OR LDshow) AND NOT (back) ;
LDinv:=(WTshow OR BIshow OR PVshow) AND NOT (back) ;
MPinv:=(BIshow OR PVshow OR WTshow OR LDshow) AND NOT(back);
IF back=TRUE THEN

```

```

PVshow:=FALSE;
WTshow:=FALSE;
BIshow:=FALSE;
LDshow:=FALSE;
back:=FALSE;
END_IF;

```



Σχήμα 3.8 Σχεδίαση του front panel του PLC

Στο παραπάνω σχήμα για παράδειγμα βλέπουμε τις ρυθμίσεις για το main panel, την αρχική δηλαδή οθόνη, η οποία σε αυτό το σημείο δεν είναι ομαδοποιημένη. Πιο συγκεκριμένα φαίνονται οι ρυθμίσεις για το κουμπί PV's, το οποίο όταν πατηθεί θα εμφανίσει την αντίστοιχη οθόνη των φωτοβολταϊκών. Ουσιαστικά βέβαια αυτό που θα κάνει θα είναι να εξαφανίσει όλες τις υπόλοιπες οθόνες ώστε να μείνει μόνο αυτό των φωτοβολταϊκών. Η μεταβλητή PVshow (ή αλλιώς Visuprog.PVshow όπως γίνεται η αναφορά όταν εργαζόμαστε με μεταβλητές σε περιοχές εκτός του thread ορισμού τους), τίθεται από το χρήστη όπως και οι υπόλοιπες. Ο κώδικας που παρουσιάζεται παραπάνω χρησιμοποιεί τις μεταβλητές xxShow και Back προκειμένου να δώσει τιμές στις μεταβλητές xxIn που εμφανίζουν ή εξαφανίζουν την ομοδοποιημένη οθόνη.

Οι πλήρεις δυνατότητες του λογισμικού CoDeSys δεν περιγράφονται εδώ. Πρόκειται για λογισμικό που χρησιμοποιείται ευρέως και οι εφαρμογές του είναι πολλές. Γι αυτό προτείνεται η περαιτέρω μελέτη του. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη εφαρμογή περιγράφεται επαρκώς και ακολουθώντας τις οδηγίες, παρατηρώντας ταυτόχρονα το πρόγραμμα, ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί τη φιλοσοφία με την οποία λειτουργεί και ακολούθως να το επεκτείνει. Παρόλα αυτά, και ανάλογα με την εφαρμογή μπορούν να υπάρξουν δυσκολίες που δεν περιγράφονται στο κείμενο.

Ένα σημείο για παράδειγμα που θέλει μελέτη είναι ο χρονισμός και η προτεραιότητα με την οποία λειτουργούν τα διάφορα threads του προγράμματος. Αυτά περιγράφονται στο Resources==>Task Configuration. Εκεί προστίθενται και ονομάζονται τα διάφορα tasks, επιλέγεται η προτεραιότητά τους και ο τύπος τους. Τα tasks αφορούν ουσιαστικά τα διάφορα threads που περιγράφηκαν παραπάνω, τα οποία εκτελούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους και όχι στην παραδοσιακή λογική προγραμματισμού που διάφορες λειτουργίες εκτελούνται σειριακά. Η προτεραιότητα (priority) αφορά την περίπτωση που δύο threads ζητήσουν ταυτόχρονα πρόσβαση στον ίδιο πόρο. Σε αυτήν την περίπτωση η προτεραιότητα δίνει τη λύση ώστε να μην σταματήσει η λειτουργία του προγράμματος. Επιπλέον επιλέγεται ο τύπος (type) των threads ως cyclic καθώς και η περίοδος εκτέλεσής τους. Όλα τα παραπάνω αποτελούν

σκοτεινό τοπίο που πρέπει να ερευνηθεί προκειμένου να επεκτείνει κανείς το πρόγραμμα για μεγαλύτερες εφαρμογές.

Τέλος, παρατηρώντας κανείς το τελικό πρόγραμμα σε CoDeSys θα δει ότι υπάρχουν και άλλα threads τα οποία υλοποιούν TCP/IP επικοινωνία μεταξύ του PLC και του κεντρικού υπολογιστή. Αυτή η υλοποίηση είχε δοθεί έτοιμη από την εταιρία Golden A/S και αφορούσε την παλιά CPU (CanLogix1) που προγραμματιζόταν με διαφορετικό τρόπο. Αν και έγινε προσπάθεια για υλοποίηση TCP/IP και στην παρούσα CPU, αυτό δεν κατέστη δυνατό και επελέγη τελικά επικοινωνία μέσω OPC server την οποία στήριζαν τόσο το CoDeSys όσο και το LabVIEW. Η επικοινωνία των δύο προγραμμάτων θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο, μετά την παρουσίαση του προγράμματος LabVIEW.

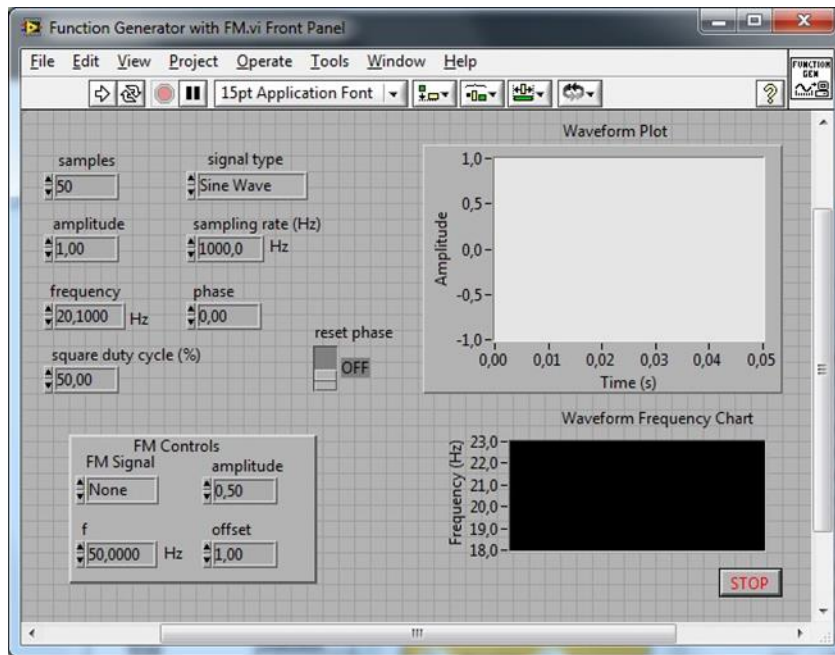
3.4 Το πρόγραμμα LabVIEW (National Instruments)

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί πρώτα το πρόγραμμα LabVIEW [26] και στη συνέχεια θα αναλυθεί ο τρόπος λειτουργίας και σχεδιασμού των προγραμμάτων που υλοποιήθηκαν για το σύστημα SCADA του εργαστηρίου. Θα παρουσιαστούν οι βασικές λειτουργίες και η δομή του συστήματος SCADA. Ωστόσο δε θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των συναρτήσεων (εκτός αν θεωρηθεί απαραίτητο) καθώς αυτό θα απαιτούσε χρονοβόρα και σχετικά ανούσια διαδικασία.

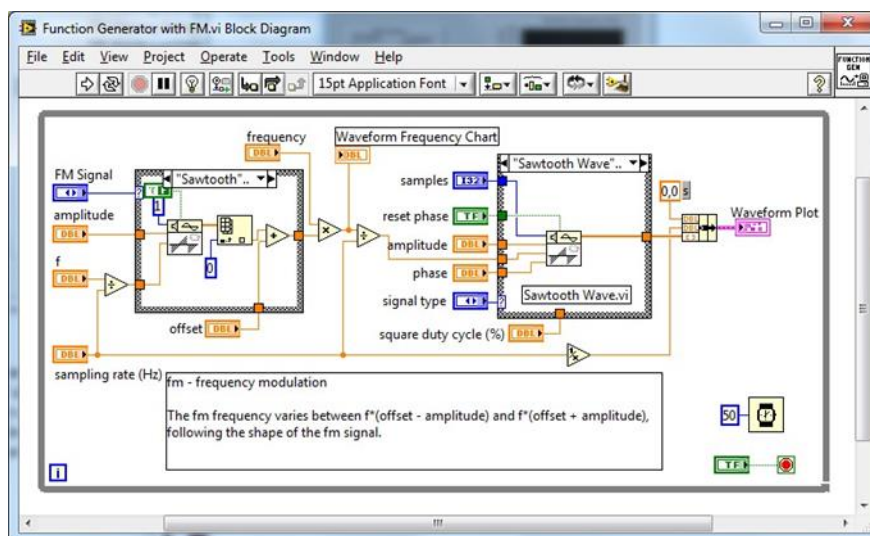
Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχουν περιγραφεί οι βασικές λειτουργίες που θα πρέπει να εκτελεί το SCADA. Οι λειτουργίες αυτές υλοποιούνται κυρίως στο LabVIEW μιας και το CoDeSys (που περιγράφηκε προηγουμένως) έχει κυρίως ενδιάμεσο χαρακτήρα.

Το LabVIEW προέρχεται από τα αρχικά Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Δηλαδή, εργαστήριο εικονικών οργάνων. Με λίγα λόγια το LabVIEW επιτρέπει σε ένα μηχανικό να φτιάχνει εικονικά κυκλώματα, που συμπεριφέρονται όπως τα πραγματικά, με τα τεράστια, όμως, πλεονεκτήματα ότι είναι εξαιρετικά εύκολες οι όποιες αλλαγές, οι ρυθμίσεις γίνονται εύκολα μέσα από ένα εύχρηστο περιβάλλον, και τέλος δεν απαιτείται ούτε χρήματα, αλλά ούτε και κόπος για να δημιουργηθούν.

Το LabVIEW είναι μια εφαρμογή ανάπτυξης η οποία μοιάζει με πολλές άλλες παρόμοιες εμπορικές εφαρμογές που βασίζονται σε γλώσσες προγραμματισμού εντολών, όπως πχ η C++, η Java, και άλλες, όμως έχει μια θεμελιώδη διαφορά που το καθιστά διαφορετικό. Ενώ οι εφαρμογές που στηρίζονται στις γλώσσες προγραμματισμού υποστηρίζουν περιβάλλοντα ανάπτυξης βασισμένα σε κείμενο γραμμών εντολών, το LabVIEW χρησιμοποιεί ένα γραφικό περιβάλλον. Μια γραφική γλώσσα προγραμματισμού που ονομάζεται “G”, και δημιουργεί προγράμματα σε μία μορφή διαγραμμάτων ροής (flowchart) τα οποία ονομάζονται διαγράμματα μπλοκ (block diagrams), εξαλείφοντας έτσι τα συντακτικά λάθη.



Σχήμα 3.9 Το front panel του προγράμματος LabVIEW



Σχήμα 3.10 Το Block Diagram του προγράμματος LabVIEW

Το LabVIEW χρησιμοποιεί ορολογία, εικονίδια, και ιδέες οικείες σε επιστήμονες και μηχανικούς. Βασίζεται σε γραφικά σύμβολα παρά σε γραμμές κώδικα για να περιγράψει προγραμματιστικές ενέργειες. Η κατανόηση του LabVIEW είναι εύκολη ακόμη και αν δεν υπάρχει κάποιο υπόβαθρο σε γλώσσες προγραμματισμού με εντολές κειμένου, όμως προηγούμενη εμπειρία σε αυτές καθιστά ακόμη ευκολότερη την κατανόηση και εξοικείωση με το LabVIEW.

Το LabVIEW απλοποιεί, στο μέτρο του δυνατού, την δημιουργία διάφορων διατάξεων. Περιέχει εκτεταμένο αριθμό βιβλιοθηκών, λειτουργιών και συναρτήσεων ώστε να βοηθήσει σε όλες τις προγραμματιστικές εργασίες ενός μηχανικού. Επίσης, περιέχει βιβλιοθήκες για συγκεκριμένες εφαρμογές όπως εξόρυξη δεδομένων, σειριακά όργανα ελέγχου και GPIB, ανάλυσης δεδομένων, παρουσίασης και αποθήκευσης δεδομένων. Υπάρχουν λειτουργίες δημιουργίας σημάτων, επεξεργασίας σημάτων, φίλτρων, παραθύρων, στατιστικών, γραμμικής άλγεβρας, πινάκων, και παρεμβολών.

Το LabVIEW περιλαμβάνει όλα τα συνηθισμένα εργαλεία ανάπτυξης με τα οποία μπορούμε να εισάγουμε σημεία διακοπών (break points), ροής ενός βήματος κάθε φορά (single-step through), και γραφικής απεικόνισης της ροής εκτέλεσης ενός προγράμματος ώστε να είναι εύκολη η παρακολούθηση της ροής και επεξεργασίας των δεδομένων.

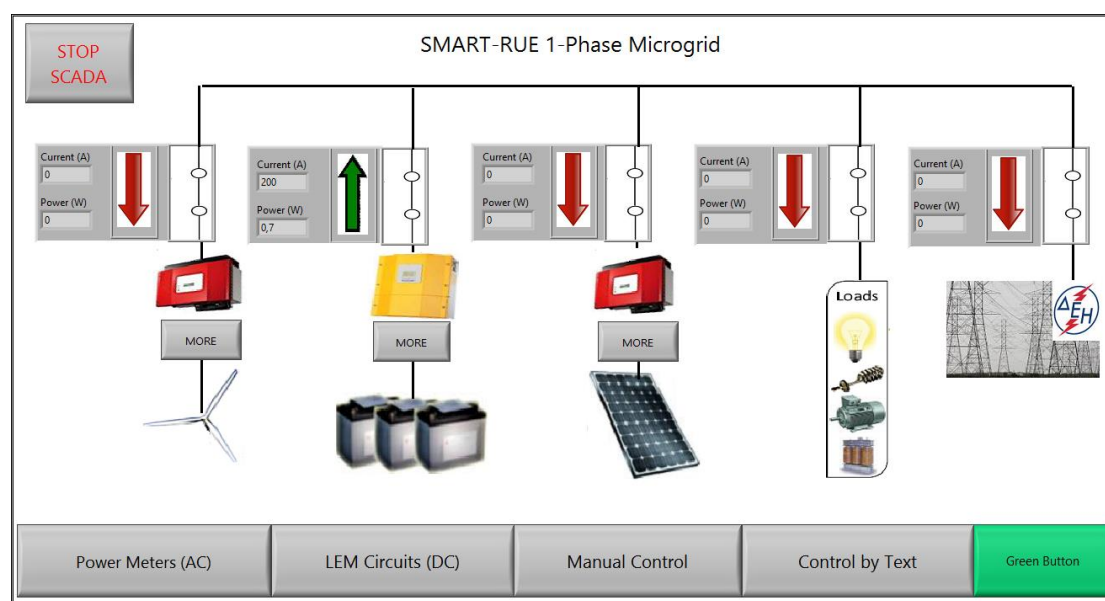
Λόγω της γραφικής φύσης του, το LabVIEW είναι κύρια ένα πακέτο παρουσίασης δεδομένων. Η έξοδος των δεδομένων μπορεί να πάρει οποιαδήποτε μορφή. Γραφήματα, πίνακες και οποιαδήποτε άλλης φύσης γραφική απεικόνιση που έχει δημιουργηθεί από τον χρήστη είναι μόνο μερικές από τις μορφές που μπορεί να πάρει η έξοδος.

Με τα εργαλεία εξόρυξης (data mining), ανάλυσης και παρουσίασης, το LabVIEW είναι λειτουργικά ολοκληρωμένο. Οποιοδήποτε υπολογιστικό πρόβλημα είναι πραγματοποιήσιμο σε μια συμβατική γλώσσα προγραμματισμού, είναι γενικά ευκολότερο να υλοποιηθεί με την προσέγγιση των εικονικών οργάνων του LabVIEW.

Παρακάτω θα αναλυθούν τα προγράμματα που σχεδιάστηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής.

3.4.1 Βασικό πρόγραμμα διεπαφής χρήστη UI για τον έλεγχο των λειτουργιών του μικροδικτύου

Το πρώτο πρόγραμμα που παρουσιάζεται, ονομάζεται SCADA LAYOUT και είναι το βασικό πρόγραμμα διεπαφής χρήστη του SCADA μέσω του οποίου γίνεται ο έλεγχος όλων των λειτουργιών του μικροδικτύου.



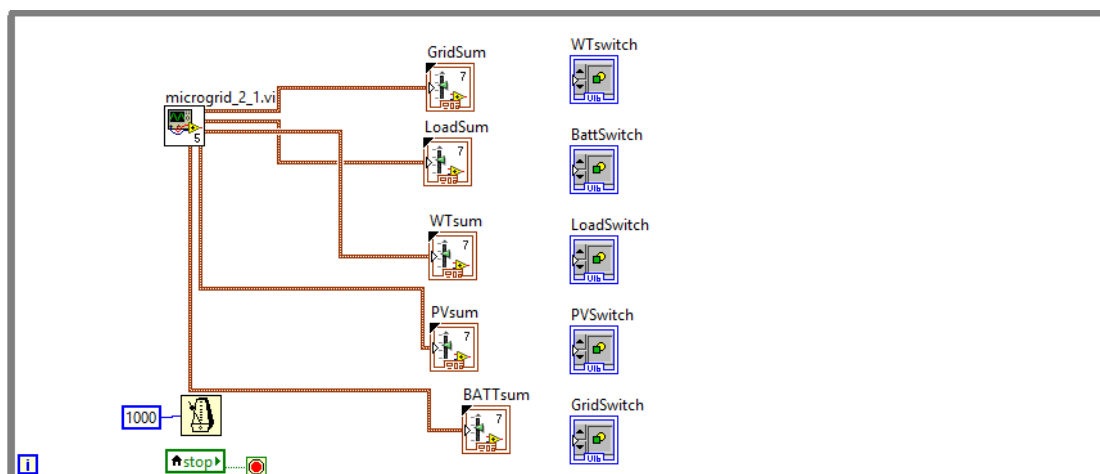
Σχήμα 3.11 Το front panel του βασικού προγράμματος διεπαφής χρήστη (SCADA LAYOUT)

Όπως φαίνεται παραπάνω μπορούμε να ελέγξουμε τις 4 βασικές λειτουργίες του SCADA, δηλαδή μέτρηση και παρουσίαση AC/DC μετρήσεων και έλεγχος φορτίων χειροκίνητα ή από αρχείο κειμένου, μέσω των κουμπιών Power Meter (AC), LEM Circuit (DC), Manual Control, Control by Text αντίστοιχα. Επίσης κάτω από κάθε inverter υπάρχει ένα κουμπί MORE μέσω του οποίου μπορούμε να δούμε

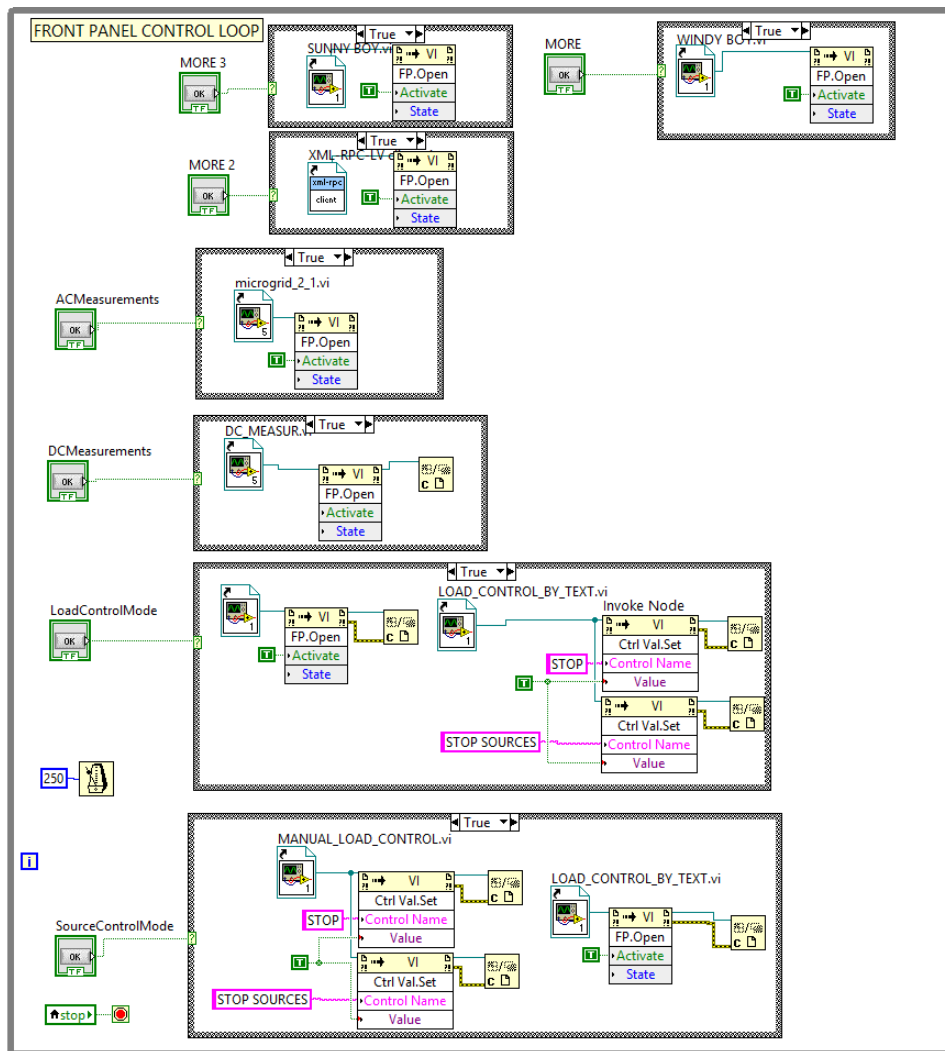
περισσότερες πληροφορίες για την λειτουργία και την κατάσταση των inverter, καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις να ελέγξουμε μερικώς την λειτουργία τους μέσω κατάλληλων εντολών. Ακόμα, υπάρχει το κουμπί STOP SCADA με το οποίο τερματίζουμε τη λειτουργία του προγράμματος. Τέλος, υπάρχει το κουμπί Green Button, του οποίου όμως η λειτουργία δεν έχει υλοποιηθεί. Σκοπός της υλοποίησής του είναι η παρουσίαση χρήσιμων δεδομένων και γραφημάτων που σχετίζονται με τη συνεισφορά των ΑΠΕ στο ισοζύγιο ενέργειας του μικροδικτύου και τα πλεονεκτήματα που έχει η συνεισφορά τους (π.χ. μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, οικονομικότερη λειτουργία λόγω του ελέγχου πηγών και φορτίων και προγραμματισμένης χρήσης τους), τη δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών και την παρουσίαση συνολικής εξαγόμενης ενέργειας και των ωρών λειτουργίας κάθε πηγής για την αξιολόγηση της συνεισφοράς κάθε πηγής στο μικροδίκτυο.

Επιπρόσθετα, στο βασικό πρόγραμμα διεπαφής χρήστη (SCADA LAYOUT) παρουσιάζονται κάποιες βασικές μετρήσεις (ρεύματος, ισχύος και ένδειξη κατανάλωσης ή παραγωγής ενέργειας) των στοιχείων του μικροδικτύου και του δικτύου καθώς και ο τρόπος σύνδεσής τους.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος αυτού αλλά και ο ρόλος του θα εξηγηθεί και από την πλευρά του Block Diagram.



Σχήμα 3.12 Τμήμα του Block Diagram του βασικού προγράμματος διεπαφής χρήστη (SCADA LAYOUT) όπου φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται οι μετρήσεις από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων



Σχήμα 3.13 Τμήμα του Block Diagram του βασικού προγράμματος διεπαφής χρήστη (SCADA LAYOUT) όπου φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο καλούνται τα υπόλοιπα προγράμματα

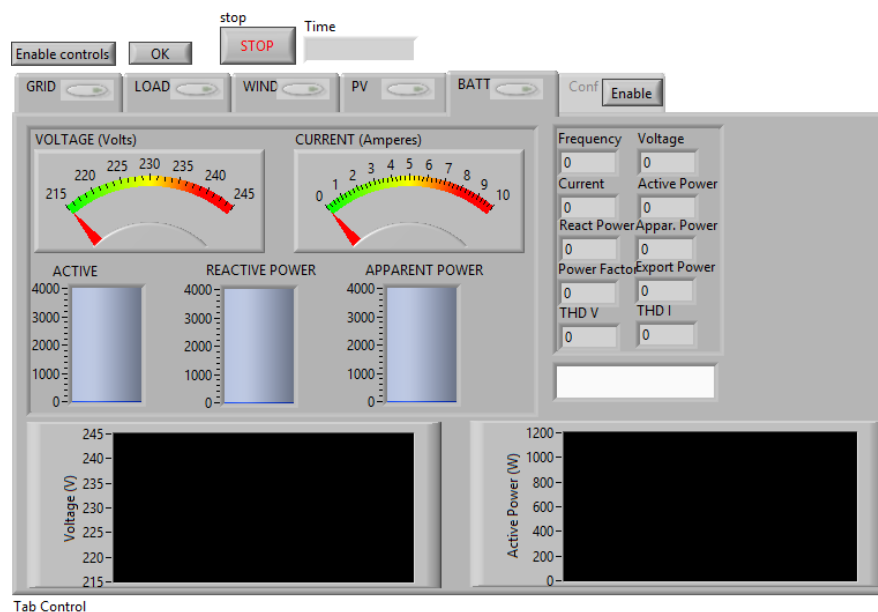
Όπως φαίνεται παραπάνω, δύο while loop αποτελούν το κορμό του προγράμματος αυτού. Το πρώτο while loop παίρνει μετρήσεις από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων (ACMeasurements), που θα αναλυθεί αργότερα, και τις παρουσιάζει στο front panel του προγράμματος. Στο δεύτερο while loop υπάρχουν οι συναρτήσεις Open VI μέσα σε ένα Case Structure έτσι ώστε πατώντας ένα κουμπί να ανοιγεί το αντίστοιχο πρόγραμμα χωρίς όμως να υλοποιείται. Είναι ενδιαφέρουσα η λειτουργία των κουμπιών Manual Control και Control by Text, καθώς θα έπρεπε η λειτουργία του ενός να σταματά την λειτουργία του άλλου αφού και τα δύο προγράμματα ελέγχουν φορτία και πηγές. Εδώ έχει χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση Set Value μέσω της οποίας όταν πατηθεί ένα κουμπί για ένα από τα δύο προγράμματα ταυτόχρονα ενεργοποιείται το STOP του άλλου. Το STOP SCADA σταματά την λειτουργία των while loop.

Είναι ξεκάθαρο ότι ρόλος του προγράμματος είναι κατα κύριο λόγο επιτελικός, είναι στην ουσία ένα πρόγραμμα «κλήσης προγραμμάτων». Αυτό είναι σημαντικό γιατί ο χρήστης του μπορεί να το λειτουργήσει απλά, χωρίς να έχει ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού, και παράλληλα μπορεί να καταλάβει αμέσως την διάρθρωση του SCADA συνολικά με αποτέλεσμα να βρίσκει εύκολα τις

δυνατότητες που υπάρχουν και τα πρόγραμμα που πρέπει να επιλέξει για να τις υλοποιήσει. Παρακάτω θα αναλυθούν τα υπόλοιπα προγράμματα ξεχωριστά.

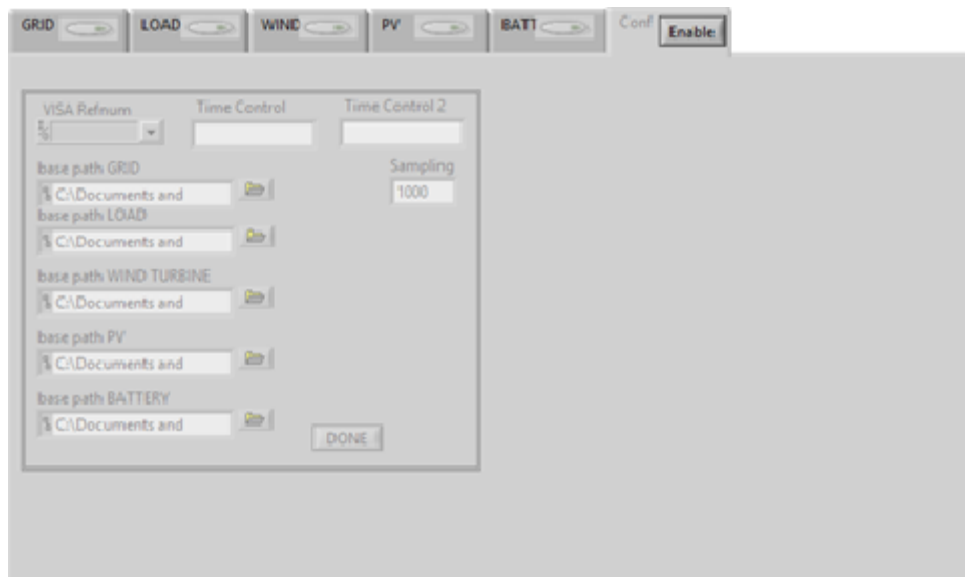
3.4.2 Πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των μετρήσεων στην AC πλευρά του μικροδικτύου

Το πρώτο πρόγραμμα που υλοποιήθηκε αφορά την καταγραφή και την παρουσίαση των μετρήσεων στην AC πλευρά του μικροδικτύου (ACMeasurements).



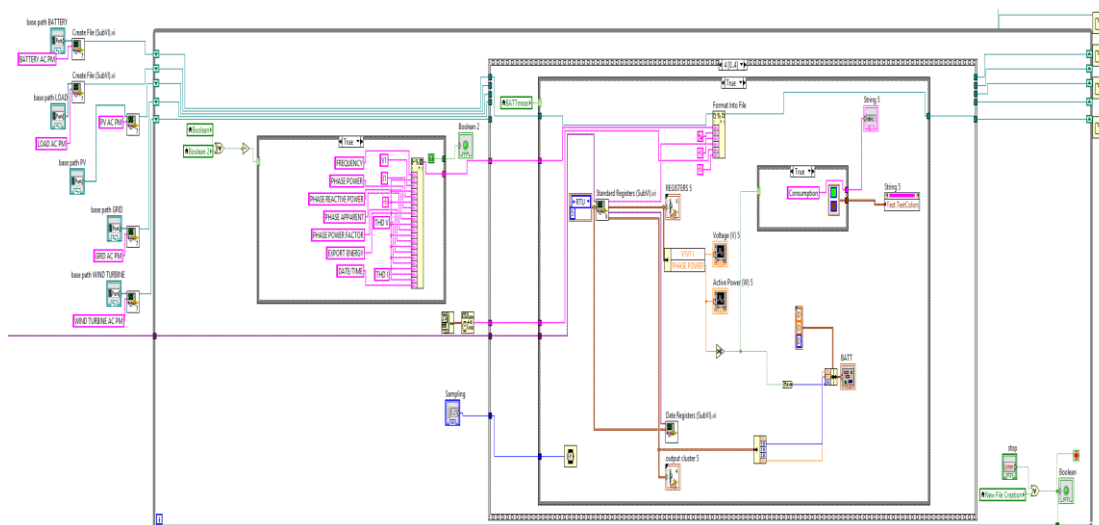
Σχήμα 3.14 Το front panel του προγράμματος καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων (ACMeasurements)

Όπως φαίνεται παραπάνω μπορούμε να έχουμε μετρήσεις για όλα τα πολυόργανα του μικροδικτύου σε διαφορετικές καρτέλες (δίκτυο, φορτία, ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκά, μπαταρίες) πολύ παραστατικά. Οι μετρήσεις που αφορούν τα πολυόργανα είναι οι εξής: Συχνότητα, τάση, ρεύμα, ισχύς (ενεργός, άεργος, φαινόμενη), συντελεστής ισχύος, εξαγόμενη ενέργεια και αρμονική παραμόρφωση τάσης και ρεύματος. Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται επιλέχθηκαν με τρόπο τέτοιο, ώστε να περιγράφουν συνοπτικά και με όσο μεγαλύτερη πληρότητα είναι δυνατόν τη κατάσταση των στοιχείων του μικροδικτύου. Τα πολυόργανα προσφέρουν τη δυνατότητα παρουσίασης περισσότερων πληροφοριών (π.χ. συνολικές ώρες λειτουργίας, συνολική παραγωγή ενέργειας και άλλα) όπου για τους παραπάνω λόγους δεν παρουσιάζονται. Τέλος, σε κάθε πολυόργανο υπάρχει κουμπί ελέγχου της λειτουργίας του το οποίο όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφού πρώτα ο χρήστης εισάγει τον κατάλληλο κωδικό.



Σχήμα 3.14 Το front panel του προγράμματος καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων (ACMeasurements), καρτέλα Enable

Υπάρχει επίσης η καρτέλα Enable, η οποία περιέχει ελέγχους για τη δειγματοληψία, το μονοπάτι για την καταγραφή των μετρήσεων σε αρχεία, το χρόνο κατά τον οποίο θέλουμε να δημιουργηθούν τα αρχεία αυτά καθώς και τον έλεγχο της θύρας που συνδέεται ο υπολογιστής με το PLC. Οι έλεγχοι της καρτέλας Enable είναι προκαθορισμένοι γι' αυτό και για την αλλαγή τους απαιτείται εισαγωγή κωδικού.



Σχήμα 3.15 Το Block Diagram του προγράμματος καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων (ACMeasurements)

Παραπάνω φαίνεται το Block Diagram του προγράμματος καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων (ACMeasurements). Καρδιά του προγράμματος αυτού είναι το υποπρόγραμμα λήψης των AC μετρήσεων (Standard Registers) μέσω του οποίου λαμβάνονται οι μετρήσεις από τα πολύόργανα. Για την υλοποίησή του έχουν χρησιμοποιηθεί συναρτήσεις που επικοινωνούν με τα πολύόργανα χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus.

Ένα ακόμα υποπρόγραμμα που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το File Creation και αφορά την δημιουργία των αρχείων κειμένου για την καταγραφή των μετρήσεων. Τα υποπρογράμματα έχουν υλοποιηθεί με τρόπο απλό και περιεκτικό για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοπιστία και φυσικά, λιγότερες καθυστερήσεις που να μην επιβαρύνουν την επικοινωνία του LabVIEW με τα πολύоргана.

Όσον αφορά την λειτουργία του προγράμματος πρώτα υλοποιείται η δημιουργία και το άνοιγμα των αρχείων κειμένου, και ύστερα, μέσα σε ένα while loop λαμβάνονται οι μετρήσεις από τα πολύоргана ακολουθιακά με τη χρήση μίας Stacked Sequence. Το while loop σταματά όταν πατηθεί το STOP του προγράμματος είτε όταν αναγνωρισθεί η στιγμή δημιουργίας νέου αρχείου (π.χ. δημιουργία αρχείων κάθε 12 ώρες). Μπορούμε να ρυθίσουμε την δειγματοληψία του προγράμματος μέχρι κάποιο όριο, περίπου της τάξης των 200 ms. Μικρότερες τιμές δειγματοληψίας δεν είναι πρακτικά επιτρετές λόγω των επικοινωνιακών καθυστερήσεων των πολυοργάνων με το LabVIEW. Προτού προχωρήσουμε στην ανάλυση του επόμενου προγράμματος θα περιγραφεί συνοπτικά το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus.

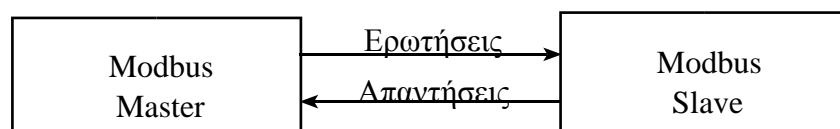
3.4.2.1 Πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus

Το πρωτόκολλο Modbus είναι ένα ευρέως διαδεδομένο πρωτόκολλο για την αποστολή και λήψη δεδομένων κυρίως σε εφαρμογές αυτοματισμού. Το πρωτόκολλο αυτό ανήκει στο επίπεδο εφαρμογής του μοντέλου αναφοράς OSI και αναπτύχθηκε αρχικά από την Εταιρεία Modicon ως σειριακό πρωτόκολλο για την επικοινωνία με PLC. Πολύ σύντομα καθιερώθηκε ως βιομηχανικό πρότυπο για τις επικοινωνίες με ηλεκτρονικές συσκευές λόγω των παρακάτω πλεονεκτημάτων του:

- Είναι απλό στην χρήση του και σχετικά εύκολο στην υλοποίησή του
- Είναι ανοιχτό πρωτόκολλο και η χρήση του είναι ελεύθερη
- Αναπτύχθηκε ειδικά για βιομηχανικές εφαρμογές

Το πρωτόκολλο Modbus χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα SCADA για την διασύνδεση των Η/Υ με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs), ψηφιακά συστήματα ελέγχου (DCS) και διάφορες άλλες ηλεκτρονικές συσκευές μετρήσεων και ελέγχου.

Το πρωτόκολλο Modbus ορίζει δύο τύπους συσκευών οι οποίες επικοινωνούν: τον Modbus Master και τον Modbus Slave. Ο Modbus Master είναι η συσκευή η οποία στέλνει μηνύματα στον Modbus Slave και ο Modbus Slave απαντά στα μηνύματα τα οποία δέχεται. Ο Modbus Master είναι συνήθως η συσκευή η οποία συλλέγει τα δεδομένα από πολλούς περιφερειακούς σταθμούς μετρήσεων και αυτοματισμού. Ένας Modbus Master μπορεί να επικοινωνεί μέχρι και με 240 Modbus Slaves οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο και έχει ο καθένας την δικιά του μοναδική διεύθυνση επικοινωνίας ή αναγνωριστικό αριθμό σταθμού.



Υπάρχουν τριών ειδών τύποι μηνυμάτων τα οποία ανταλλάσσονται σε επικοινωνίες με την χρήση του πρωτοκόλλου Modbus:

Τύπος	Αποστολέας	Περιγραφή
Ερώτημα	Modbus Master	Ερώτημα προς τον Modbus Slave
Απάντηση	Modbus Slave	Απάντηση προς τον Modbus Master
Μήνυμα Λάθους	Modbus Slave	Μήνυμα λάθους του Modbus Slave

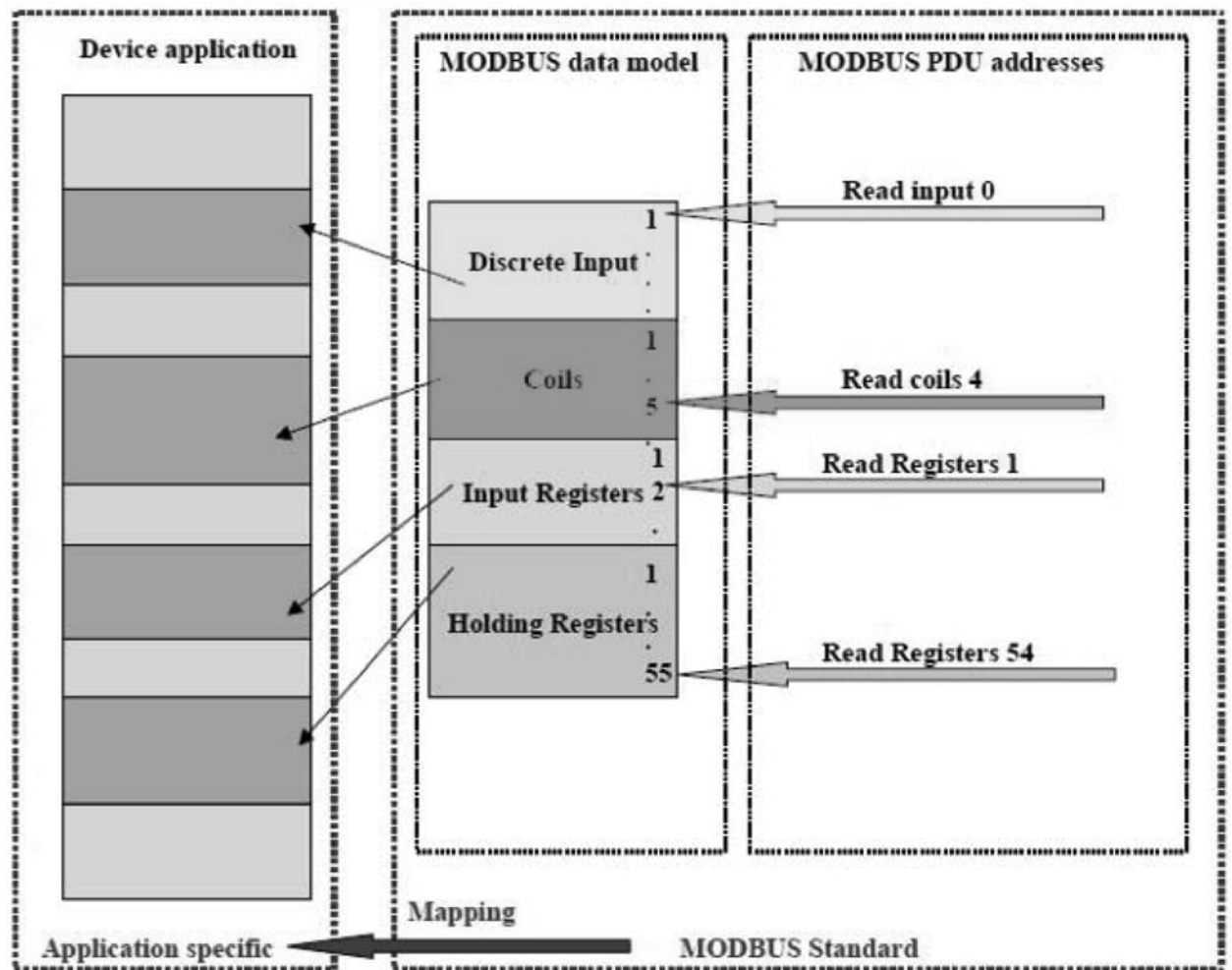
Πίνακας 3.1 Οι τύποι μηνυμάτων που ανταλλάσσονται σε επικοινωνίες με την χρήση του πρωτοκόλλου Modbus

Το πρωτόκολλο Modbus ορίζει τους παρακάτω τύπους δεδομένων :

Ονομασία	Τύπος δεδομένων	Πρόσβαση
Coil	bit	Εγγραφή και ανάγνωση
Input Discrete	bit	Μόνο για ανάγνωση
Holding Register	word (16 bit)	Εγγραφή και ανάγνωση
Input Register	word (16 bit)	Μόνο για ανάγνωση

Πίνακας 3.2 Οι τύποι δεδομένων του πρωτοκόλλου Modbus

Οι τύποι δεδομένων Input Coil και Input Register είναι μόνοι για ανάγνωση ενώ οι τύποι Coil και Holding Register μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για ανάγνωση όσο και για εγγραφή τιμών στον Modbus Slave.



Σχήμα 3.16 Τύποι δεδομένων του πρωτόκολου Modbus

Το κάθε ερώτημα το οποίο αποστέλλεται από τον Modbus Master στον Modbus Slave περιέχει ένα κωδικό αριθμό λειτουργίας ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει την λειτουργία η οποία απαιτείται να γίνει ή το είδος του περιεχομένου του μηνύματος.

Οι λειτουργίες και οι αντίστοιχοι κωδικοί των λειτουργιών δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος	Τύπος Δεδομένων	Όνομα Λειτουργίας	Κωδικός
Πρόσβαση Δεδομένων	Bit	Read Discrete Inputs	2
		Read Coils	1
		Write Single Coil	5
		Write Multiple Coils	15
	16-bit	Read Input Register	4
		Read Holding Registers	3

		Write Single Register	6
		Write Multiple Registers	16
		Read/Write Multiple Registers	23
		Mask Write Register	22
		Read FIFO Queue	24
	File Record Access	Read File Record	20
		Write File Record	21
Διαγνωστικά Μηνύματα		Read Exception Status	7
		Diagnostic	8
		Get Com Event Counter	11
		Get Com Event Log	12
		Report Slave ID	17
		Read Device Identification	43
Άλλο		Encapsulated Interface Transport	43

Πίνακας 3.3 Οι κωδικοί λειτουργιών του πρωτοκόλλου Modbus

Το πρωτόκολλο Modbus μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σειριακά δίκτυα όπως RS-232 και RS-422/RS-485 και δίκτυα TCP/IP .

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του πρωτοκόλλου Modbus για την μετάδοση σε διαφορετικά είδη δικτύων, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι παρακάτω: • Modbus RTU για σειριακή επικοινωνία

- Modbus ASCII για σειριακή επικοινωνία
- Modbus TCP για επικοινωνία με το πρωτόκολλο TCP.

Αναλόγως του τύπου πρωτοκόλλου ορίζονται και διαφορετικές δομές πακέτων για την αποστολή και μετάδοση μηνυμάτων.

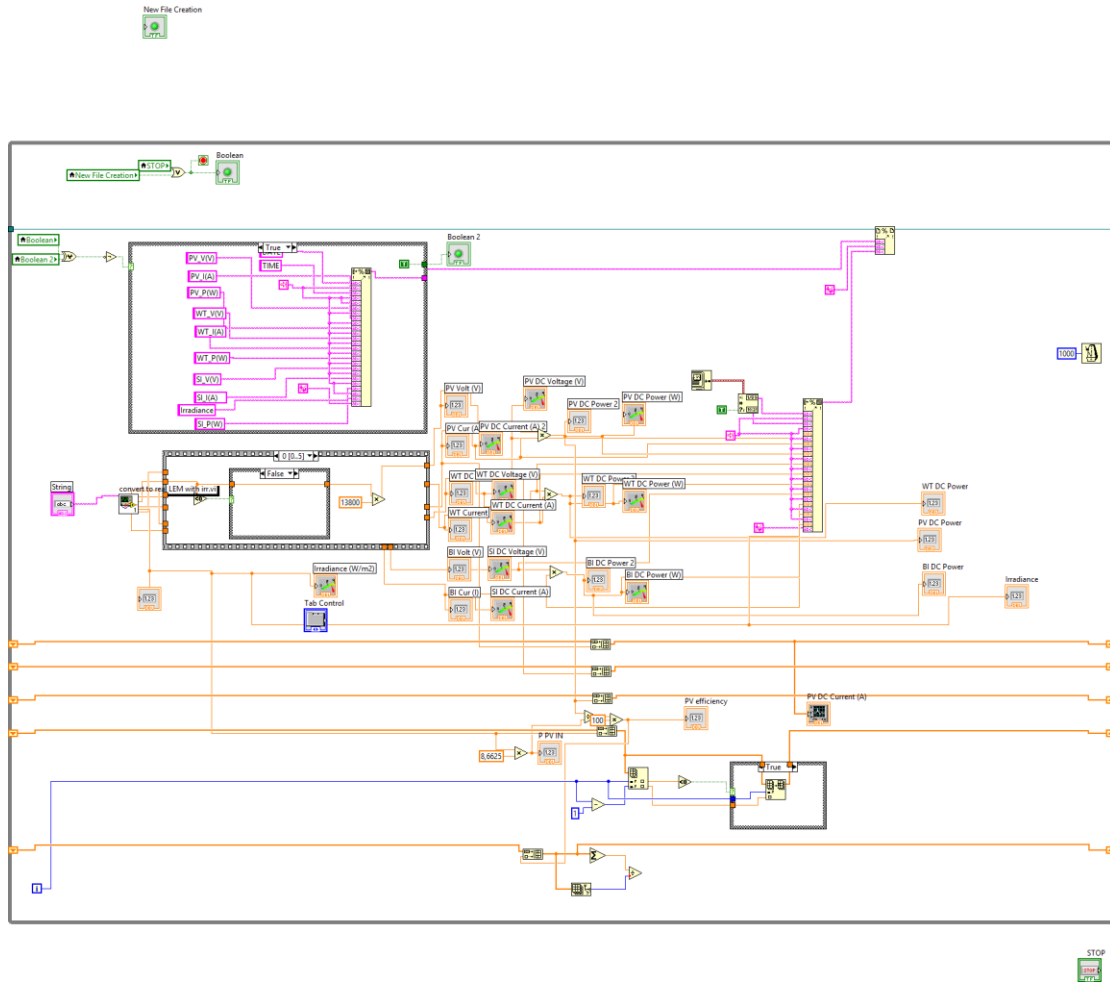
3.4.3 Πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των μετρήσεων στην DC πλευρά του μικροδικτύου

Προηγουμένως αναλύθηκε το πρόγραμμα που υλοποιήθηκε για τη λήψη και καταγραφή των AC μετρήσεων. Παρακάτω αναλύεται το πρόγραμμα που αφορά την λήψη,παρουσίαση και καταγραφή σε αρχεία των μετρήσεων από την DC πλευρά του μικροδικτύου.



Σχήμα 3.17 Το front panel του προγράμματος καταγραφής και παρουσίασης των DC μετρήσεων (DC_MEASUREMENTS)

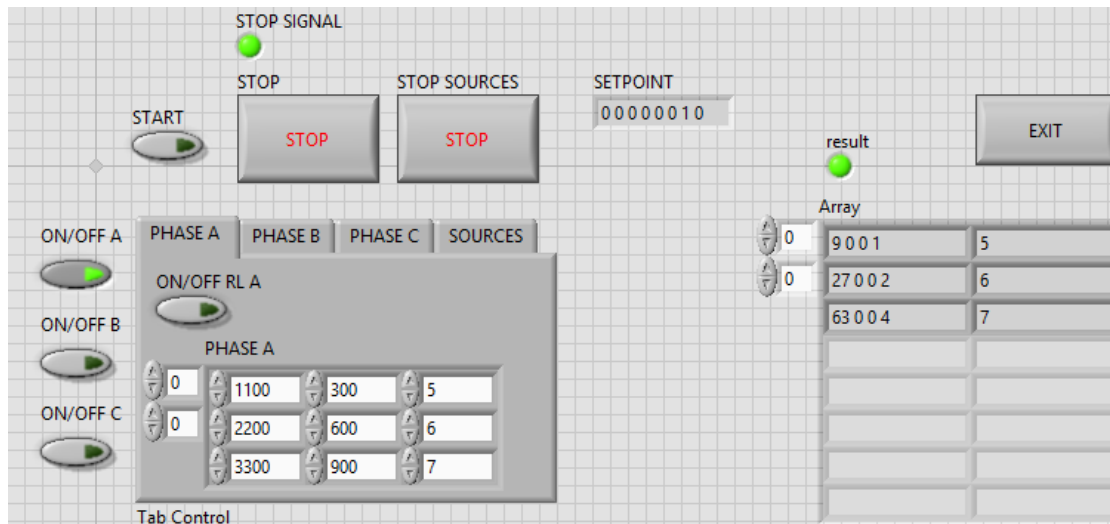
Οι μετρήσεις, όπως φαίνεται παραπάνω, παρουσιάζονται σε διαφορετικές καρτέλες, υπάρχει ρύθμιση της δειγματοληψίας καθώς και της δημιουργίας αρχείων. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι παρεμφερής με το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων (ACMeasurements). Πρώτα, με τη χρήση του υποπρογράμματος δημιουργίας αρχείων (File Creation) δημιουργούνται και ανοίγουν τα αρχεία που θα χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των μετρήσεων, στη συνέχεια, μέσα σε ένα while loop λαμβάνονται οι μετρήσεις από τα πολύоргана, με τη μορφή string όμως αυτή τη φορά, και αφού διαχωριστούν κατάλληλα παρουσιάζονται τελικά στο front panel. Σε σχέση με το πρόγραμμα καταγραφής των AC μετρήσεων (ACMeasurements) το πλήθος των μετρήσεων είναι πολύ μικρότερο αφού για τις dc μετρήσεις λαμβάνουμε μόνο τάση, ρεύμα και ισχύ. Για το Φ/Β λαμβάνουμε μέτρηση και για την ηλιακή ακτινοβολία και υπολογίζουμε τον συντελεστή απόδοσης. Παρακάτω παρατίθεται και το Block Diagram του προγράμματος.



Σχήμα 3.18 Το Block Diagram του προγράμματος καταγραφής και παρουσίασης των DC μετρήσεων (DC_MEASUREMENTS)

3.4.4 Πρόγραμμα ελέγχου πηγών και φορτίων

Ένα από τα πιο απαιτητικά προγράμματα του SCADA είναι το πρόγραμμα ελέγχου πηγών και φορτίων (MANUAL_LOAD_CONTROL) που αφορά το προγραμματισμό της καμπύλης φορτίου. Σημαντική επιδίωξη κατά την υλοποίησή του ήταν να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα πρώτα απ'όλα εύχρηστο και φιλικό για το χρήστη και παράλληλα να προγραμματιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αξιόπιστο και με όσο το δυνατόν λιγότερες καθυστερήσεις κατά την λειτουργία του. Επίσης το πρόγραμμα έχει υλοποιηθεί έτσι ώστε να μπορεί να επεκταθεί εύκολα και με άλλες λειτουργίες και επίσης η διάθρωση του είναι σαφής και μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητή ώστε να επιτρέπει διορθώσεις, βελτιστοποιήσεις ή επεκτάσεις.



Σχήμα 3.19 Το front panel του προγράμματος ελέγχου πηγών και φορτίων (MANUAL LOAD CONTROL)

Όπως φαίνεται παραπάνω γενική ιδέα του προγράμματος είναι ο προγραμματισμός από το χρήστη ενός πίνακα τριών στηλών που αποτελεί την καμπύλη φορτίου και τους αντίστοιχους χρονισμούς. Η πρώτη στήλη είναι η ενεργός ισχύς, η δεύτερη η άεργος ισχύς και η τρίτη οι χρονισμοί σε δευτερόλεπτα. Επίσης υπάρχει κουμπί για τον έλεγχο του RL φορτίου. Ακόμα υπάρχει έλεγχος για την κάθε φάση με το κουμπί ON/OFF PHASE A το οποίο όμως πρέπει να έχει προγραμματιστεί προτού υλοποιηθεί το πρόγραμμα. Μαζί με την καμπύλη φορτίου μπορούν να προγραμματιστούν ανεξάρτητα οι πηγές του μικροδικτύου στην καρτέλα SOURCES. Αφού συμπληρωθεί ο πίνακας υλοποιείται η μετατροπή του πίνακα της ισχύος σε πίνακα που να μπορεί να διαβαστεί από το PLC όπως φαίνεται στον πίνακα ARRAY. Μέχρι να πατηθεί το κουμπί START το πρόγραμμα δεν στέλνει καμία τιμή στο PLC. Το SETPOINT μας δείχνει την τρέχουσα επιθυμητή τιμή και την επιλογή των πηγών. Αργότερα θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο γίνονται οι παραπάνω μετατροπές. Οι χρονισμοί του πίνακα δείχνουν πόση διάρκεια θέλουμε να έχει το εκάστοτε φορτίο. Με το κουμπί EXIT ελαχιστοποιούμε το παράθυρο του προγράμματος ελέγχου πηγών και φορτίων (MANUAL_LOAD_CONTROL), χωρίς όμως να σταματά η λειτουργία του, έτσι ώστε να μπορούμε αν θέλουμε να παρακολουθήσουμε άλλο πρόγραμμα του SCADA (π.χ. AC/DC μετρήσεις ή λειτουργία των αντιστροφών).

Ο τύπος κάθε φορτίου, η ισχύς του αλλά και η θέση του φαίνεται παρακάτω.

LOAD ARRAY

0	300	300	300	1000	1000	1000	1000	1000
0	L	L	L	R	R	R	R	R
	300	300	300	1000	1000	1000	1000	1000
	L	L	L	R	R	R	R	R
	300	300	300	1000	1000	1000	1000	1000
	L	L	L	R	R	R	R	R
	100	200	300	500	300	0	0	0
	R	R	R	R	L	RL		

Σχήμα 3.20 Πίνακας αντιστάσεων

Ο πίνακας είναι σχεδιασμένος ώστε κάθε του κελί να ταιριάζει με το αντίστοιχο ρελέ της επόμενης φωτογραφίας. Επιπλέον, κάθε σειρά ρελέ αντιστοιχεί σε διαφορετική ψηφιακή κάρτα. Τα ρελέ είναι αριθμημένα και οι αντιστοιχίες έχουν ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ με ρελέ για κάθε κάρτα

		DIO Can Cards (ΣΚ)			
		12	13	14	15
Είσοδοι	1	1 (L1)	9 (L4)	17 (L7)	25 (G1)
	3	2 (L2)	10 (L5)	18 (L8)	26 (G2)
	5	3 (L3)	11 (L6)	19 (L9)	27 (G3)
	7	4 (R1)	12 (R6)	20 (R11)	28 (G4)
	9	5 (R2)	13 (R7)	21 (R12)	29 (Motor)
	11	6 (R3)	14 (R8)	22 (R13)	30 (L10)
	13	7 (R4)	15 (R9)	23 (R14)	31 (Void)
	15	8 (R5)	16 (R10)	24 (R15)	32 (Void)

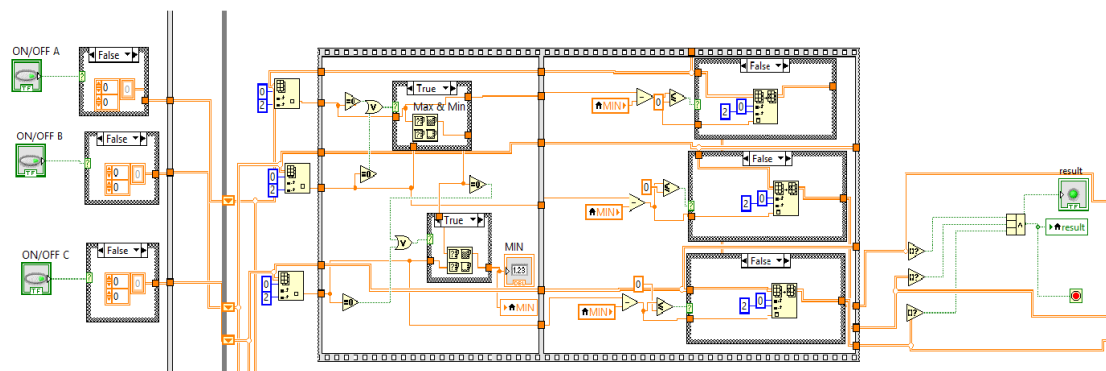
Πίνακας 3.4 Πίνακας με ρελέ για κάθε κάρτα



Εικόνα 3.1 Πίνακας με ρελέ του εργαστηρίου

Έτσι, αν κανείς αντικαταστήσει π.χ. έναν λαμπτήρα 500 W με ένα αερόθερμο 2kW θα πρέπει να κάνει την αλλαγή αυτή και στον αντίστοιχο πίνακα.

Τώρα θα αναλυθεί βήμα βήμα ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος από την πλευρά του Block Diagram.



Σχήμα 3.21 Το Block Diagram του προγράμματος ελέγχου πηγών και φορτίων (MANUAL LOAD CONTROL)

Το πρώτο μέρος του προγράμματος όπως φαίνεται παραπάνω αφορά την μετατροπή του πίνακα με τους χρονισμούς των τριών φάσεων σε ένα ενιαίο πίνακα ενός χρονισμού για όλες τις φάσεις. Αυτό είναι σημαντικό διότι απλοποιεί πολύ την λειτουργία του προγράμματος αφού για τους χρονισμούς θα χρησιμοποιηθεί μόνο ένα υποπρόγραμμα για όλες τις φάσεις και όχι τρία. Έτσι μειώνουμε τις καθυστερήσεις και τυχόν δυσλειτουργίες του προγράμματος. Για να γίνει πιο κατανοητό πως λειτουργεί ας δούμε το παρακάτω παράδειγμα.

Έστω ότι έχουμε τις τρεις στήλες για τους χρονισμούς της κάθε φάσης

Φαση A (sec)	Φαση B (sec)	Φαση C (sec)
10	10	10

20	15	17
30	25	20

Αυτές θα μετατραπούν με σε ένα πίνακα μίας στήλης με τις διαφορές των παραπάνω χρονισμών.

10
15
2
3
15
2
13

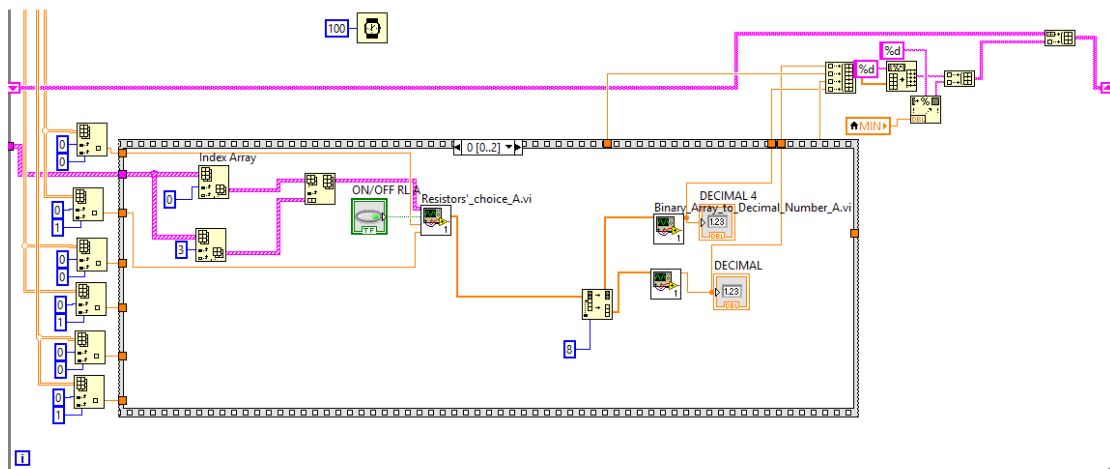
Αυτό υλοποιείται με τον παρακάτω αλγόριθμο

```

While(A,B,C≠!0)
  min(A,B);
  min(min(A,B),C);
  A=A-min;
  B=B-min;
  C=C-min;

```

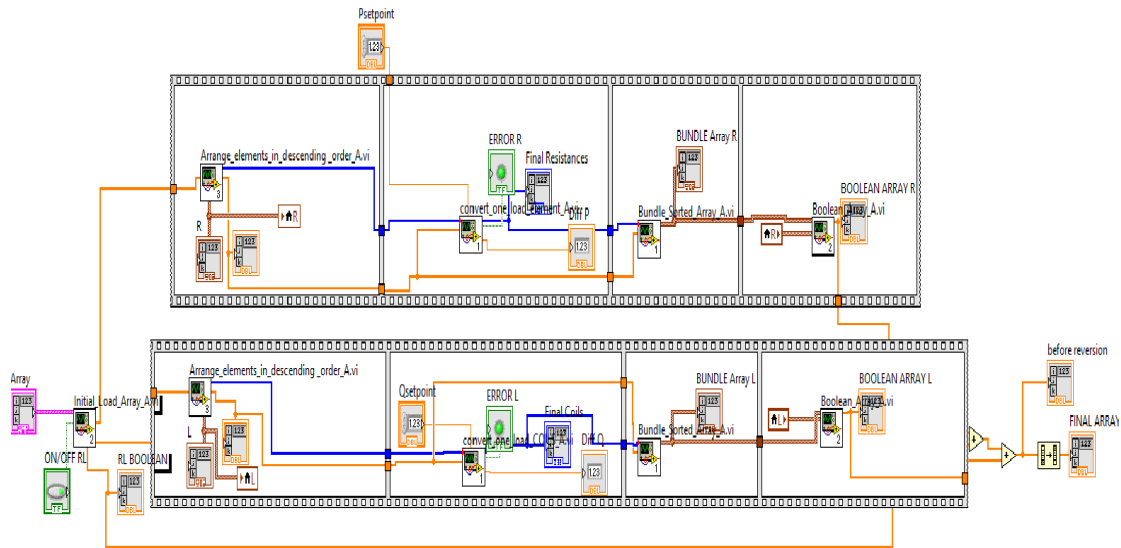
Όταν το πρόγραμμα συναντήσει μηδενική τιμή για κάποιο χρονισμό τότε προχωρά στην επόμενη γραμμή του πίνακα και τερματίζεται το while loop όταν όλοι οι πίνακες δώσουν μηδενική τιμή.



Σχήμα 3.22 Το Block Diagram του προγράμματος ελέγχου πηγών και φορτίων (MANUAL LOAD CONTROL)

Το δεύτερο μέρος του προγράμματος που φαίνεται παραπάνω αφορά την μετατροπή της ισχύος σε πίνακα αντιστάσεων. Πρώτα όμως θα εξηγηθεί συνοπτικά ο τρόπος με τον οποίο το PLC διαβάζει τα SETPOINT. Το PLC διαβάζει μία τιμή που απεικονίζεται σε δεκαδικό αριθμό, π.χ. το 11, και στη συνέχεια, το μετατρέπει σε δυαδικό 8 ψηφίων, δηλαδή σε 00001011. Ο δυαδικός αυτός αριθμός μας δείχνει ακριβώς ποια ρελέ θα ανοίξουν/κλείσουν, στο παραδειγμά μας δηλαδή, το πρώτο, το δεύτερο και το τέταρτο ρελέ. Αναφερόμενοι στον πίνακα με τα φορτία και υποθέτοντας ότι αφορά την πρώτη φάση θα ενεργοποιήσουμε ένα φορτίο 1000W και 600VAr. Η γενική ιδέα, επομένως, του δεύτερου μέρους του προγράμματος είναι

στην ουσία η μετατροπή της επιθυμητής ισχύος σε ρελέ αντιστάσεων μέσω της απεικονισής του σε δεκάδιο δυαδικό αριθμό. Το βασικό υποπρόγραμμα για την υλοποίηση αυτής της ιδέας είναι το πρόγραμμα επιλογής αντιστάσεων (Resistors Choice), το Block Diagram του οποίου φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.23 Το Block Diagram του προγράμματος επιλογής αντιστάσεων (Resistors' Choice)

Τώρα θα αναλυθεί βήμα βήμα η διαδικασία αυτή με ένα απλό παράδειγμα. Σε πρώτο στάδιο το υποπρόγραμμα Initial_Load_Array υλοποιεί το διαχωρισμό του πίνακα των αντιστάσεων, πηνίων και RL φορτίων σε τρεις διαφορετικούς όπου ο καθένας θα έχει μόνο μια κατηγορία φορτίων. Υποθέτουμε ότι ο πίνακας των φορτίων για την πρώτη φάση έχει ως εξής:

100	200	300	1000	100	100	100	500
R	R	R	R	L	L	L	RL

Τότε με την χρήση του υποπρογράμματος Initial_Load_Array θα γίνει:

100	200	300	1000	0	0	0	0
-----	-----	-----	------	---	---	---	---

0	0	0	0	100	100	100	0
---	---	---	---	-----	-----	-----	---

0	0	0	0	0	0	0	500
---	---	---	---	---	---	---	-----

Να σημειωθεί ότι για τα RL φορτία ο τρόπος επεξεργασίας τους είναι πολύ πιο απλός, καθώς στο εργαστήριο υπάρχει μόνο ένα και αυτό ρυθμίζεται μέσω ενός κουμπιού ON/OFF RL. Έτσι, δεν ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τα υπόλοιπα φορτία, παρά μόνο η μετατροπή του σε ένα πίνακα με 0,1 που μας δείχνει την ενεργοποίηση ή όχι του RL φορτίου. Θεωρώντας ότι το RL φορτίο έχει ενεργοποιηθεί, οι παραπάνω πίνακες έχουν ως εξής:

100	200	300	1000	0	0	0	0
-----	-----	-----	------	---	---	---	---

0	0	0	0	100	100	100	0
---	---	---	---	-----	-----	-----	---

0	0	0	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Η διαδικασία που θα ακολουθήσει αφορά μόνο τις αντιστάσεις και τα πηνία όπως είπαμε και προηγουμένως, θα αναλυθεί όμως για λόγους απλότητας μόνο ο πίνακας των αντιστάσεων.

Παρακάτω, μέσω του υποπρογράμματος Arrange elements in descending order ταξινομούμε τον πίνακα των αντιστάσεων κατά φθίνουσα σειρά και δημιουργούμε επίσης δύο ακόμα πίνακες, ο ένας εκ των οποίων αφορά το πλήθος των αντιστάσεων του πίνακα ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιείται για σύγκριση με άλλους πίνακες σε μεταγενέστερα βήματα. Τελικά έχουμε τους πίνακες:

1000	300	200	100	0	0	0	0
------	-----	-----	-----	---	---	---	---

1	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

100	200	300	1000	0	0	0	0
-----	-----	-----	------	---	---	---	---

1	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Το επόμενο υποπρόγραμμα, το convert one load element, έχει ως είσοδο τους πίνακες

1000	300	200	100	0	0	0	0
------	-----	-----	-----	---	---	---	---

1	1	1	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

και την επιθυμητή τιμή της ισχύος, που θεωρούμε ότι για το παράδειγμά μας είναι 1250W.

Το υποπρόγραμμα convert one load element υπολογίζει τον πιο κοντινό συνδυασμό αντιστάσεων που υπάρχει στον πίνακα και δίνει ως έξοδο έναν «λογικό» πίνακα από τις αντιστάσεις που υλοποιούν την επιθυμητή τιμή ισχύος. Στο παράδειγμά μας δηλαδή η έξοδος του υποπρογράμματος είναι:

1	0	1	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Όπως φαίνεται παραπάνω οι αντιστάσεις που επιλέχτηκαν είναι 1000W και 200W δηλαδή 1200W. Εδώ παρουσιάζεται μία διαφορά 50W η οποία είναι και έξοδος του υποπρογράμματος με την ένδειξη Diff. Το υποπρόγραμμα έχει υλοποιηθεί έτσι ώστε να διαλέγει το πιο κοντινό συνδυασμό αντιστάσεων χωρίς όμως να ξεπερνούν την επιθυμητή τιμή ισχύος. Δηλαδή, αν υπήρχε συνδυασμός αντιστάσεων που να έδιναν 1280W το υποπρόγραμμα θα διάλεγε ξανά τις αντιστάσεις των 1200W γιατί κατά τον εσωτερικό έλεγχο του θα διαπίστωνε ότι $1280W > 1250W$. Επίσης υπάρχει ένδειξη σφάλματος αν διαπιστωθεί ότι η δοθείσα επιθυμητή τιμή ισχύος ξεπερνά τις δυνατότητες του εργαστηρίου. Αν ζητηθούν από το πρόγραμμα 1700W θα έχει ως έξοδο το ERROR και μηδενικές τιμές στους πίνακες.

Το υποπρόγραμμα Bundle Array ενώνει τον πίνακα των ταξινομημένων κατά φθίνουσα σειρά αντιστάσεων με τον πίνακα των επιθυμητών αντιστάσεων δίνοντας έτσι έξοδο:

1000	300	200	100	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0

Στη συνέχεια ο παραπάνω πίνακας, μέσω του υποπρογράμματος Boolean Array, συγκρίνεται με τον πίνακα:

100	200	300	1000	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1

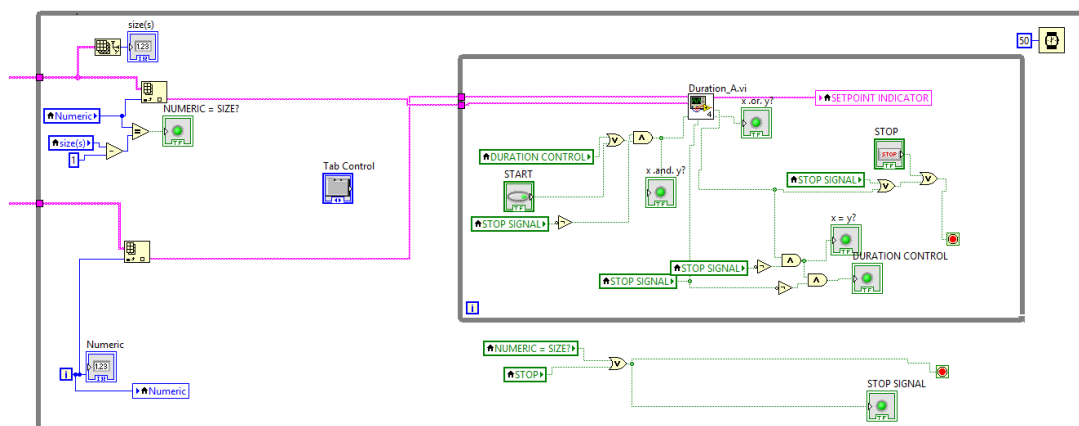
του υποπρογράμματος Arrange elements in descending order έτσι ώστε να βρεθεί και πραγματική θέση των αντιστάσεων. Έξοδος του υποπρογράμματος Boolean Array είναι τελικά:

0	1	0	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Ο πίνακας αυτός προστίθεται με τους αντίστοιχους πίνακες για τα πηνία και τα RL φορτία. Για λόγους ευκολίας θεωρούμε ότι οι πίνακες αυτοί είναι μηδενικοί.

Ο τελικός πίνακας επομένως δείχνει έναν δυαδικό αριθμό, τον 01010000, με τα ρελέ που θέλουμε να ενεργοποιηθούν. Στο τελευταίο βήμα του προγράμματος και αφού πρώτα αντιστραφεί ο δυαδικός αριθμός, δηλαδή γίνει 00001010, τότε μετατρέπεται σε δεκαδικό με το υποπρόγραμμα Binary Array to Decimal Number. Έξοδος τελικά στο στάδιο αυτό είναι ο δεκαδικός αριθμός 10, δηλαδή το SETPOINT που θα σταλεί στο PLC. Τέλος, τα SETPOINT όλων των φάσεων οργανώνονται σε πίνακα μαζί με τους αντίστοιχους χρονισμούς.

Το τρίτο μέρος του προγράμματος αφορά πλέον την υλοποίηση των SETPOINT με τους χρονισμούς τους.

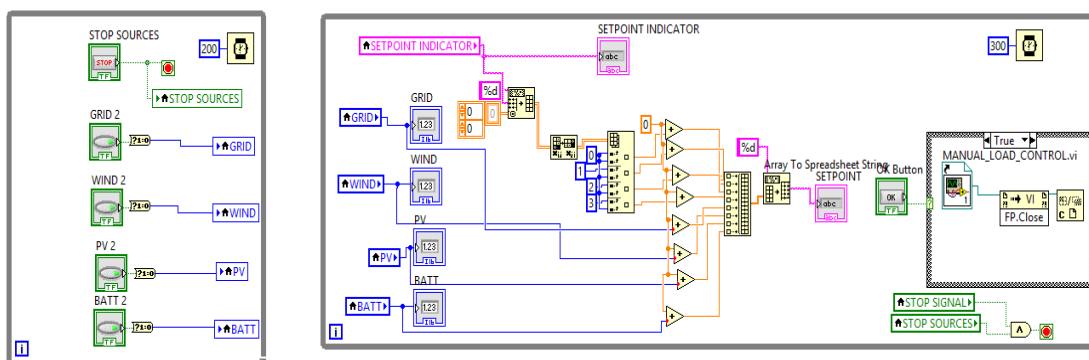


Σχήμα 3.24 Το Block Diagram του προγράμματος επιλογής αντιστάσεων (Registers' Choice)

Για την υλοποίηση αυτού του σταδίου δημιουργήθηκε ξεχωριστό υποπρόγραμμα για τους χρονισμούς. Το υποπρόγραμμα Duration βρίσκεται εντός μίας while loop όπως φαίνεται παραπάνω και έχει σαν είσοδο το SETPOINT με τον αντίστοιχο χρονισμό. Όταν ο επιθυμητός χρονισμός ολοκληρωθεί τότε το Duration τερματίζει το while loop και δέχεται την επόμενη τιμή μέχρι να σταλούν όλα τα SETPOINT. Ο λόγος που δημιουργήθηκε ξεχωριστό υποπρόγραμμα για τους χρονισμούς είναι γιατί μόνο έτσι μπορούμε να ελέγχουμε την εκκίνηση και την παύση του προγράμματος μέσω των κουμπιών START και STOP αντίστοιχα. Θα μπορούσε

να υλοποιηθεί δηλαδή με μια απλή καθυστέρηση εντός του while loop ανάλογης του επιθυμητής διάρκειας όμως, τότε, η while loop θα τερματιζόταν μόνο όταν ολοκληρονόταν η καθυστέρηση εντός της όποτε κι αν πατούσαμε το STOP. Δηλαδή αν είχαμε χρονισμό 10min και πατούσαμε το STOP στα 5min τότε θα έπρεπε, είτε να περιμένουμε 5min μέχρι να ολοκληρωθεί η while loop είτε να σταματήσουμε το πρόγραμμα με αντισυμβατικό τρόπο.

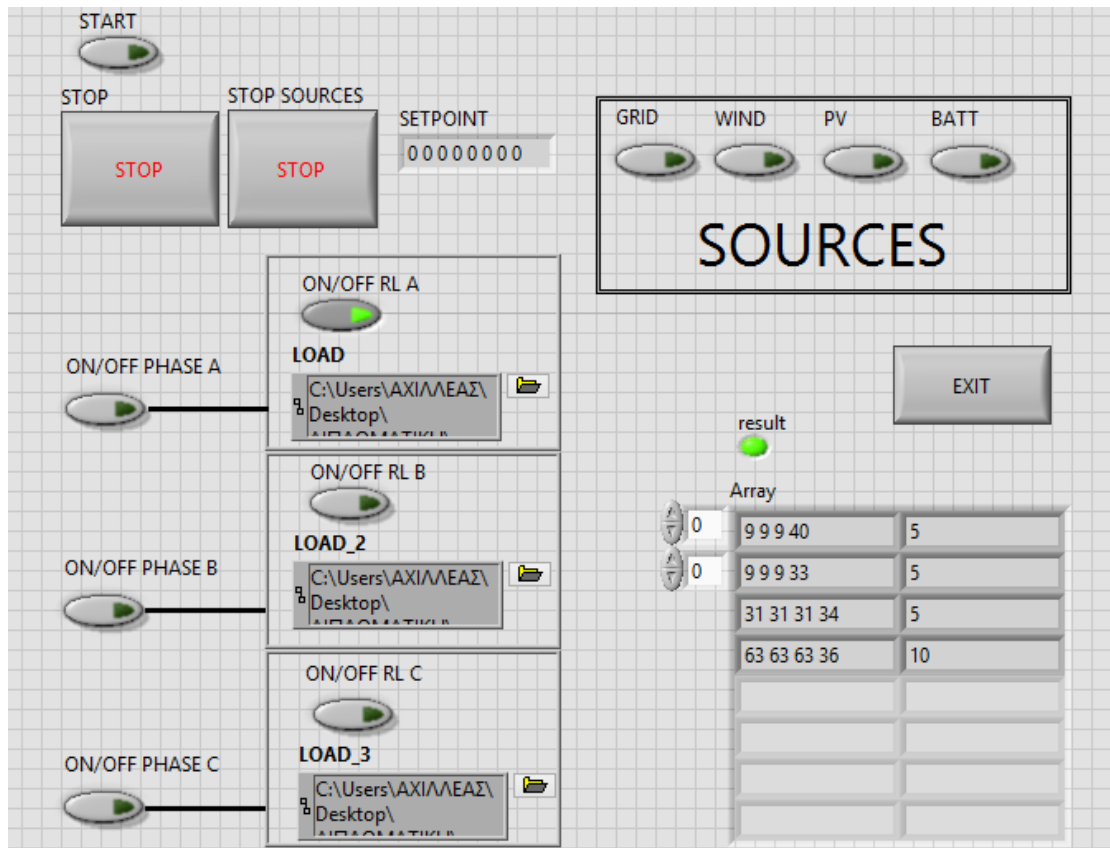
Τέλος, τα SETPOINT των αντιστάσεων ενώνονται με τα SETPOINT των πηγών και στέλνονται στο PLC. Οι πηγές όπως φαίνεται παρακάτω μπορούν να ρυθίζονται διαρκώς, καθώς βρίσκονται εντός ενός while loop που υλοποιείται μέχρι να τερματιστεί το πρόγραμμα, σε αντίθεση με τις αντιστάσεις που έχουν προκαθορισμένες τιμές και διάρκειες. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους, πρώτον, είναι για να μπορούμε να ρυθμίζουμε τις πηγές καθώς υλοποιούμε την καμπύλη φορτίου (π.χ. σε αιχμή φορτίου να συνδέουμε όλες τις πηγές) και δεύτερον, ο ανεξάρτητος έλεγχος των πηγών που είναι απαραίτητος σε άλλες εφαρμογές.



Σχήμα 3.25 Το Block Diagram του προγράμματος MANUAL LOAD CONTROL

3.4.5 Πρόγραμμα ελέγχου πηγών και φορτίων μέσω αρχείου κειμένου

Το πρόγραμμα MANUAL LOAD CONTROL και LOAD CONTROL BY TEXT έχουν προγραμματιστεί με τον ίδιο τρόπο. Μοναδική διαφορά αποτελεί ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται οι τιμές της ενεργού και αέργου ισχύος καθώς και οι αντίστοιχοι χρονισμοί. Στο πρόγραμμα LOAD CONTROL BY TEXT οι επιθυμητές τιμές εισάγονται μέσω αρχείου κειμένου χωρισμένες μεταξύ τους με TAB. Ο χρήστης αρκεί μόνο να εισάγει το κατάλληλο μονοπάτι του αρχείου όπως φαίνεται παρακάτω στο front panel του προγράμματος. Όλα τα υπόλοιπα υλοποιούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με το πρόγραμμα MANUAL LOAD CONTROL.

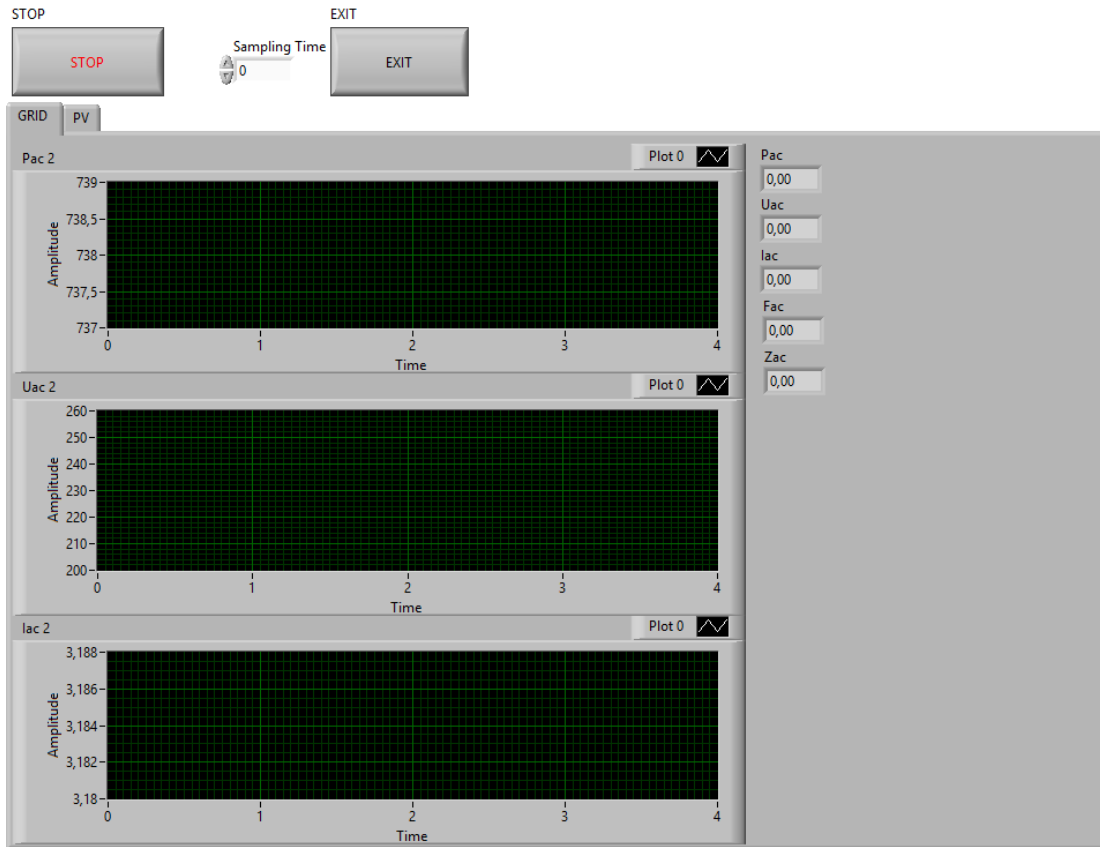


Σχήμα 3.26 Το front panel του προγράμματος LOAD CONTROL BY TEXT

Σημαντικό πλεονέκτημα του προγράμματος αυτού είναι ο πολύ απλός τρόπος υλοποίησής του και παράλληλα ο μεγάλος όγκος δεδομένων που μπορούν να εισαχθούν.

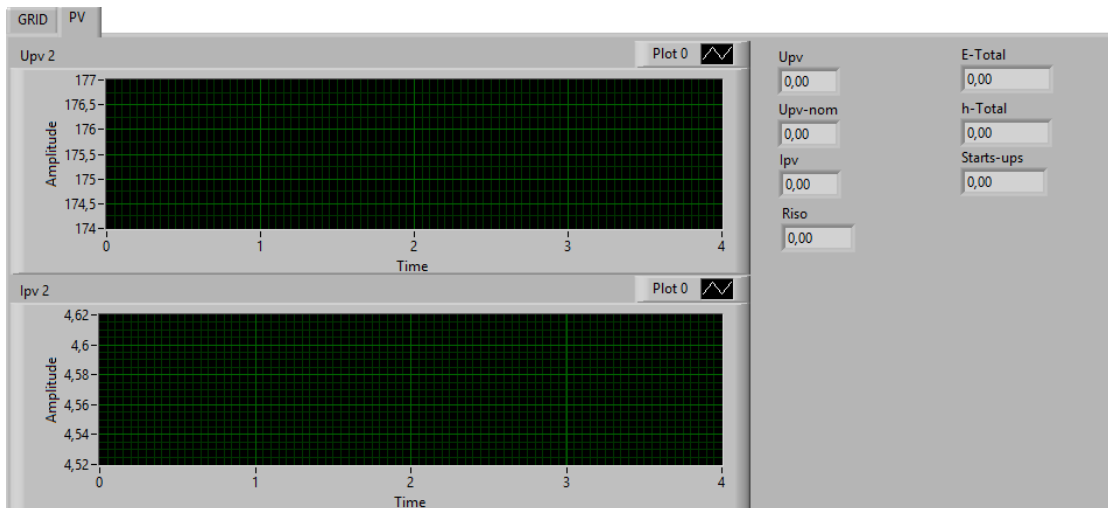
3.4.6 Προγράμματα ελέγχου των αντιστροφών SUNNY BOY και WINDY BOY

Τα προγράμματα των αντιστροφών ενεργοποιούνται όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως με τα κουμπιά MORE του κεντρικού βασικού προγράμματος διεπαφής χρήστη (SCADA LAYOUT). Η υλοποίηση των δύο προγραμμάτων είναι ίδια γι' αυτό και θα αναλυθεί μόνο το πρόγραμμα του αντιστροφέα SUNNY BOY.



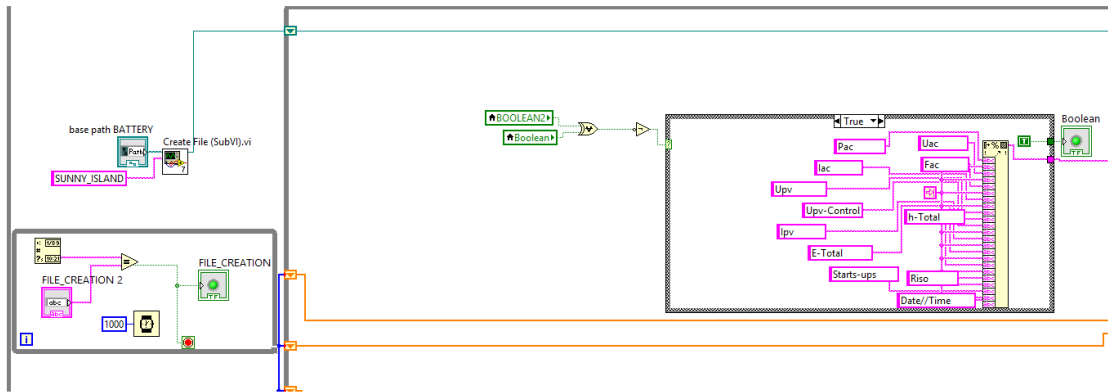
Tab Control

Σχήμα 3.27 Το front panel του προγράμματος του αντιστροφέα SUNNY BOY όπου φαίνονται οι μετρήσεις που λαμβάνουμε για το δίκτυο



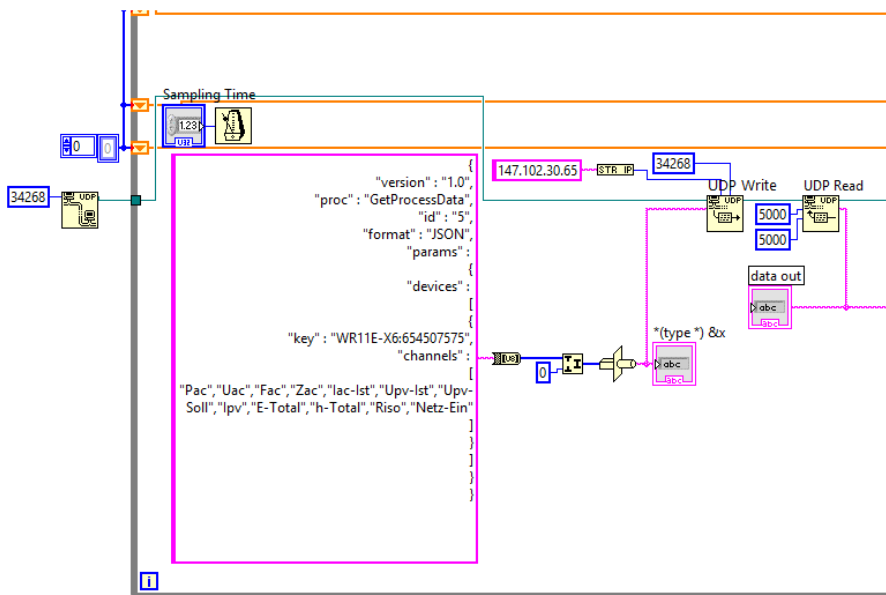
Σχήμα 3.28 Το front panel του προγράμματος αντιστροφέα SUNNY BOY όπου φαίνονται οι μετρήσεις που λαμβάνουμε από τη Φ/Β γεννήτρια

Παραπάνω βλέπουμε και τις δύο καρτέλες του front panel. Η πρώτη, αφορά το δίκτυο, και η δεύτερη, τη Φ/Β γεννήτρια. Για το δίκτυο, λαμβάνουμε μετρήσεις για ισχύ, τάση, ρεύμα, συχνότητα και αντίσταση του δικτύου, ενώ για τη Φ/Β γεννήτρια, λαμβάνουμε μετρήσεις για τάση, ρεύμα, αντίσταση κατά την απομονωμένη λειτουργία, παραγόμενη ενέργεια, ώρες λειτουργίας και πλήθος εκκινήσεων του αντιστροφέα.



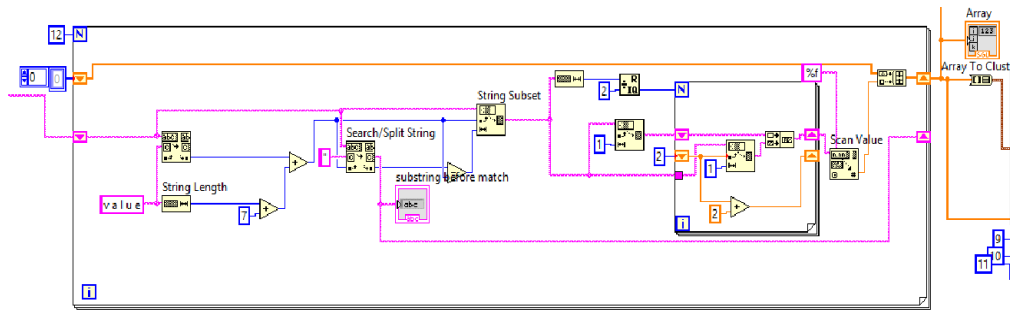
Σχήμα 3.29 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος του αντιστροφέα SUNNY BOY όπου φαίνεται ο τρόπος δημιουργίας αρχείων

Το πρώτο βήμα, αποτελεί η δημιουργία αρχείου με τη βοήθεια του υποπρογράμματος δημιουργίας αρχείων (File Creation) όπως υλοποιήθηκε και σε προηγούμενα προγράμματα.



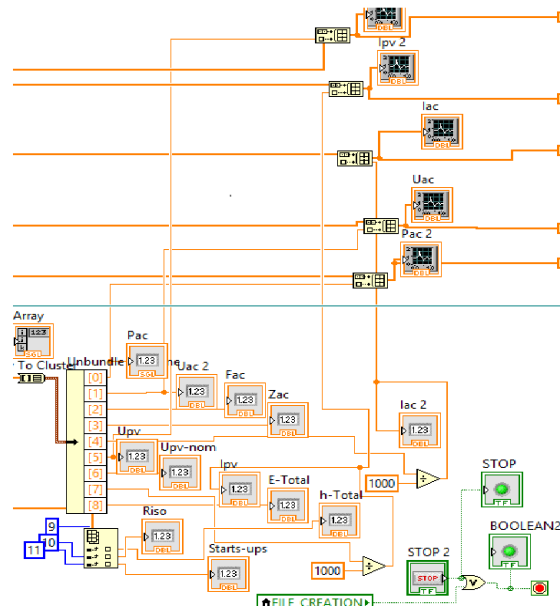
Σχήμα 3.30 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος αντιστροφέα SUNNY BOY όπου φαίνεται ο τρόπος επικοινωνίας με το αντιστροφέα SUNNY BOY

Το δεύτερο βήμα, είναι αποστολή αιτήματος στον αντιστροφέα με τις επιθυμητές παραμέτρους που αναφέρθηκαν προηγούμενως, μέσω των συναρτήσεων UDP OPEN, UDP WRITE, UDP READ, UDP CLOSE. Η συνάρτηση UDP WRITE παίρνει ως είσοδο τις επιθυμητές παραμέτρους, την IP του server του Πολυτεχνείου καθώς και τη θύρα από την οποία θα ζητηθούν οι τιμές αυτές. Η συνάρτηση UDP READ διαβάζει τις επιθυμητές παραμέτρους και τις στέλνει στο LabView με τη μορφή string.



Σχήμα 3.31 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος του αντιστροφέα SUNNY BOY όπου φαίνεται ο τρόπος διαχωρισμού των πληροφοριών που λαμβάνονται από τον αντιστροφέα SUNNY BOY

Στο επόμενο βήμα μέσω των συναρτήσεων Search/Split String, String Subset αναζητήσης διαχωρίζονται οι τιμές των ζητούμενων παραμέτρων από τις υπόλοιπες πληροφορίες που στέλνει ο αντιστροφέας και οργανώνονται στον πίνακα Array.

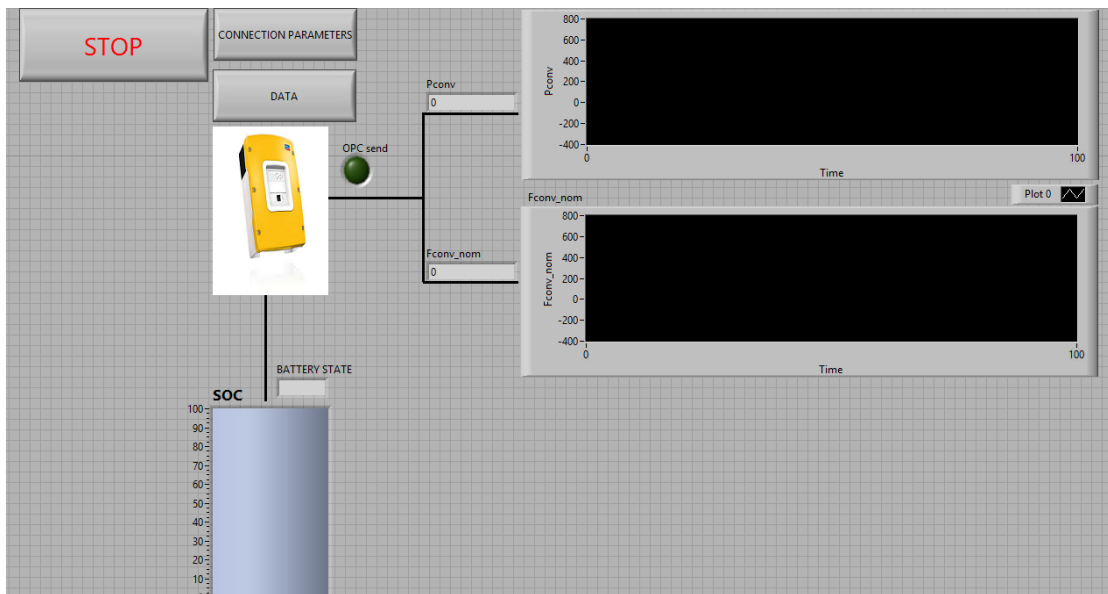


Σχήμα 3.32 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος του αντιστροφέα SUNNY BOY όπου φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζονται οι μετρήσεις

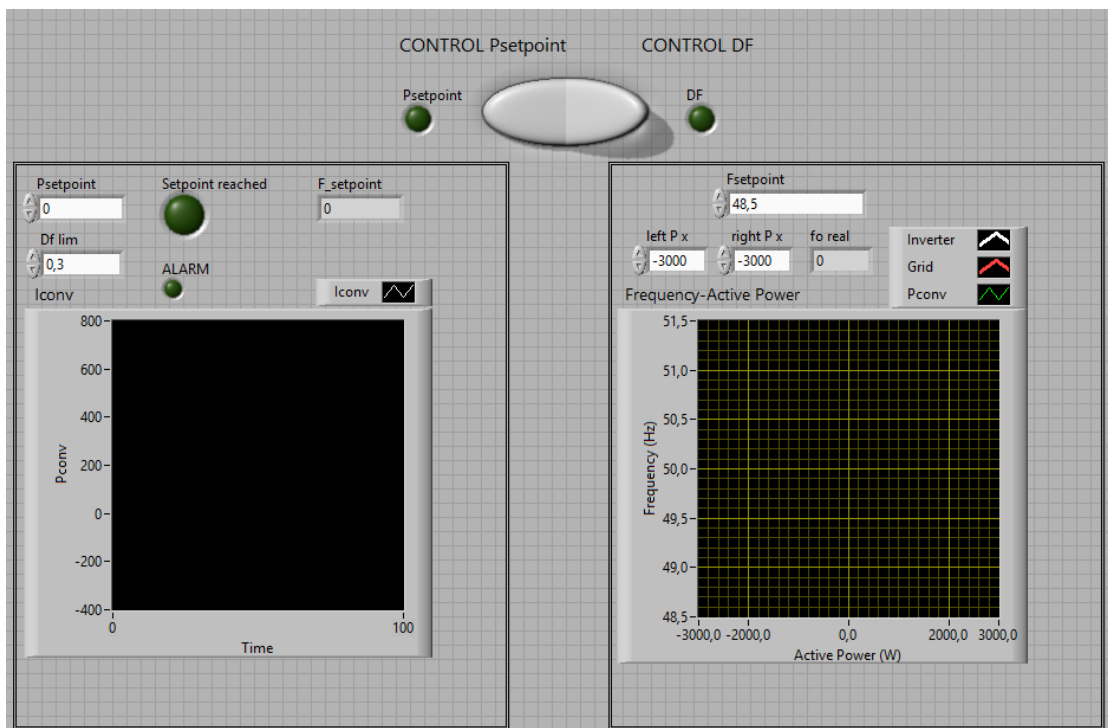
Τέλος, διαχωρίζονται από τον πίνακα Array και αποστέλονται στο front panel μέσω των αντίστοιχων δεικτών.

3.4.7 Πρόγραμμα ελέγχου του αντιστροφέα SUNNY ISLAND

Ο αντιστροφέας Sunny Island, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, λειτουργεί για το μικροδίκτυο όπως και οι σύγχρονες γεννήτριες για το δίκτυο. Κατ'επέκταση ο έλεγχος της λειτουργίας του αντιστροφέα Sunny Island μας δίνει την δυνατότητα του ελέγχου του μικροδικτύου. Το πρόγραμμα που έχει υλοποιηθεί έχει τη δυνατότητα λήψης μετρήσεων σχετικές με τον αντιστροφέα αλλά και αποστολής εντολών για την ρύθμιση συχνότητας-ενεργού ισχύος μέσω των εσωτερικών καμπυλών droop P-f του αντιστροφέα Sunny Island.

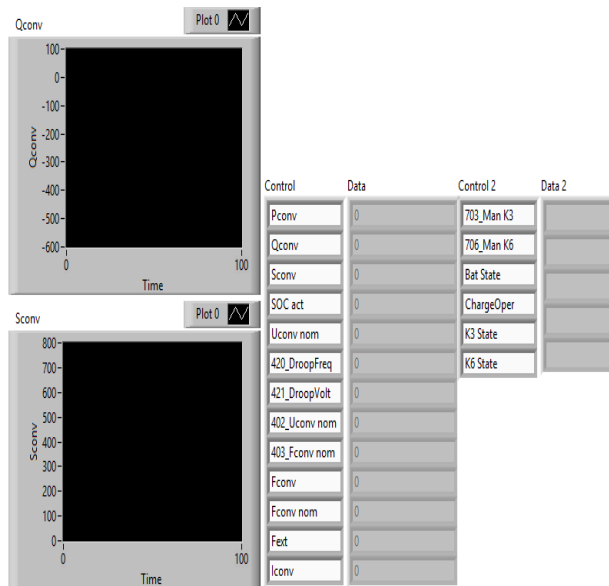


Σχήμα 3.33α Τμήμα του front panel του προγράμματος XML-RPC-LV_client



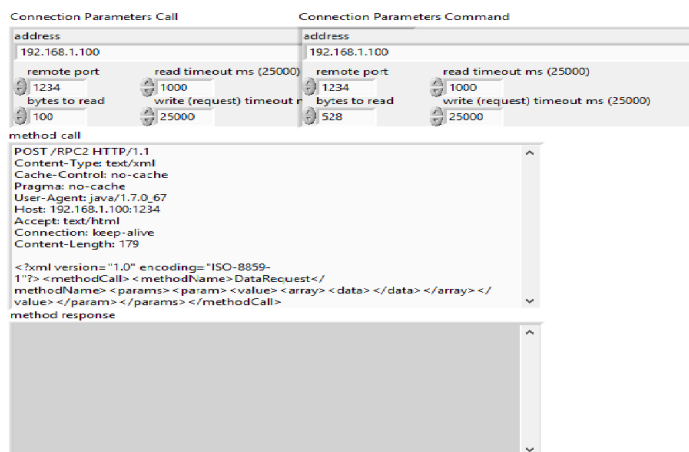
Σχήμα 3.33β Τμήμα του front panel του προγράμματος XML-RPC-LV_client

Όπως φαίνεται παραπάνω, το front panel του αντιστροφέα Sunny Island, για λόγους απλότητας αλλά και χρηστικότητας, παρέχει πληροφορίες για ορισμένες μόνο πολύ βασικές παραμέτρους του αντιστροφέα, όπως η ισχύς, η συχνότητα λειτουργίας, η κατάσταση των μπαταριών και η κατάσταση φόρτισής τους. Περίσσοτες πληροφορίες σχετικά με τον αντιστροφέα παρέχονται στο χρήστη με τη χρήση του κουμπιού DATA όπως φαίνεται παρακάτω.

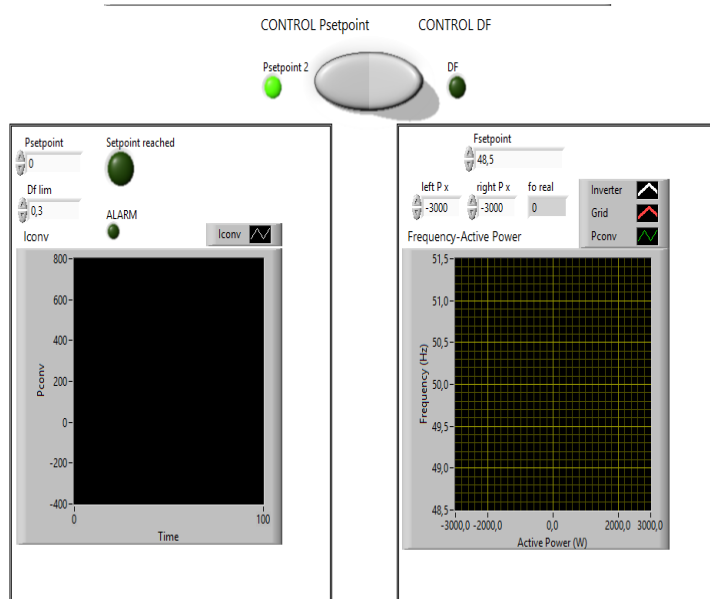


Σχήμα 3.34 Το front panel του προγράμματος XML-RPC-LV_client όταν πατηθεί το κουμπί DATA

Με τη χρήση του κουμπιού Connection Parameters ελέγχουμε τις παραμέτρους επικοινωνίας για την λήψη των μετρήσεων και αποστολής εντολών.



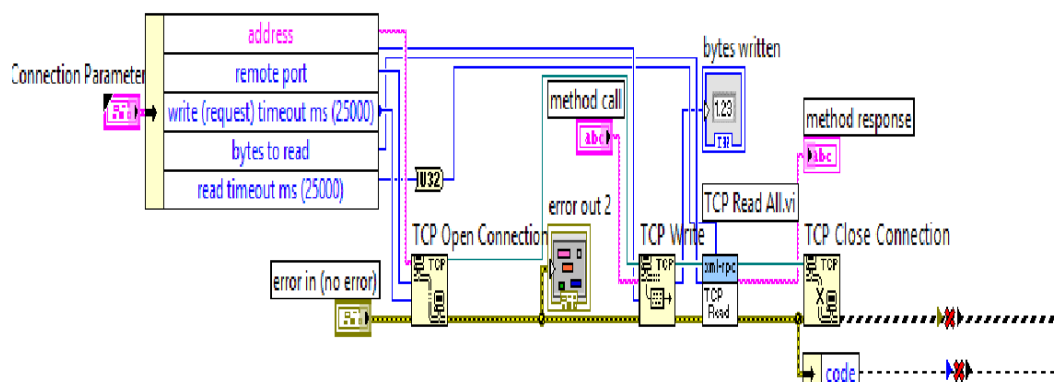
Σχήμα 3.35 Το front panel του προγράμματος XML-RPC-LV_client όταν πατηθεί το κουμπί Connection Parameters



Σχήμα 3.36 Τμήμα του front panel του προγράμματος XML-RPC-LV_client

Παραπάνω, φαίνεται ο έλεγχος του αντιστροφέα είτε με την αποστολή επιθυμητής τιμής για την ισχύ του είτε απευθείας ρύθμιση της συχνότητάς του. Επίσης στο διάγραμμα που φαίνεται στα δεξιά της φωτογραφίας παρουσιάζεται η καμπύλη Droop P-f του αντιστροφέα, η συχνότητα του δικτύου και το σημείο λειτουργίας του αντιστροφέα. Στα αριστερά φαίνεται η γραφική του ρεύματος καθώς επίσης και ένδειξη για την ολοκλήρωση της διαδικασίας ρύθμισης της ισχύος (Setpoint reached) αλλά και ένδειξη επικινδυνότητας για τον αντιστροφέα αν το ρεύμα ξεπεράσει καποιά επιθυμητή τιμή (ALARM). Αργότερα, θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος μαζί με την περιγραφή εφαρμογών που έχουν υλοποιηθεί με αυτό. Προτού όμως εξηγηθεί λεπτομερέστερα η λειτουργία του προγράμματος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο σκοπός της δημιουργίας του είναι κυρίως εκπαιδευτικός. Μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των καμπυλών στατισμού των σύγχρονων μηχανών και των τρόπων ρύθμισης της ισχύος και της συχνότητάς τους με βάση αυτές τις καμπύλες.

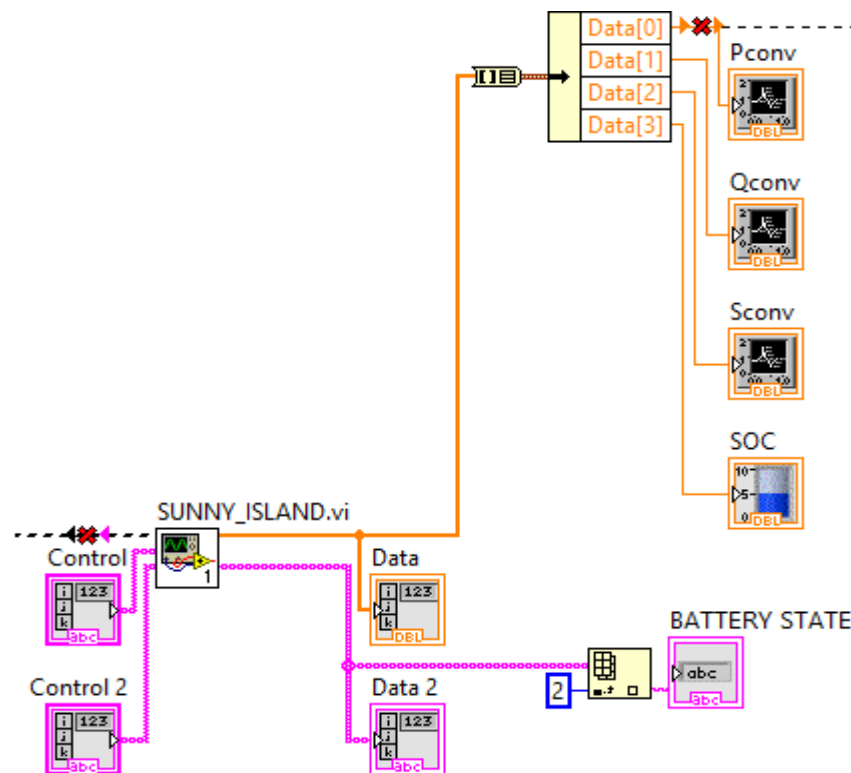
Σε επίπεδο σχεδίασης, το πρώτο βήμα για την υλοποίηση του προγράμματος αυτού είναι η επικοινωνία με τον αντιστροφέα, η αποστολή αιτήματος και στη συνέχεια η λήψη των δεδομένων. Η επικοινωνία υλοποιείται με τρόπο όμοιο με του αντιστροφέα Sunny Boy μόνο που εδώ χρησιμοποιούμε τις συναρτήσεις TCP Open Connection, TCP Write, TCP Read All, TCP Close Connection.



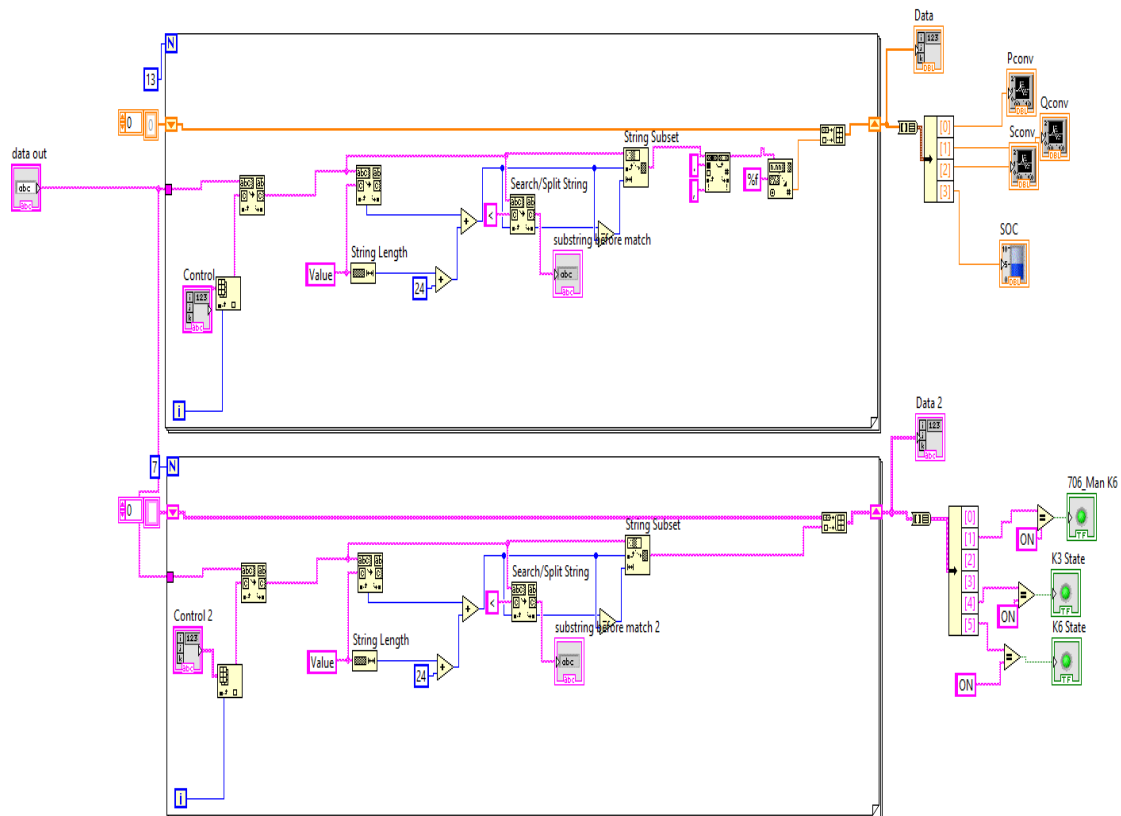
Σχήμα 3.37 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος XML-RPC-LV_client όπου φαίνεται ο τρόπος επικοινωνίας με τον αντιστροφέα SUNNY ISLAND

Με την συνάρτηση TCP Open Connection καθορίζουμε τις παραμέτρους επικοινωνίας, δηλαδή ποιος στέλνει το αίτημα και σε ποιον θα αποσταλεί. Με την συνάρτηση TCP Write ο αντιστροφέας διαβάζει το αίτημα για την λήψη των μετρήσεων σε μορφή string και με την συνάρτηση TCP Read All διαβάζει τα δεδομένα και τα αποστέλει πάλι σε μορφή string. Η συνάρτηση TCP Close Connection κλείνει την επικοινωνία.

Το δεύτερο βήμα αφορά το διαχωρισμό των επιθυμητών και ανεπιθύμητων μετρήσεων. Το βήμα αυτό είναι απαραίτητο διότι το αίτημα που αποστέλνουμε, προς το παρόν, στον αντιστροφέα δεν αφορά μόνο τις επιθυμητές μετρήσεις αλλά όλα τα δεδομένα του, και κατ'επέκταση, θα πρέπει να γίνει ο απαραίτητος διαχωρισμός. Αυτό υλοποιείται με το υποπρόγραμμα Sunny Island όπως φαίνεται και παρακάτω και στη συνέχεια τα δεδομένα αποστέλνεται στο front panel.



Σχήμα 3.38 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος XML-RPC-LV_client όπου φαίνεται με τον οποίο παρουσιάζονται οι μετρήσεις



Σχήμα 3.39 Το Block Diagram του προγράμματος SUNNY ISLAND

data out

```

<value> <string> / / /string / /value / /member /
<member> <name> Value</name>
<value> <double> 718.4000003</double> </value> </member>
<member> <name> Properties</name>
<value> <string> ro</string> </value> </member>
</struct> </value>
<value> <struct>
<member> <name> Name</name>
<value> <string> Fext</string> </value> </member>
<member> <name> Unit</name>
<value> <string> Hz</string> </value> </member>
<member> <name> Value</name>
<value> <double> 50.029999</double> </value> </member>
<member> <name> Properties</name>
<value> <string> ro</string> </value> </member>
</struct> </value>
<value> <struct>
<member> <name> Name</name>
<value> <string> tect eff</string> </value> </member>
<member> <name> Unit</name>

```

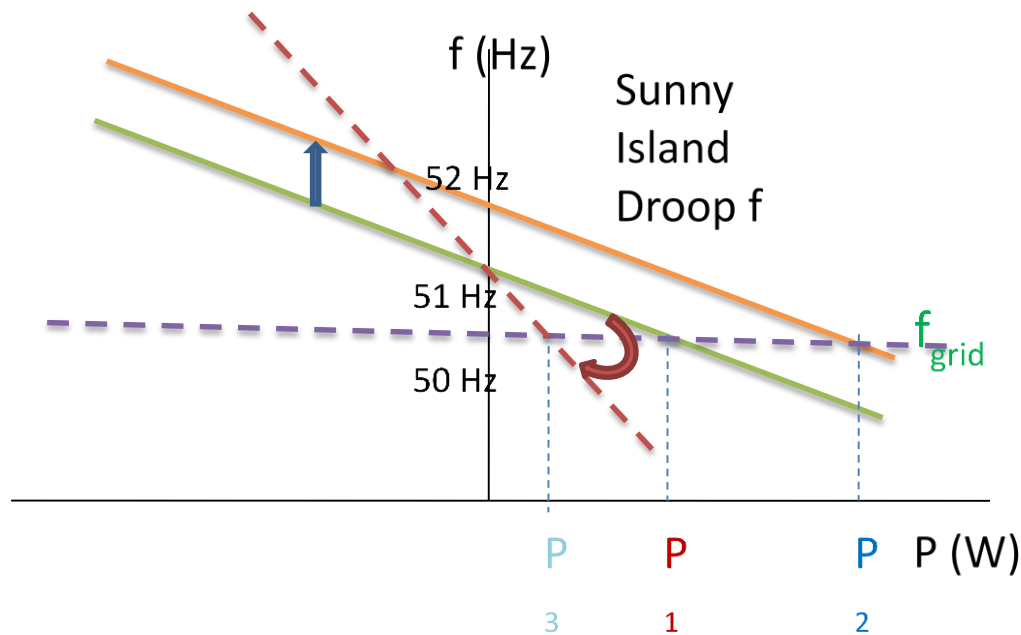
Σχήμα 3.40 Αρχείο αποστολής του Sunny Island

Παραπάνω φαίνεται το Block Diagram του υποπρογράμματος Sunny Island και από κάτω το αρχείο που επεξεργάζεται, η έξοδος δηλαδή του TCP Read All. Το

υποπρόγραμμα πρώτα διαβάζει μία επιθυμητή παράμετρο και αναζητά την τιμή της με τον εξής τρόπο. Ας υποθέσουμε ότι αναζητούμε την τιμή f_{ext} , αφού την βρούμε στο αρχείο όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τότε διαχωρίζουμε το αρχείο σε δύο τμήματα. Το πρώτο περιλαμβάνει τμήμα του αρχείου μέχρι και την παράμετρο f_{ext} ενώ το δεύτερο όλο το υπόλοιπο αρχείο. Στην συνέχεια, στο δεύτερο μέρος του αρχείου αναζητούμε την τιμή $V a l u e$ και ύστερα από 24 χαρακτήρες βρίσκεται η τιμή της παραμέτρου. Τέλος, απομονώνουμε την τιμή αυτή διαχωρίζοντας το αρχείο στο χαρακτήρα $V a l u e + 24$ χαρακτήρες και του επόμενου συμβόλου $<$. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα δεδομένα και οι τιμές τους συγκεντρώνονται στο πίνακα Data και αποστέλονται στο front panel.

Στο τρίτο μέρος του προγράμματος, γίνεται έλεγχος της ισχύος μέσω της στατισμού P-f. Προτού αναλυθεί ο τρόπος που υλοποιήθηκε το συγκεκριμένο πρόγραμμα θα αναλυθεί συνοπτικά ο έλεγχος της ισχύος του αντιστροφέα των μπαταριών μέσω της καμπύλης στατισμού P-f.

Στην διασυνδεδεμένη με το δίκτυο λειτουργία υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της ισχύος εξόδου του αντιστροφέα με τη χρήση της καμπύλης στατισμού όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα υποθέτοντας ότι έχουμε τάση δικτύου f_{grid} και καμπύλη στατισμού με γενική εξίσωση $f=aP+b$.



Σχήμα 3.41 Καμπύλη στατισμού P-f

Η ισχύς που απορροφάται /καταναλώνεται από τον αντιστροφέα των μπαταριών μπορεί να μεταβληθεί από το χρήστη αλλάζοντας δύο παραμέτρους της καμπύλης στατισμού: τη συχνότητα κενού φορτίου και τη κλίση της ευθείας της καμπύλης στατισμού.

Στο πρόγραμμα που έχει υλοποιηθεί γίνεται έλεγχος της ισχύος του αντιστροφέα των μπαταριών μεταβάλλοντας τη συχνότητα κενού φορτίου. Η κλίση της καμπύλης θεωρείται σταθερή και ίση με $a=0,0003$.

Πρώτα εισάγεται η επιθυμητή ρύθμιση ισχύος $P_{setpoint}$ και ύστερα γίνεται ο υπολογισμός της τιμής b , δηλαδή της διαφοράς df της παλιάς και νέας καμπύλης. Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα εξής:

A) Μέτρησης της ενεργού ισχύος του αντιστροφέα P_{conv}

B) Υπολογισμό της διαφοράς $DF=(P_{setpoint} - P_{conv})/3000$

Αν ισχύει $|P_{setpoint} - P_{conv}| < 50$ τότε δεν αποστέλεται εντολή για την ρύθμιση της συχνότητας.

Γ) Η συχνότητα κενού φορτίου δεν πρέπει να μεταβάλλεται δραστικά γι'αυτό και η διαφορά df μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ των $-0,1\text{Hz}$ και $0,1\text{Hz}$.

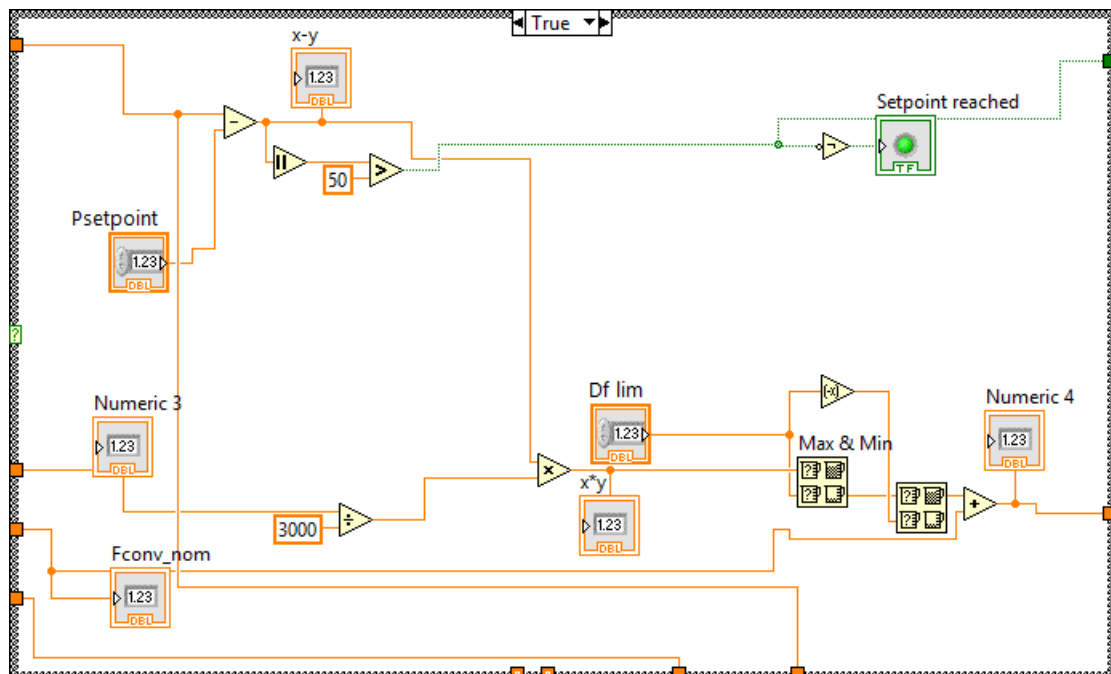
Δ) Μέτρηση της συχνότητας F_{conv_nom} και πρόσθεσης σε αυτήν της διαφοράς df . Η νέα τιμή $F_{conv_nom}+df$ αν δεν ξεπερνά τα όρια f_{max} και f_{min} που ορίζονται από το χρήστη αποστέλλεται στον αντιστροφέα.

Ε) Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.

Για λόγους ασφαλείας η παραγόμενη από τον αντιστροφέα ισχύ δεν πρέπει να υπερβαίνει τα $\pm 3000\text{W}$. Θεωρώντας ότι η συχνότητα του δικτύου είναι 50Hz , τότε τα όρια της συχνότητας κενού φορτίου υπολογίζονται ως εξής:

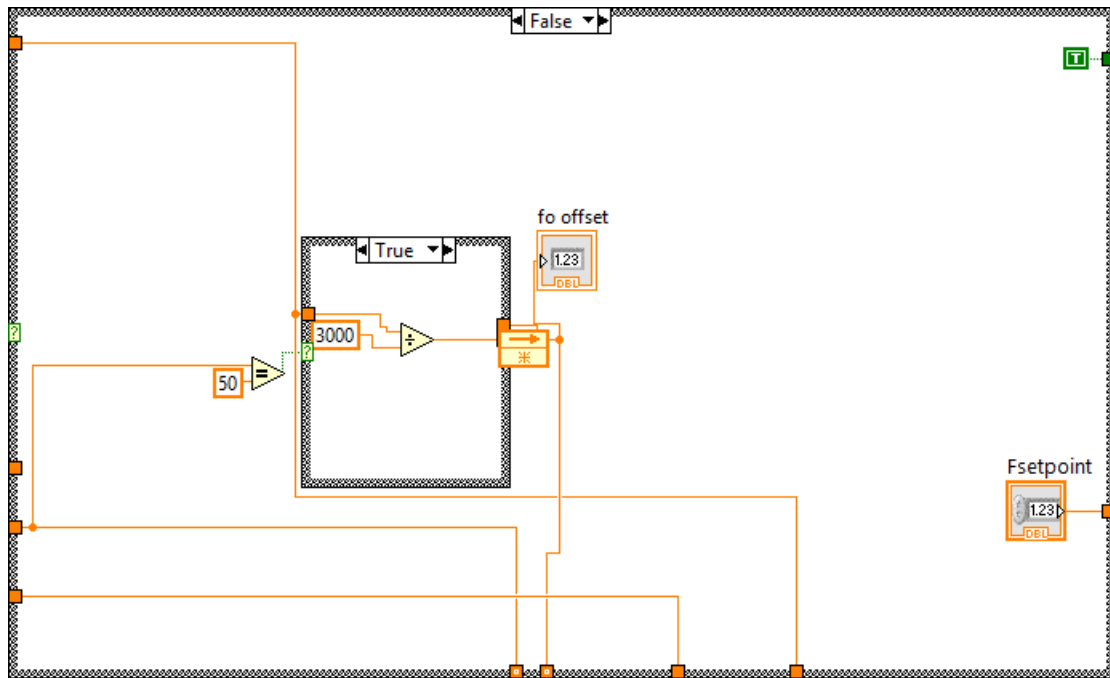
$$F_{max}=50+3000/3000=51\text{Hz}$$

$$F_{min}=50-3000/3000=49\text{Hz}$$



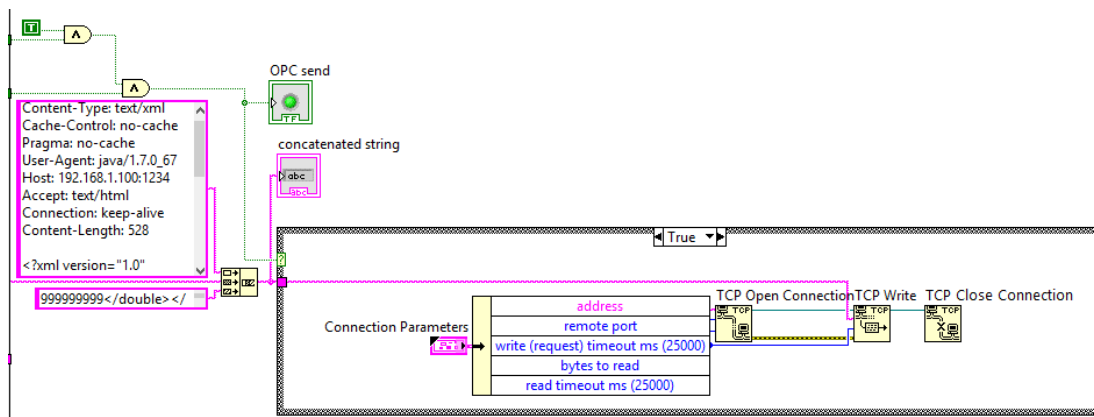
Σχήμα 3.42 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος XML-RPC-LV_client όπου φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού της επιθυμητής συχνότητας κενού φορτίου όταν βρισκόμαστε στην κατάσταση ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα

Αν έχουμε ρύθμιση DF τότε χωρίς υπολογισμούς στέλνεται απευθείας εντολή για την ρύθμιση της F_{conv_nom} .



Σχήμα 3.43 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος XML-RPC-LV_client όταν βρισκόμαστε στην κατάσταση άμεσης ρύθμισης της συχνότητας κενού φορτίου

Τελευταίο βήμα του υποπρογράμματος είναι η αποστολή των επιθυμητών τιμών. Αυτό υλοποιείται με τρόπο όμοιο με τη λήψη των δεδομένων αλλάζοντας μόνο τις παραμέτρους επικοινωνίας, δηλαδή στέλνουμε αίτημα στον αντιστροφέα για αλλαγή των παραμέτρων του όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.44 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος XML-RPC-LV_client όπου φαίνεται ο τρόπος αποστολής της εντολής ρύθμισης

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την προστασία του αντιστροφέα υπάρχουν πολλοί έλεγχοι και περιορισμοί προτού αποσταλεί οποιαδήποτε εντολή. Πρώτα, η αποστολή εντολών μπορεί να ελεγχθεί χειροκίνητα μέσω του κουμπιού Allow command. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να θέτουμε τιμές για την ισχύ και την συχνότητα να βλέπουμε τις αντίστοιχες τιμές αποστολής και μόνο αν κρίνουμε ότι είναι ικανοποιητικές να επιτρέψουμε την αποστολή τους. Δεύτερος έλεγχος είναι η ρύθμιση του βήματος του df. Δηλαδή ακόμα κι αν δώσουμε στον αντιστροφέα εντολή για πολύ μεγάλη αλλαγή της ισχύος, κατ'έπекταση και πολύ μεγάλη αλλαγή του df, π.χ 1Hz, το πρόγραμμα επιτρέπει μόνο τις προκαθορισμένες τιμές του df που έχουν δοθεί

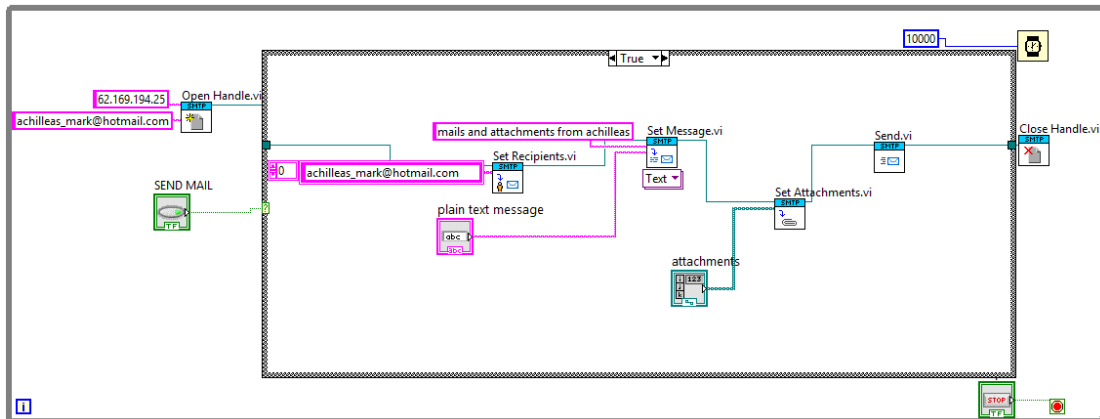
από το χρήστη π.χ 0,2 Hz. Αυτό σημαίνει ότι θα φθάσουμε την επιθυμητή τιμή ισχύος βηματικά δηλαδή πολύ ομαλά για την λειτουργία του αντιστροφέα. Τρίτος έλεγχος αφορά την μέγιστη και την ελάχιστη επιτρεπτή τιμή για την συχνότητα που μπορεί να αποσταλεί, αυτές έχουν ρυθμιστεί 50,6Hz και 49,4Hz αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι αυστηρές όμως μπορούν να μεταβληθούν ανάλογα με την εφαρμογή που υλοποιούμε. Αν υπολογιστούν τιμές εκτός των ορίων, δηλαδή 51Hz και 49Hz αντίστοιχα, τότε οι τιμές που θα αποσταλούν είναι τιμές των ορίων. Ένας ακόμα έλεγχος αφορά τα επικοινωνιακά προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν. Έχει παρατηρηθεί κατά την λειτουργία του προγράμματος ότι ο αντιστροφέας ενώ λειτουργούσε φυσιολογικά και κοντά στις ονομαστικές του τιμές, για ανεξήγητο μέχρι στιγμής λόγο, έστειλε τιμή -1 για όλες τις παραμέτρους με αποτέλεσμα να υπολογίζει τιμές για την αποστολή εντολών εκτός ορίων χωρίς να ανταποκρίνονται όμως στην πραγματικότητα. Για το λόγο αυτό, η τιμή της συχνότητας συγκρίνεται διαρκώς με οριακή τιμή 48Hz και εάν είναι μικρότερη τότε απαγορεύεται η αποστολή εντολής. Τέλος, αν το ρεύμα Iconv υπολογιστεί μεγαλύτερο των 8A και πάλι απαγορεύεται η αποστολή εντολής.

3.4.8 Πρόγραμμα αποστολής ηλεκτρονικών μηνυμάτων



Σχήμα 3.45 Το front panel του MAIL_AND_ATTACHMENT

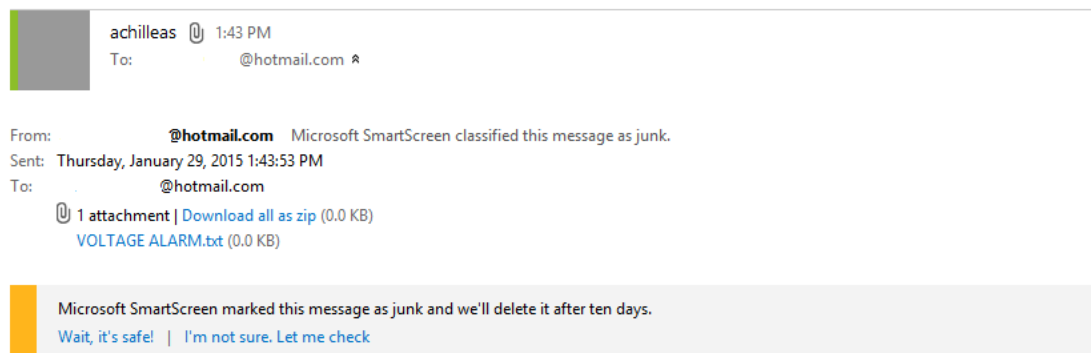
Το πρόγραμμα MAIL_AND_ATTACHMENT έχει τη δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων και συνημμένων αρχείων και βοηθάει στην καλύτερη ενημέρωση του χρήστη για τις μεταβολές στην λειτουργία των προγραμμάτων και της κατάστασης του μικροδικτύου. Υπάρχει η δυνατότητα π.χ. να ενημερώνεται ο χρήστης όταν παρουσιάζονται μη επιτρεπτές τιμές τάσης με το μήνυμα VOLTAGE ALARM και ταυτόχρονα να του αποστέλεται ένα συνημμένο αρχείο με τις τελευταίες μετρήσεις της τάσης. Ρυθμίζοντας την επιλογή attachments διαλέγουμε το αρχείο που θέλουμε να επισυναφθεί και με την ρύθμιση του plain text message το κείμενο που θέλουμε να αποσταλεί. Προς το παρόν η αποστολή του μηνύματος γίνεται χειροκίνητα με το κουμπί SEND MAIL αλλά φυσικά μπορεί να αντικατασταθεί από οποιαδήποτε λογική συνθήκη επιθυμούμε π.χ. υπέρταση στην πλευρά του μικροδικτύου $V_{ac} > 240\text{Volts}$, αποσύνδεση από το δίκτυο, διακοπή ρεύματος και άλλα.



Σχήμα 3.45β Το Block Diagram του προγράμματος MAIL_AND_ATTACHMENT

Το πρόγραμμα υλοποιείται με τη χρήση των συναρτήσεων Open Handle/ Set Recipients/ Set Message/ Set Attachments/ Send/ Close Handle. Η συνάρτηση Open Handle έχει είσοδο την ηλεκτρονική διεύθυνση του αποστολέα και την IP του SMTP SERVER. Η συνάρτηση Set Recipients έχει είσοδο την ηλεκτρονική διεύθυνση του παραλήπτη και η συνάρτηση Set Message το κείμενο που θέλουμε να αποστείλουμε. Προαιρετικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση Set Attachments με είσοδο το συνημμένο κείμενο προς αποστολή. Τέλος, ολοκληρώνεται η επικοινωνία με τη συνάρτηση Close Handle. Για να ενεργοποιηθεί η διαδικασία αυτή πρέπει να πατηθεί το κουμπί SEND MAIL. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το κουμπί SEND MAIL μπορεί να αντικατασταθεί από οποιαδήποτε λογική συνθήκη.

mails and attachments from achilleas



VOLTAGE ALARM

Αυτό το email είναι απαλλαγμένο από ιούς και κακόβουλο λογισμικό, επειδή είναι ενεργή η προστασία avast! Antivirus.
<http://www.avast.com>

Σχήμα 3.46 Το ηλεκτρονικό μήνυμα που αποστέλλεται από το πρόγραμμα MAIL_AND_ATTACHMENT

Τελικά, το ηλεκτρονικό μήνυμα έχει την παραπάνω μορφή.

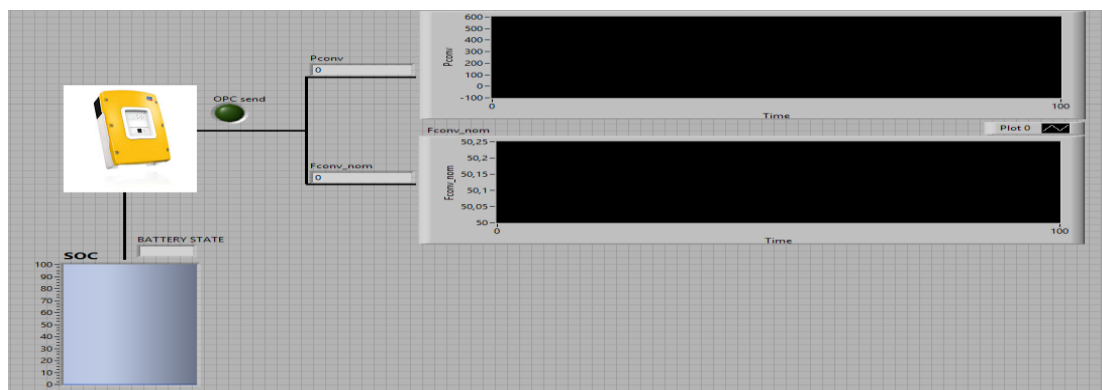
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1 Προγράμμα ελέγχου της ισχύος και της συχνότητας του αντιστροφέα SUNNY ISLAND

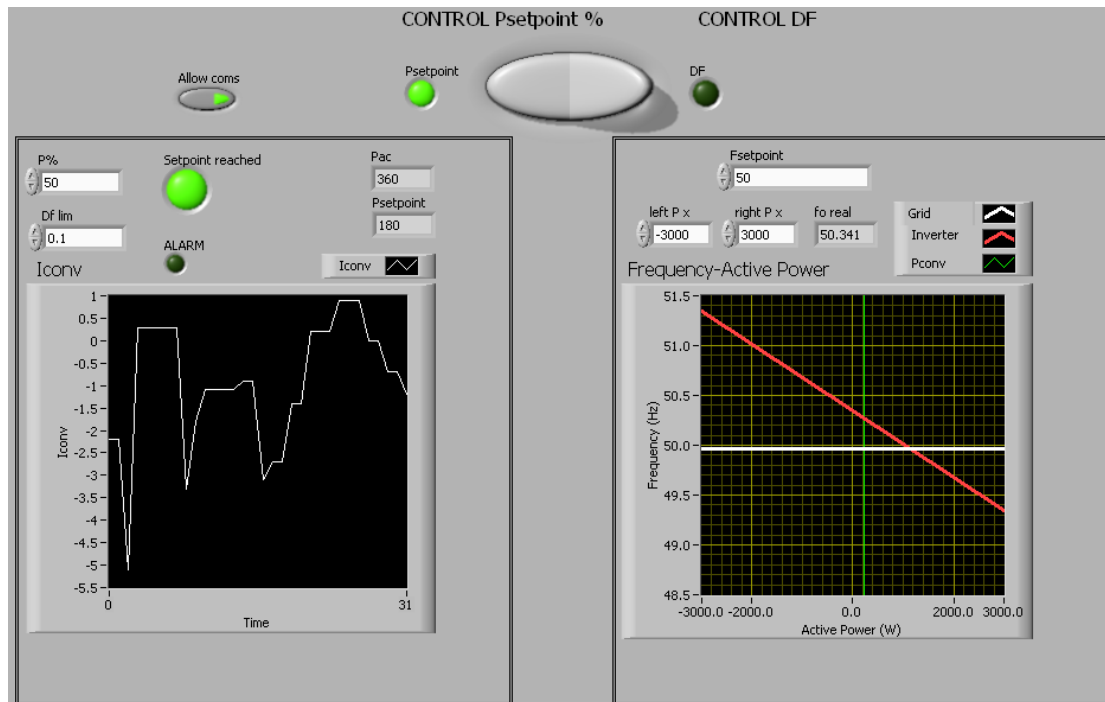
Το πρώτο πρόγραμμα των εφαρμογών είναι το πρόγραμμα ελέγχου ισχύος και συχνότητας αντιστροφέα (XML-RPC-LV_client) που παρουσιάστηκε στη παράγραφο 3.4.7 και έχει την δυνατότητα ρύθμισης απευθείας είτε της συχνότητας λειτουργίας είτε της ισχύος.

4.2 Πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας

Το πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας (CONTROL_P%), όπως θα εξηγηθεί αργότερα με τη βοήθεια του Block Diagram, βασίζει κατά κύριο λόγο την υλοποίησή του στο πρόγραμμα ελέγχου ισχύος και συχνότητας αντιστροφέα (XML-RPC-LV_Client) του SCADA_LAYOUT και έχει την δυνατότητα απορρόφησης ενός ποσοστού της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας καθώς και την απευθείας ρύθμιση της συχνότητας λειτουργίας του αντιστροφέα.

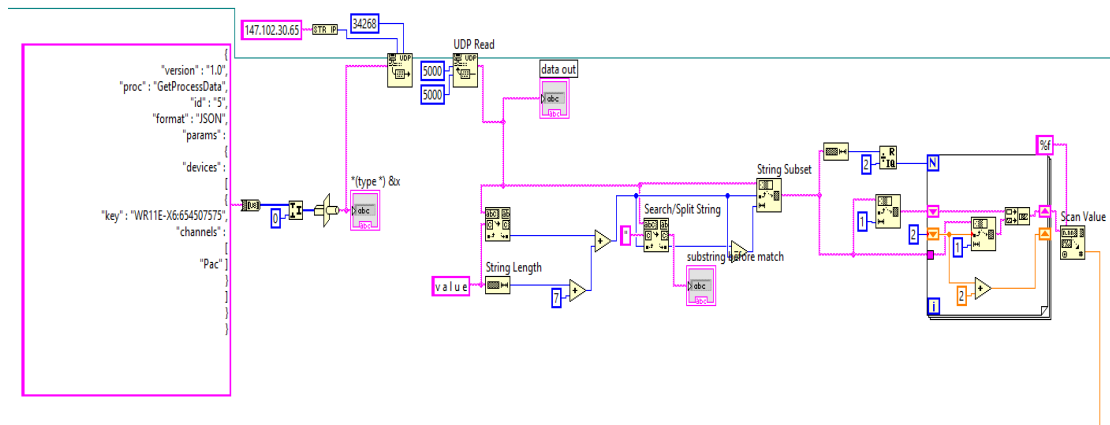


Σχήμα 4.2α Τμήμα του front panel του προγράμματος ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας (CONTROL_P%) στο οποίο φαίνονται κυρίως ο βαθμός φόρτισης των μπαταριών και οι γραφικές παραστάσεις ισχύος και κενού φορτίου



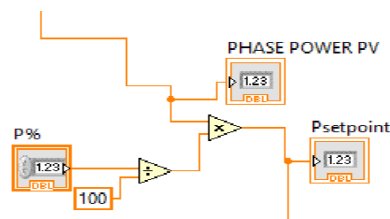
Σχήμα 4.2β Τμήμα του front panel του προγράμματος ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας (CONTROL_P%) στο οποίο φαίνονται κυρίως οι γραφικές παραστάσεις του ρεύματος, καμπυλής στατισμού, συχνότητα λειτουργίας και η ρύθμιση του επιθυμητού ποσοστού ισχύος

Όπως προαναφέρθηκε το πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας (CONTROL_P%) είναι βασισμένο στο πρόγραμμα ελέγχου ισχύος και συχνότητας αντιστροφέα (XML-RPC-LV_Client), το βασικό πρόγραμμα επικοινωνίας με τον αντιστροφέα SUNNY ISLAND. Μέσω του προγράμματος αυτού έχουμε τη δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της ισχύος παραγωγής της Φ/Β γεννήτριας. Π.χ. αν θέλουμε ο αντιστροφέας SUNNY ISLAND να απορροφά το 50% της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας τότε εισάγουμε στο ρυθμιστή P% την τιμή -50. Με την ένδειξη Pac παρατηρούμε τη ισχύ της Φ/Β γεννήτριας και με την ένδειξη Psetpoint την επιθυμητή τιμή ρύθμισης του αντιστροφέα. Οι λοιπές ενδείξεις και έλεγχοι του προγράμματος λειτουργούν με τρόπο όμοιο με το πρόγραμμα XML-RPC-LV_Client.



Σχήμα 4.3 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας (CONTROL_P%) όπου φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο αποστέλεται η πληροφορία για την ισχύ του Φ/Β

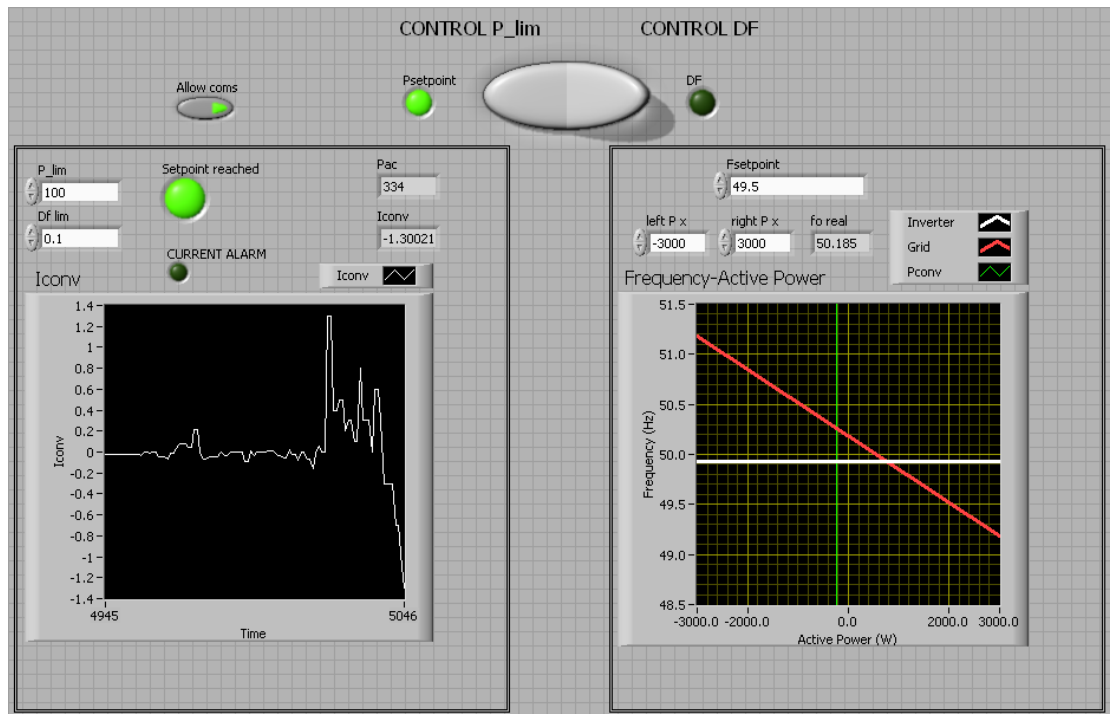
Ο παραπάνω κώδικας μας παρέχει την πληροφορία για την παραγόμενη ισχύ της Φ/Β γεννήτριας μέσω αιτήματος που στέλνουμε στον αντιστροφέα SUNNY BOY. Η υλοποίηση του τμήματος αυτού είναι όμοια με του SUNNY BOY που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 4.4 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας (CONTROL_P%) όπου φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού του επιθυμητού ποσοστού ισχύος

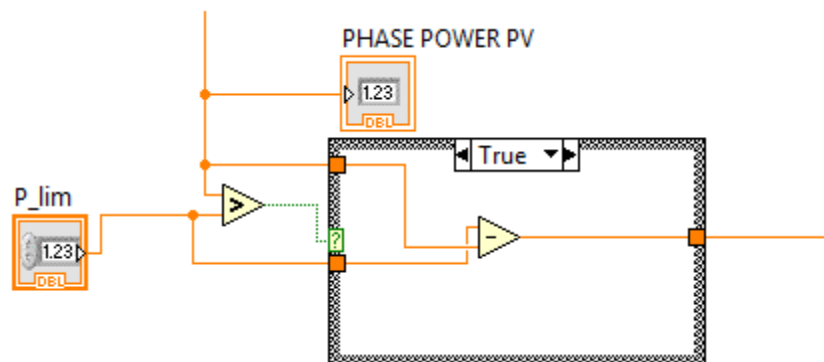
Στη συνέχεια υπολογίζεται το ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας. Τέλος, το υπόλοιπο μέρος του προγράμματος παίρνει ως είσοδο το Psetpoint του παραπάνω βήματος και το υλοποιεί όμοια με το πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα XML-RPC-LV_Client που αναλύθηκε στη παράγραφο 3.4.7.

4.3 Πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα όταν η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας ξεπεράσει δοσμένη ισχύ κατωφλίου



Σχήμα 4.5 Το front panel του προγράμματος ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα όταν η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας ξεπεράσει δοσμένη ισχύ κατωφλίου (CONTROL_P_THRESHOLD)

Με το πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα όταν η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας ξεπεράσει δοσμένη ισχύ κατωφλίου (CONTROL_P_THRESHOLD) έχουμε τη δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα αλλά και απευθείας ρύθμιση της συχνότητας. Συγκεκριμένα, σκοπός του προγράμματος αυτού είναι η απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας όταν αυτή ξεπεράσει την ισχύ κατωφλίου P_lim. Η παραγόμενη ισχύς της Φ/Β γεννήτριας λαμβάνεται όπως και στο προηγούμενο πρόγραμμα από τον αντιστροφέα SUNNY BOY.

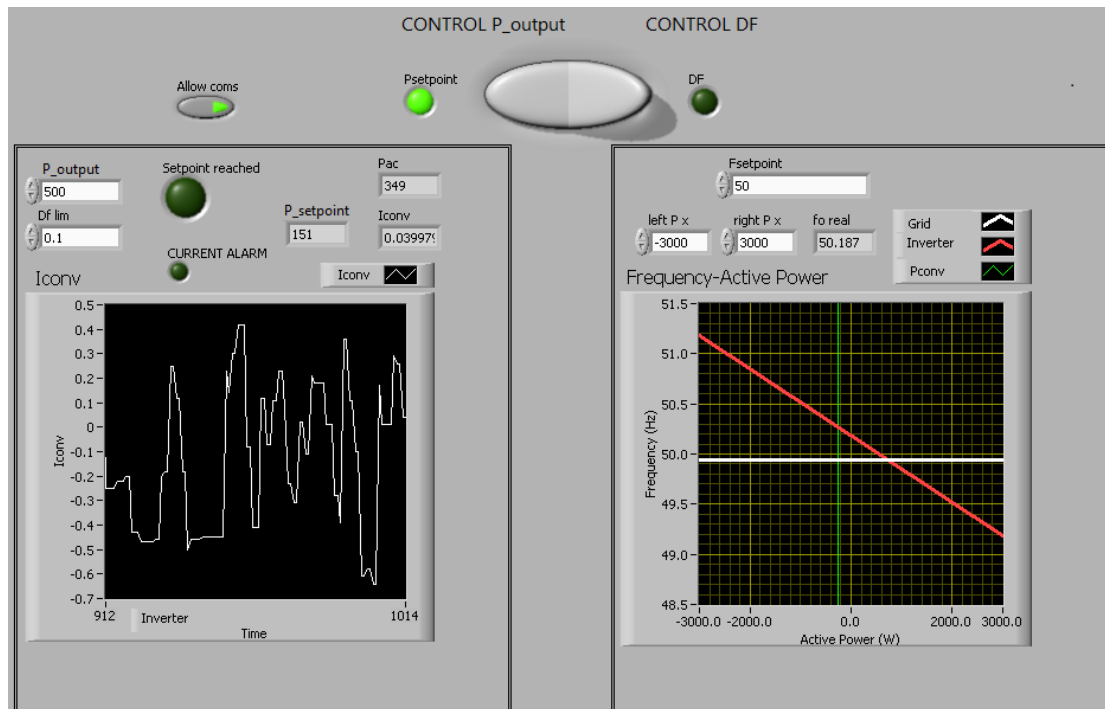


Σχήμα 4.6 Το Block Panel του προγράμματος ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα όταν η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας ξεπεράσει δοσμένη ισχύ κατωφλίου (CONTROL_P_THRESHOLD)

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το παραπάνω πρόγραμμα είναι ο ακόλουθος. Αρχικά, ο χρήστης εισάγει την τιμή της ισχύος που αποτελεί την ισχύ κατωφλίου, το P_lim όπως φαίνεται και παραπάνω από το Block Diagram. Ύστερα, η μετρούμενη ισχύς της Φ/Β γεννήτριας συγκρίνεται με την τιμή κατωφλίου και αν είναι μεγαλύτερη τότε η διαφορά αποστέλλεται ως εντολή ρύθμισης της ισχύος του

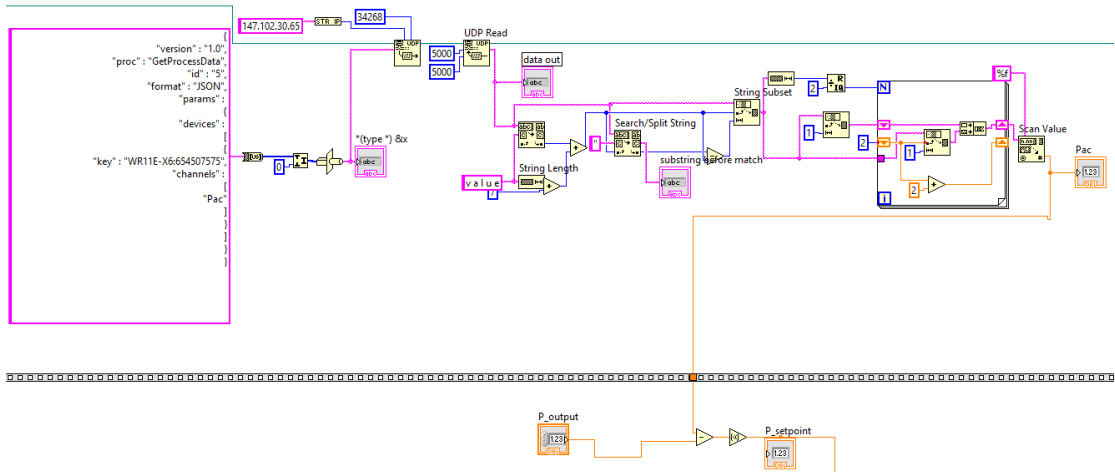
αντιστροφέα. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας είναι μικρότερη της κατωφλίου τότε αποστέλλεται εντολή για ρύθμιση της ισχύος του αντιστροφέα στα 0W. Ο τρόπος ρύθμισης της ισχύος είναι όμοιος με το πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα XML-RPC-LV_Client που αναλύθηκε στη παράγραφο 3.4.7.

4.4 Πρόγραμμα ρύθμισης εξόδου της ισχύος του μικροδικτύου



Σχήμα 4.7 Το front panel του προγράμματος ρύθμισης εξόδου της ισχύος του μικροδικτύου

Η υλοποίηση του προγράμματος αυτού έχει βασιστεί στο πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα (XML-RPC-LV_Client). Η υλοποίηση του είναι σχετικά απλή και βασίζεται στη μέτρηση της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας P_{rn} και σύγκρισή της με την επιθυμητή τιμή ισχύος P_{output} . Η διαφορά των δύο αυτών $P_{setpoint} = P_{output} - P_{rn}$ τιμών αποστέλεται ως εντολή ρύθμιση της ισχύος του αντιστροφέα με την ίδια διαδικασία που υλοποιείται και στο πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας (XML-RPC-LV_Client). Η τιμή της ισχύος του αντιστροφέα λαμβάνεται από τον αντιστροφέα Sunny Boy και όχι από το πολύργανο της Φ/Β γεννήτριας. Αυτό συμβαίνει για να αποφευχθούν σφάλματα κατά την παράλληλη λειτουργία του προγράμματος αυτού και του προγράμματος καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων.



Σχήμα 4.8 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος ρύθμισης εξόδου της ισχύος του μικροδικτύου κατά το οποίο φαίνεται ο τρόπος επικοινωνίας με τον αντιστροφέα Sunny Boy και ο υπολογισμός της ισχύος Psetpoint που αποστέλλεται στον Sunny Island

4.5 Πρόγραμμα ρύθμισης της τάσης του μικροδικτύου

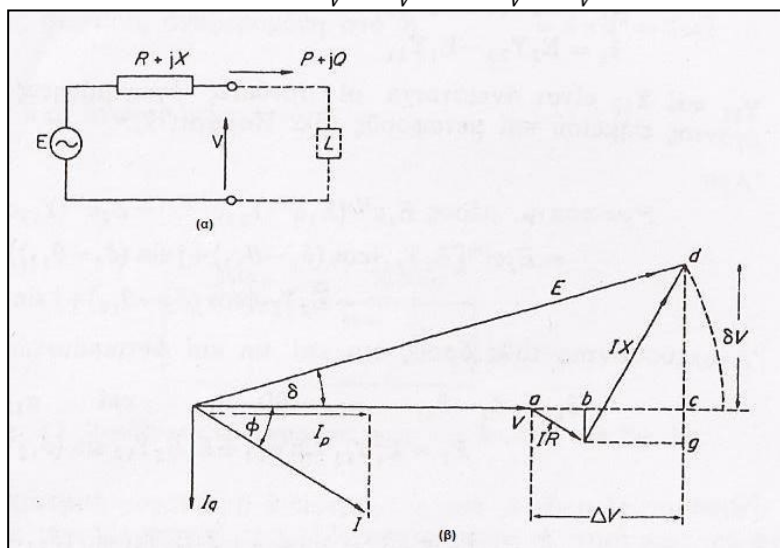
Στην παράγραφο αυτή, θα αναλυθεί το πρόγραμμα που υλοποιήθηκε για τη ρύθμιση της τάσης από την πλευρά του μικροδικτύου. Πρώτα, όμως, θα παρουσιαστεί ο τρόπος υπολογισμού της τάσης ως συνάρτηση της ενεργού και της αέργου ισχύος.

Ένας απλός σύνδεσμος μεταφοράς φαίνεται στο Σχήμα 4.9α

$$E^2 = (V + \Delta V)^2 + \delta V^2$$

$$= (V + RI\cos\phi + XI\sin\phi)^2 + (XI\cos\phi - RI\sin\phi)^2$$

$$E^2 = \left(V + \frac{RP}{V} + \frac{XQ}{V}\right)^2 + \left(\frac{XP}{V} - \frac{RQ}{V}\right)^2$$



Σχήμα 4.9α Διάγραμμα φασικών διανυσμάτων για τη μεταφορά ισχύος μέσα από μία σύνθετη αντίσταση σειράς.

Άρα,

$$\Delta V = \frac{RP+XQ}{V}$$

και

$$\delta V = \frac{XP-RQ}{V}$$

Άν

$$\delta V \ll V + \Delta V$$

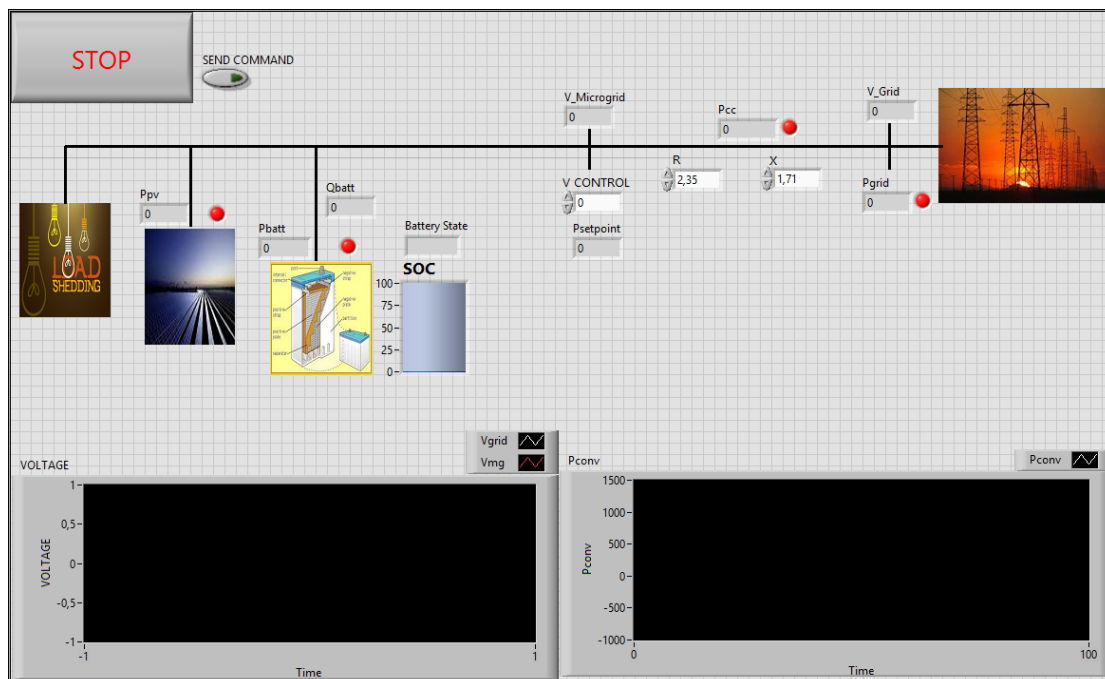
$$E^2 = \left(V + \frac{RP}{V} + \frac{XQ}{V} \right)^2$$

Και

$$E - V = \frac{RP}{V} + \frac{XQ}{V} = \Delta V$$

Άρα η αριθμητική διαφορά μεταξύ των δύο τάσεων δίνεται κατά προσέγγιση το

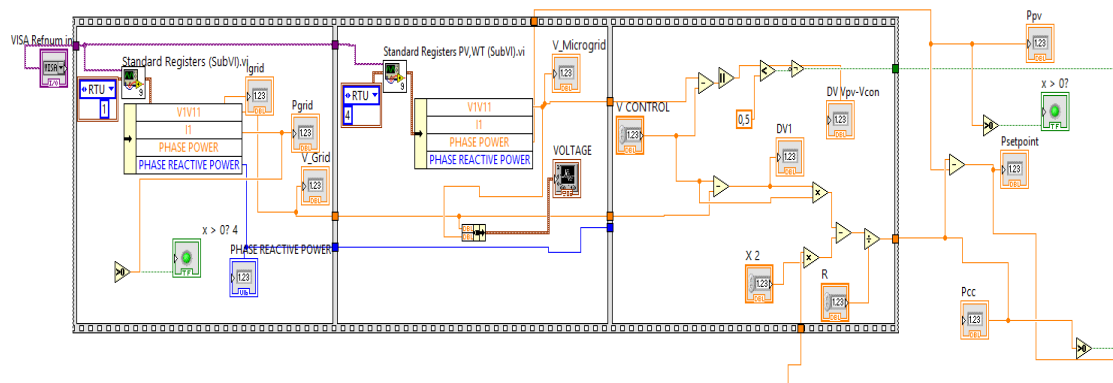
$$\frac{RP}{V} + \frac{XQ}{V}$$



Σχήμα 4.9β Το front panel του προγράμματος ρύθμισης της τάσης του μικροδικτύου

Το πρόγραμμα ρύθμισης της τάσης του μικροδικτύου (V_Control) είναι βασισμένο όπως και τα προηγούμενα στο πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα Sunny Island. Δηλαδή, η βασική λειτουργία του προγράμματος συνίσταται στο υπολογισμό μίας επιθυμητής τιμής για την ισχύ που θέλουμε να απορροφά/παράγει ο αντιστροφέας που στη συνέχεια η μετατροπή της με τρόπο όμοιο με το πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα

Sunny Island. Το φαινόμενο που έρχεται να αντιμετωπίσει το πρόγραμμα αυτό είναι η ανύψωση της τάσης στο ζυγό του μικροδικτύου κυρίως λόγω της παραγωγής ενέργειας από τη Φ/Β γεννήτρια. Η διαφορά τάσης μεταξύ του ζυγού του μικροδικτύου και του ζυγού του δικτύου και ενώ μεσολαβεί γραμμή με ωμική αντίσταση $R=2,35\Omega$ και επαγωγική αντίσταση $X=1,71\Omega$ μπορεί να φθάσει τα 10V, κάτι το οποίο εγκυμονεί κινδύνους για τυχόν βλάβες στις διάφορες συσκευές και διατάξεις στη πλευρά του μικροδικτύου δεδομένου ότι από την πλευρά της τάσης υπάρχουν πολλές διακυμάνσεις. Για λόγους απλότητας στους υπολογισμούς εδώ αλλά και στα πειράματα που θα αναλυθούν παρακάτω παραλείπεται η ισχύς που απορροφούν τα φορτία. Έτσι όπως φαίνεται καθαρά και από το front panel του προγράμματος η ισχύ του αντιστροφέα μπαταριών δίνεται από τη σχέση $P_{\text{batt}}=P_{\text{rv}}-P_{\text{cc}}$. Τώρα, χρησιμοποιώντας την προσεγγιστική σχέση $DV=(P_{\text{cc}}*R+Q*X)/V_{\text{control}}$ $\Rightarrow P_{\text{cc}}=(DV*V_{\text{control}}-Q*X)/R$, όπου $DV=V_{\text{control}}-V_{\text{grid}}$ και V_{control} η επιθυμητή τάση που εισάγει ο χρήστης, γίνεται ο υπολογισμός της ισχύος P_{cc} που ρέει από το μικροδίκτυο στο δίκτυο.



Σχήμα 4.10 Τμήμα του Block Diagram του προγράμματος ρύθμισης της τάσης του μικροδικτύου στο οποίο φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού της επιθυμητής ισχύος P_{cc} και ο τρόπος λήψης των μετρήσεων από τα πολύоргана

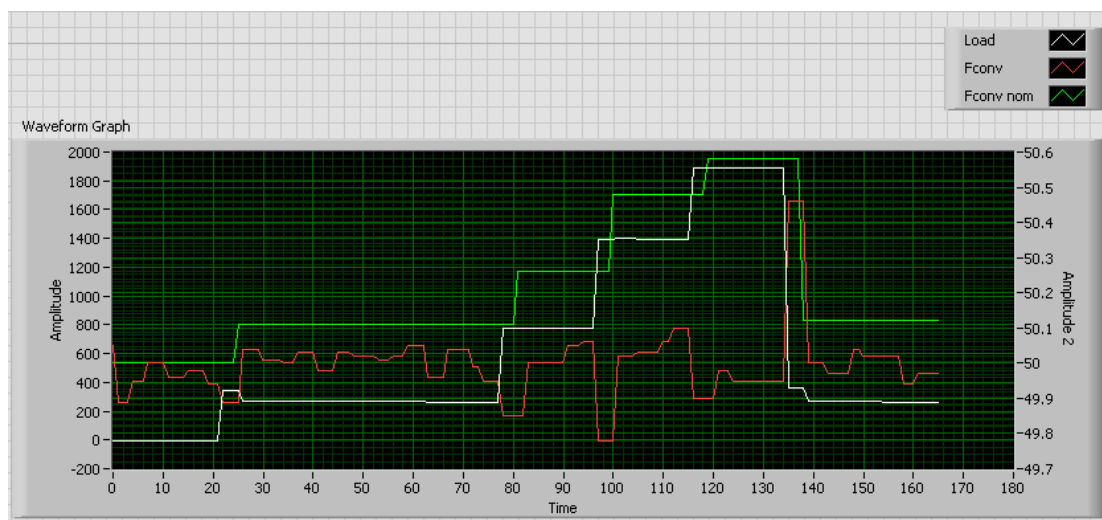
Παραπάνω φαίνεται ο τρόπος με το οποίο υπολογίζεται η ισχύς P_{cc} . Η ενεργός ισχύς, η άεργος ισχύς και η τάση του δικτύου λαμβάνονται από το πολύόργανο του δικτύου μέσω του υποπρογράμματος Standard Registers που έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Με όμοιο τρόπο λαμβάνουμε και τις μετρήσεις της ισχύος και της τάσης του μικροδικτύου από το πολύόργανο της Φ/Β γεννήτριας. Τέλος, η ισχύς P_{batt} αποστέλεται στο αντιστροφέα ως εντολή ρύθμισης ισχύος και υλοποιείται με τρόπο όμοιο με του προγράμματος ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα (XML-RPC-LV_Client).

4.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.6.1 Εφαρμογή 1. Ρύθμιση της συχνότητας λειτουργίας του αντιστροφέα SUNNY ISLAND κατά την απομονωμένη λειτουργία

Στην πρώτη εφαρμογή μελετήθηκε η συμπεριφορά του αντιστροφέα SUNNY ISLAND που λειτουργεί σε απομονωμένη λειτουργία όταν του επιβάλλεται μία καμπύλη φορτίου. Για τη υλοποίηση της καμπύλης φορτίου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ελέγχου πηγών και φορτίων (MANUAL_LOAD_CONTROL) που έχει

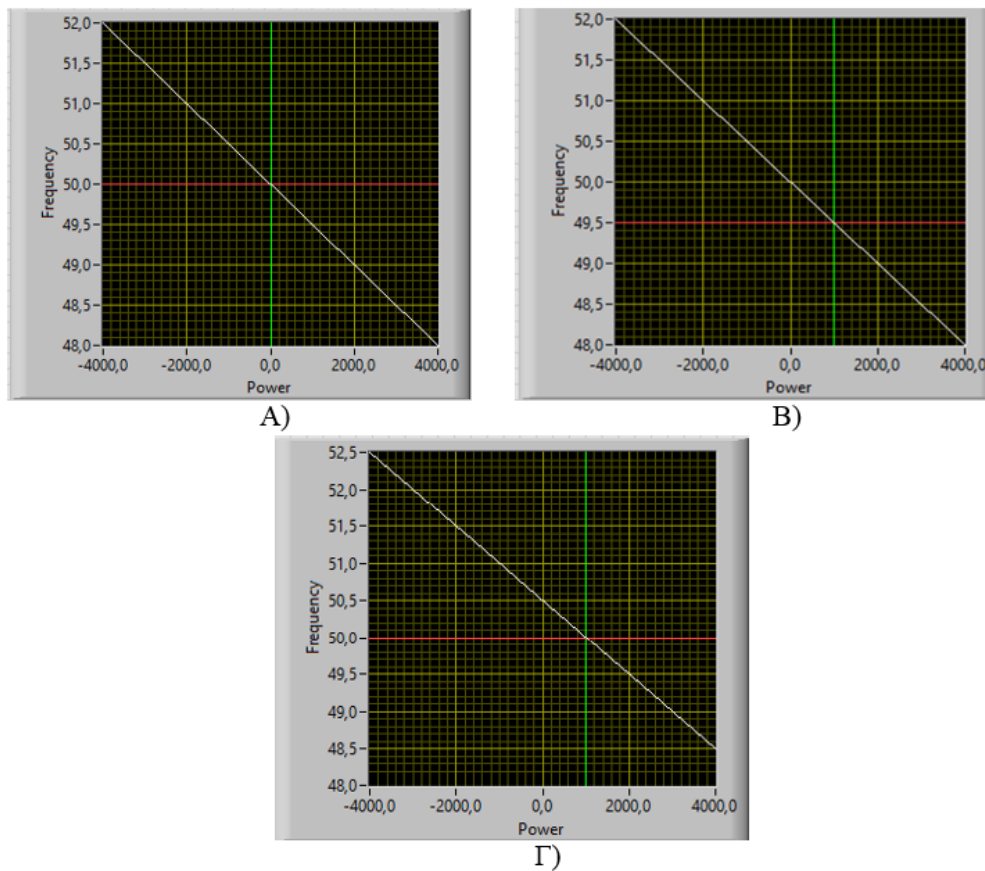
περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η καμπύλη φορτίου (λευκή γραμμή), όπως θα δούμε παρακάτω, έχει φορτία 600W, 1200W, 1800W και διάρκειας 20 sec το καθένα. Παρ'όλα αυτά, σε όλα τα φορτία παρουσιάζεται μία διαφορά 250W που οφείλεται στον ανεμιστήρα του εργαστηρίου για την ψύξη των φορτίων. Η λήψη των μετρήσεων της ισχύος, της συχνότητας λειτουργίας (κόκκινη γραμμή) και της συχνότητας κενού φορτίου Fconv_nom (πράσινη γραμμή), που αφορά τη εσωτερική καμπύλη στατισμού Droop_f του αντιστροφέα, υλοποιείται με το πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα (XML-RPC-LV_Client) που και αυτό έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 4.11 Γραφικές παραστάσεις συχνότητας λειτουργίας, συχνότητας κενού φορτίου και ισχύος φορτίων

Στα πρώτα 20sec δεν έχουν ενεργοποιηθεί καθόλου φορτία και όπως παρατηρούμε η συχνότητα κενού φορτίου Fconv_nom είναι ρυθμισμένη σταθερά στα 50Hz ενώ η συχνότητα λειτουργίας Fconv παρουσιάζει μία διακύμανση γύρω από τα 49,95Hz. Στη συνέχεια, στα 20sec, ενεργοποιείται ο ανεμιστήρας των 250W. Η συχνότητα λειτουργίας Fconv πέφτει στα 49,9Hz και αμέσως αποστέλλεται εντολή για ρύθμιση της συχνότητας κενού φορτίου Fconv_nom στα 50,1Hz έτσι ώστε να επανέλθει η συχνότητα λειτουργίας στα 50Hz. Δηλαδή, στη πραγματικότητα ανεβάσαμε την εσωτερική καμπύλη στατισμού του αντιστροφέα κατά 0,1Hz για να συνεχίσει να έχει συχνότητα λειτουργίας τα 50Hz. Στα 80sec ενεργοποιείται το πρώτο φορτίο των 600W, έτσι το συνολικό φορτίο γίνεται 800W, και η συχνότητα λειτουργίας του αντιστροφέα παρουσιάζει μεγαλύτερη πτώση από ότι προηγουμένως και φτάνει τα 49,85Hz. Η συχνότητα κενού φορτίου Fconv_nom ρυθμίζεται στα 50,3Hz περίπου και αμέσως μετά η συχνότητα λειτουργίας Fconv επανέρχεται στα 50Hz. Όμοια με το προηγούμενο το φορτίο φτάνει τα 1400W και η συχνότητα λειτουργίας Fconv πέφτει στα 49,8Hz. Η συχνότητα κενού φορτίου Fconv_nom μεταβάλεται στα 50,5Hz περίπου και η συχνότητα λειτουργίας Fconv επανέρχεται στα 50Hz. Ύστερα, προσθέτουμε και το τελευταίο φορτίο και φτάνουμε τα 2000W με την συχνότητα λειτουργίας Fconv να πέφτει στα 49,9Hz. Η συχνότητα κενού φορτίου Fconv_nom φτάνει στο υψηλότερο σημείο των 50,6Hz και η συχνότητα λειτουργίας επανέρχεται στα 50Hz. Τέλος, γίνεται η αντίστροφη διαδικασία όταν αφαιρούνται όλα τα φορτία πλην του ανεμιστήρα, με συχνότητα λειτουργίας να ανυψώνεται στα 50,45Hz. Η Fconv_nom μειώνεται απότομα στα 50,1Hz και τελικά η συχνότητα λειτουργίας επανέρχεται στα 50Hz.

Με την παραπάνω εφαρμογή γίνεται κατανοητή η εσωτερική λειτουργία του αντιστροφέα που βασίζεται στη χρήση των καμπυλών στατισμού. Σύμφωνα με την κλίση αυτής της χαρακτηριστικής εξίσωσης η γεννήτρια ανταποκρίνεται στις μεταβολές της ενεργού ισχύος του δικτύου μεταβάλλοντας την συχνότητά της. Σε ένα σύστημα γεννήτριας-φορτίου, μία αύξηση του φορτίου, εφόσον δε συμβαδίζει με αντίστοιχη αύξηση της τροφοδότησης της μηχανής, τροφοδοτείται από την κινητική ενέργεια των στρεφόμενων μερών της και μεταβάλλει την ταχύτητα της γεννήτριας. Η μείωση των στροφών της μηχανής αντιστοιχεί στο ρυθμό παροχής της ενέργειας, η οποία ισούται με την αύξηση του φορτίου. Δηλαδή, όταν η γεννήτρια αυξάνει την ενεργό ισχύ εξόδου της, υπάρχει η τάση να μειωθούν οι στροφές περιστροφής της, οπότε μειώνεται και η συχνότητα εξόδου όπως φαίνεται παρακάτω.



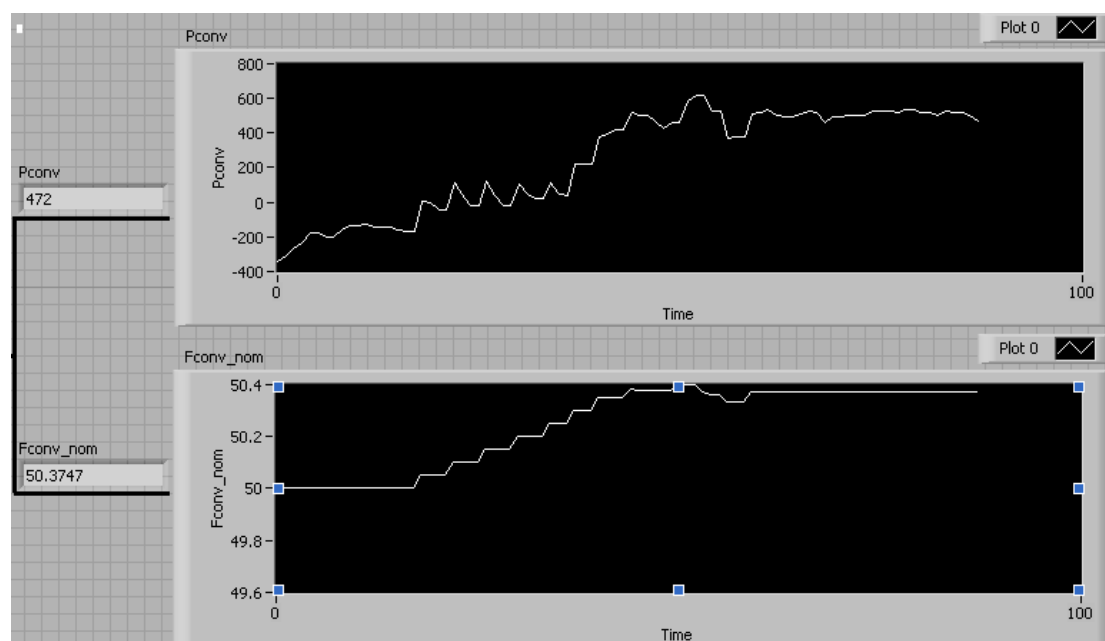
Σχήμα 4.12 Τα τρία στάδια κατά ρύθμιση καμπύλης στατισμού, Α) αρχική κατάσταση, Β) αύξηση του φορτίου και ανάλογη πτώση της συχνότητας λειτουργίας και Γ) αύξηση της συχνότητας κενού φορτίου επαναφορά της συχνότητας λειτουργίας στα 50Hz

Επειδή είναι επιθυμητό να διατηρηθεί σταθερή η συχνότητα ο αντιστροφέας αλλάζει την συχνότητα κενού φορτίου F_{conv_nom} μετατοπίζοντας την καμπύλη προς τα πάνω. Η αντίστροφη διαδικασία συμβαίνει όταν μειώνεται η ισχύς, δηλαδή η συχνότητα λειτουργίας F_{conv} αυξάνεται και ύστερα μειώνεται η συχνότητα κενού φορτίου F_{conv_nom} μετατοπίζοντας την καμπύλη προς τα κάτω.

4.6.2 Εφαρμογή 2. Μελέτη της συμπεριφοράς του αντιστροφέα SUNNY ISLAND όταν του επιβάλλεται ρύθμιση της ισχύος του

Στη δεύτερη εφαρμογή χρησιμοποιείται το πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα (XML-RPC-LV_Client) και μελετάται η συμπεριφορά του αντιστροφέα SUNNY ISLAND όταν του επιβάλλεται ρύθμιση της ισχύος του (Pconv) σε διαφορετικές τιμές επιτρεπτών βημάτων για τη ρύθμιση της συχνότητας (DF) και διαφορετικούς χρονισμούς για την αποστολή των εντολών ρύθμισης (millisecond multiple). Ο τρόπος φόρτισης των μπαταριών είναι float, οι μπαταρίες είναι φορτισμένες στο 75% και σε κανονική κατάσταση N1. Ο αντιστροφέας είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο και απορροφά ισχύ περίπου 500W. Και στις τέσσερις περιπτώσεις που παρουσιάζονται παρακάτω ζητείται από τον αντιστροφέα να παρέχει ισχύ 500W.

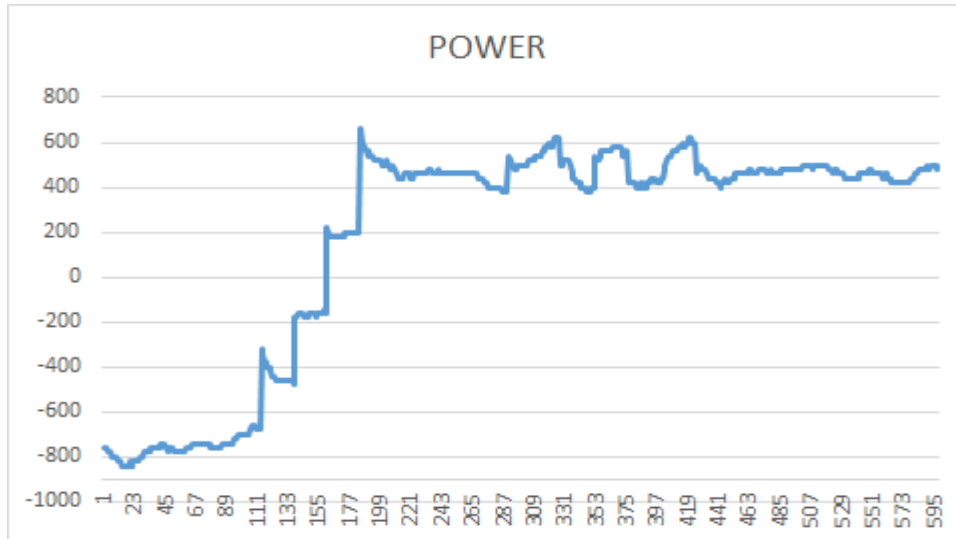
Στην πρώτη περίπτωση, το μέγιστο επιτρεπτό βήμα για τη ρύθμιση της συχνότητας είναι 0,05Hz και οι εντολές ρύθμισης αποστέλλονται ανά 7sec.



Σχήμα 4.13 Γραφικές παραστάσεις ισχύος λειτουργίας και συχνότητας κενού φορτίου του αντιστροφέα όταν βήμα ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,05Hz και οι εντολές ρύθμισης αποστέλλονται ανά 7sec

Στην περίπτωση αυτή, παρατηρούμε δυσκολία στην επίτευξη της επιθυμητής ισχύος και αυτό οφείλεται όπως φαίνεται και από τη γραφική της ισχύος στους εξής λόγους: Πρώτον, στην ενδογενή τάση του αντιστροφέα να επιστρέψει στην προηγούμενη κατάσταση φόρτισης. Δεύτερον, στο πολύ μικρό βήμα ρύθμισης της συχνότητας λειτουργίας. Και τρίτον, στο μεγάλο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της αποστολής των εντολών ρύθμισης. Παρατηρούμε ότι στο χρονικό αυτό διάστημα ο αντιστροφέας μειώνει την ισχύ του κατά 150W, δηλαδή όσο σχεδόν και βήμα αύξησης της ισχύος. Η επίτευξη του στόχου υλοποιείται τελικά σε 12 περίπου βήματα και η συχνότητα κενού φορτίου σταθεροποιείται στα 50,37Hz.

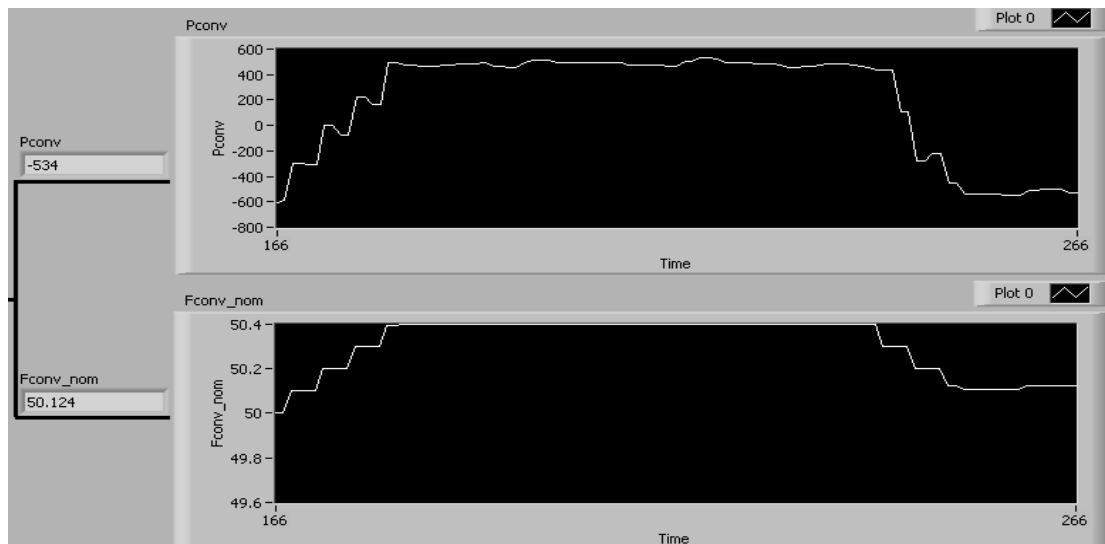
Στην δεύτερη περίπτωση, το μέγιστο επιτρεπτό βήμα για την ρύθμιση της συχνότητας ρυθμίζεται στα 0,1Hz και οι εντολές αποστέλλονται ανά 7sec. Η γραφική παράσταση της ισχύος που παρουσιάζεται παρακάτω είναι από τις μετρήσεις που λαμβάνονται από το πολυόργανο των μπαταριών με δειγματοληψία 1sec.



Σχήμα 4.14 Γραφική παράσταση της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα όταν βήμα ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,1Hz και οι εντολές ρύθμισης αποστέλλονται ανά 7sec με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

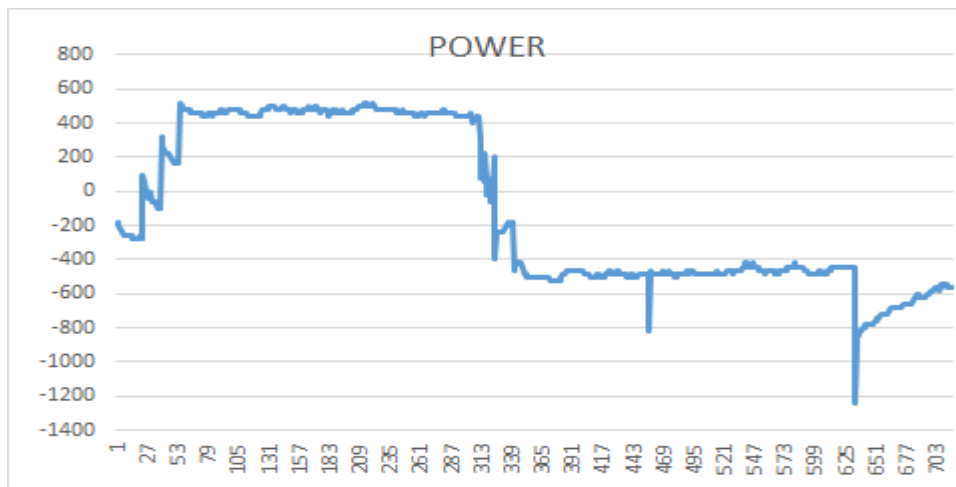
Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε αισθητή βελτίωση της γραφικής της ισχύος. Λόγω του μεγαλύτερου βήματος της επιτρεπτής ρύθμισης της συχνότητας ξεπερνιέται η ενδογενής τάση του αντιστροφέα να επιστρέψει στην προηγούμενη κατάσταση και έτσι στα πρώτα 5 βήματα επιτυγχάνεται η επιθυμητή ισχύς και στα επόμενα 4 βήματα σταθεροποιείται κοντά στα 500W. Δηλαδή σε 9 βήματα συνολικά επιτυγχάνουμε την επιθυμητή ισχύ.

Στην τρίτη περίπτωση, το μέγιστο επιτρεπτό βήμα της ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,1Hz και οι εντολές αποστέλλονται ανά 4sec. Στην περίπτωση αυτή δίνονται δύο επιθυμητές τιμές ισχύος. Η πρώτη για παροχή ισχύος 500W και η δεύτερη για απορρόφηση ισχύος 500W.



Σχήμα 4.15 Γραφικές παραστάσεις ισχύος λειτουργίας και συχνότητας κενού φορτίου του αντιστροφέα όταν βήμα ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,1Hz και οι εντολές ρύθμισης αποστέλλονται ανά 4sec

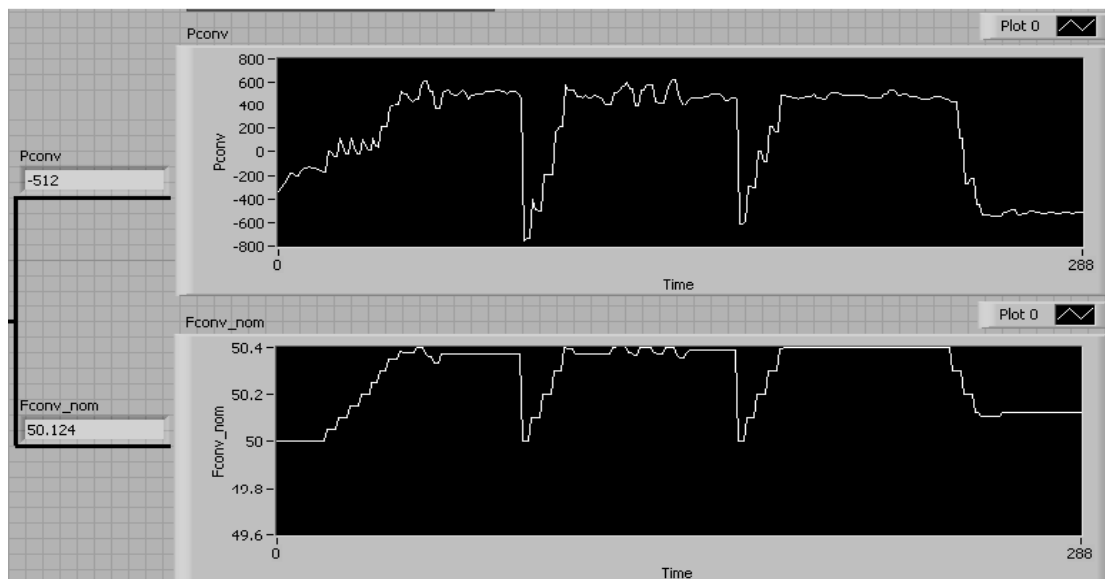
Η γραφική παράσταση της ισχύος που παρουσιάζεται παρακάτω είναι από τις μετρήσεις που λαμβάνονται από το πολυόργανο των μπαταριών με δειγματοληψία 1sec.



Σχήμα 4.16 Γραφική παράσταση της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα όταν το βήμα ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,1Hz και οι εντολές ρύθμισης αποστέλλονται ανά 4sec με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Η ρύθμιση της ισχύος στην περίπτωση αυτή είναι απόλυτα ικανοποιητική και κατά την παροχή ισχύος αλλά και κατά την απορρόφηση καθώς επιτυγχάνεται με το βέλτιστο αριθμό βημάτων. Οι επιθυμητοί στόχοι επιτυγχάνονται σε 4 μόλις βήματα και έτσι θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι η ρύθμιση του μέγιστου επιτρεπτού βήματος για τη συχνότητα στα 0,1Hz και της αποστολής εντολών ρύθμισης ανά 4sec είναι οι πλέον κατάλληλες.

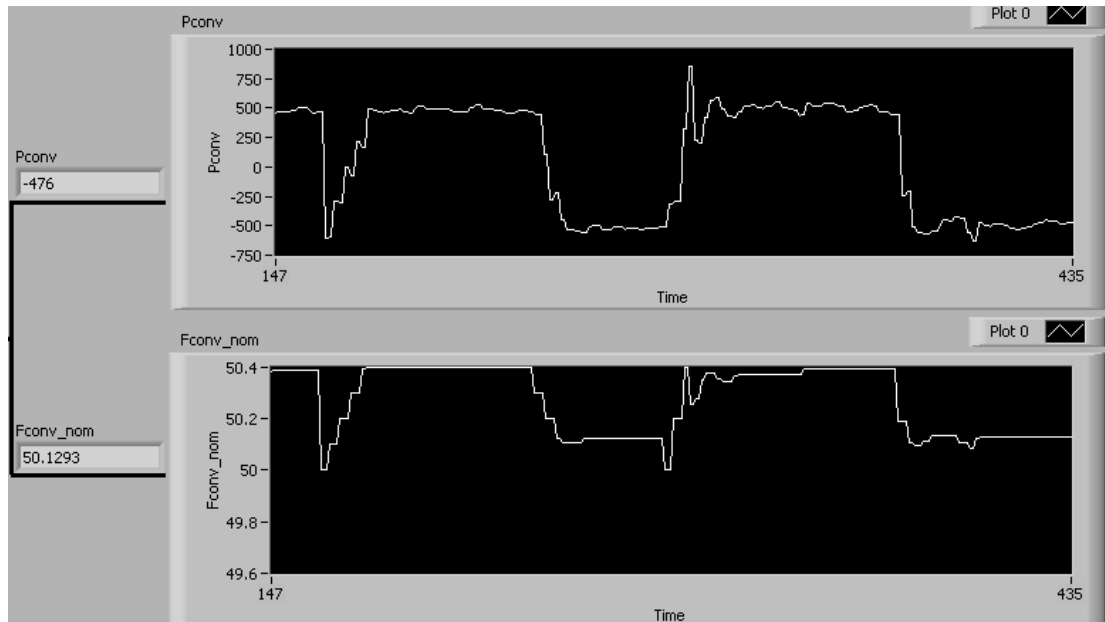
Παρακάτω φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις ισχύος και συχνότητας και των τριών παραπάνω περιπτώσεων.



Σχήμα 4.17 Γραφικές παραστάσεις ισχύος λειτουργίας και συχνότητας κενού φορτίου του αντιστροφέα συνολικά και στα τρία προηγούμενα πειράματα

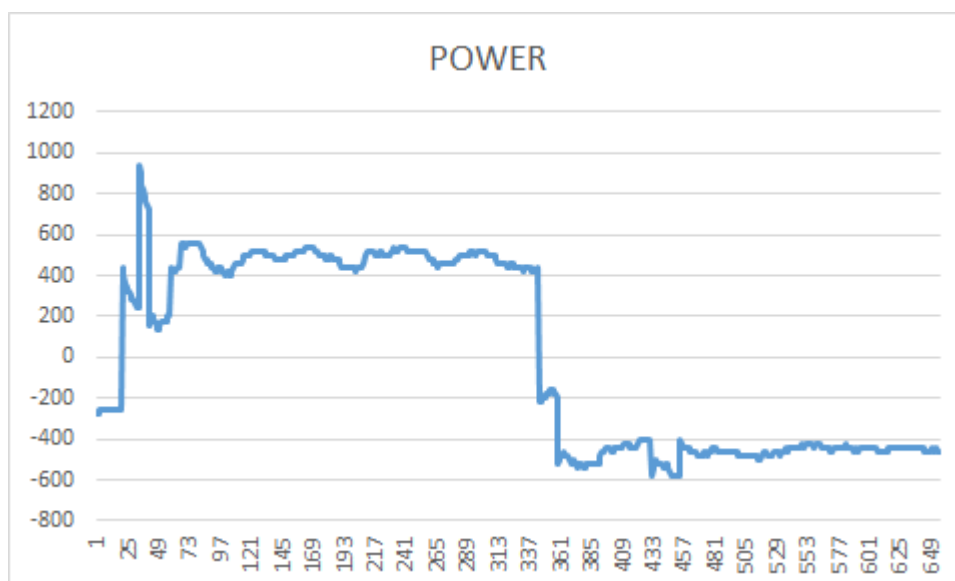
Από τα παραπάνω είναι εμφανής η βελτίωση της γραφικής παραστασης της ισχύος καθώς επιτυγχάνεται η επιθυμητή ισχύς σε σύντομο χρονικό διάστημα και με πολύ ομαλό τρόπο.

Στην τέταρτη περίπτωση, το μέγιστο επιτρεπτό βήμα ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,2Hz και οι εντολές αποστέλλονται ανά 4sec. Παρακάτω φαίνεται η γραφική παράσταση ισχύος και συχνότητας της τρίτης και της τέταρτης περίπτωσης.



Σχήμα 4.18 Γραφικές παραστάσεις ισχύος λειτουργίας και συχνότητας κενού φορτίου του αντιστροφέα στην τρίτη και τέταρτη περίπτωση

Η γραφική παράσταση της ισχύος που παρουσιάζεται παρακάτω είναι από τις μετρήσεις που λαμβάνονται από το πολυόργανο των μπαταριών με δειγματοληψία 1sec.



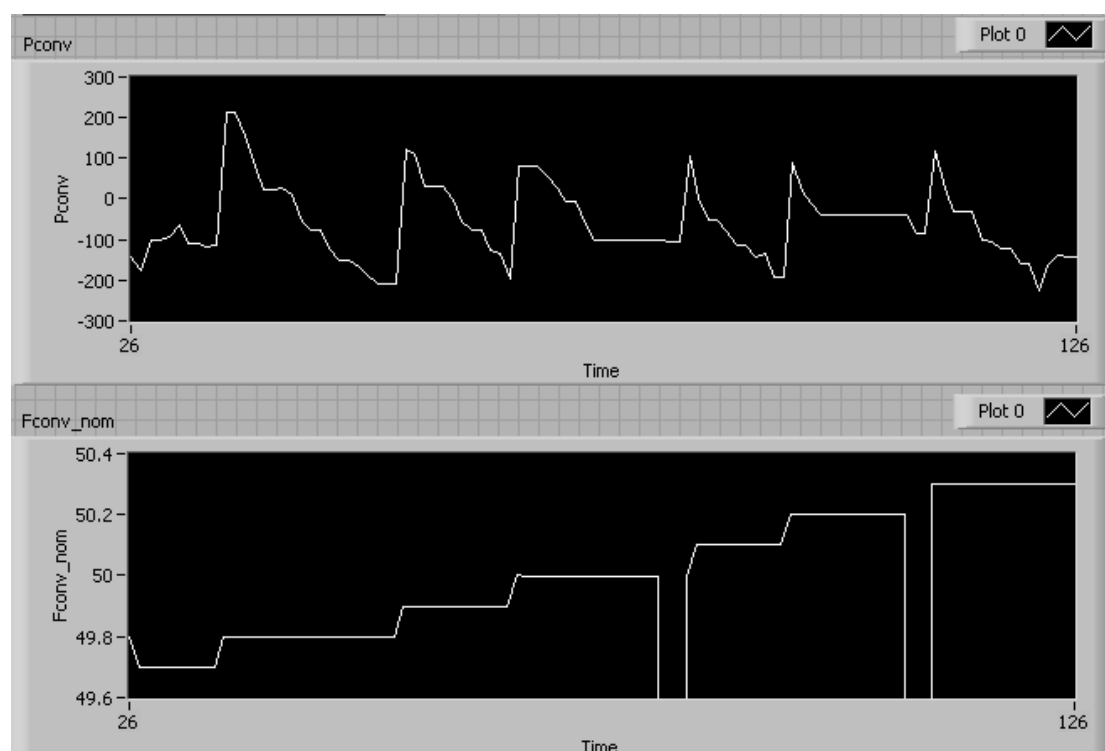
Σχήμα 4.19 Γραφική παράσταση της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα όταν το βήμα ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,2Hz και οι εντολές ρύθμισης αποστέλλονται

ανά 4sec με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Στην περίπτωση αυτή, ενώ η επιθυμητή τιμή ισχύος προσεγγίζεται σε 2 βήματα παρατηρείται μεγάλη διακύμανση γύρω από την τιμή αυτή και τελικά επιτυγχάνεται σε 8 βήματα. Η διακύμανση πιθανότατα οφείλεται στο μεγάλο επιτρεπτό βήμα ρύθμισης της συχνότητας. Η αντίδραση του αντιστροφέα είναι πιο ομαλή κατά την απορρόφηση ισχύος και η επιθυμητή τιμή ισχύος επιτυγχάνεται σε 5 βήματα. Θα περιμέναμε ίσως να αντιδράσει με τον ίδιο τρόπο όπως και κατά την παροχή ισχύος, δηλαδή με μεγάλη διακύμανση γύρω από τα -500W. Όπως όμως παρατηρείται από την αρχή, ο αντιστροφέας έχει την τάση, στην παρούσα κατάσταση, να απορροφά ισχύ κοντά στα -400W. Κατά συνέπεια, αντιδρά πιο ομαλά αφού η ζητούμενη τιμή ισχύος είναι κοντά τιμή ισχύος που ο ίδιος ο αντιστροφέας «θέλει» να λειτουργήσει.

Στα πλαίσια της δεύτερης εφαρμογής χρησιμοποιείται ξανά το πρόγραμμα ρύθμισης ισχύος και συχνότητας του αντιστροφέα (XML-RPC-LV_Client) και μελετάται η συμπεριφορά του αντιστροφέα όταν ο τρόπος φόρτισης είναι float, οι μπαταρίες είναι φοτισμένες κατά 80% βρίσκονται όμως σε κατάσταση υπερφόρτισης.

Στην παρούσα κατάσταση ο αντιστροφέας απορροφά ισχύ 100W και ζητείται να λειτουργήσει σε κατάσταση παροχής ισχύος 500W με επιτρεπτό βήμα για την αλλαγή συχνότητας 0,1Hz και χρόνος αποστολής εντολών ρύθμισης της ισχύος 7sec.



Σχήμα 4.20 Γραφικές παραστάσεις ισχύος λειτουργίας και συχνότητας κενού φορτίου του αντιστροφέα όταν βήμα ρύθμισης της συχνότητας είναι 0,1Hz, οι εντολές ρύθμισης αποστέλλονται ανά 7sec και η κατάσταση φόρτιση είναι 80%

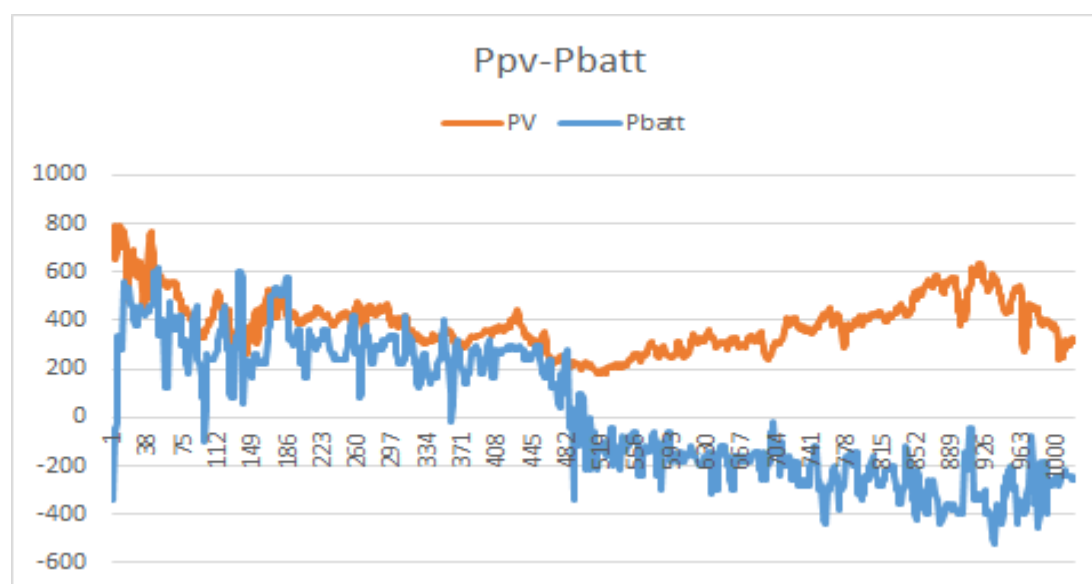
Όπως φαίνεται παραπάνω η αρχική συχνότητα κενού φορτίου είναι 49,7Hz και ισχύς -150W. Στην εφαρμογή αυτή, ενώ η συχνότητα κενού φορτίου αυξάνεται διαρκώς και έτσι αναμένουμε και ανάλογη αύξηση της ισχύος, παρατηρείται ότι, η ισχύς λειτουργίας, εξαιρώντας το πρώτο βήμα αύξησης, παρουσιάζεται διαρκώς

μειώμενη φθάνοντας τελικά στην αρχική ισχύ των -150W. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, ότι ο αντιστροφέας προλαβαίνει να επαναφέρει την ισχύ λειτουργίας του στα -150 σχεδόν σε όλα τα βήματα εντολών. Φυσικά, η επιθυμητή τιμή των 500W δε επιτυγχάνεται ποτέ. Μπορούμε να συμπεράνουμε τελικά ότι η λειτουργία του αντιστροφέα όταν αυτός βρίσκεται σε κατάσταση O (Overcharge) δηλαδή σε κατάσταση υπερφόρτισης δεν είναι ελέγξιμη. Τα κενά που παρουσιάζονται στη γραφική παράσταση της συχνότητας κενού φορτίου οφείλονται σε επικοινωνιακά σφάλματα του αντιστροφέα. Παρ'όλα αυτά, η διεξαγωγή του πειράματος συνεχίζεται κανονικά και αυτό οφείλεται, όπως εξηγήθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, στη μη ενεργοποίηση των εντολών ρύθμισης της συχνότητας κενού φορτίου όταν η μέτρηση της συχνότητας από τον αντιστροφέα είναι μικρότερη των 48Hz.

4.6.3 Εφαρμογή 3. Απορρόφηση ενός ποσοστού της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας από τον αντιστροφέα SUNNY ISLAND

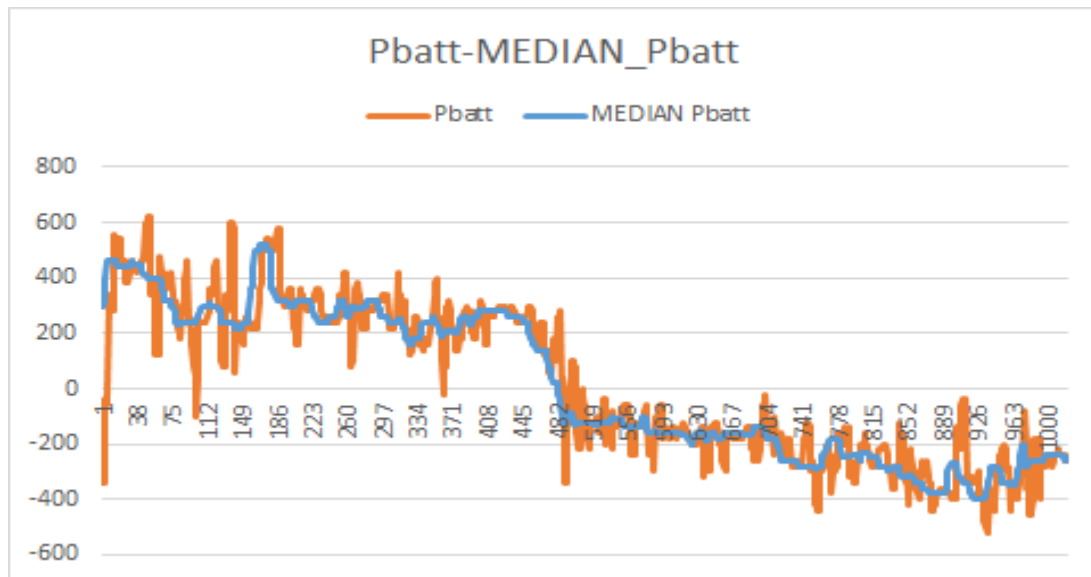
Στην τρίτη εφαρμογή χρησιμοποιείται το πρόγραμμα ρύθμισης της ισχύος του αντιστροφέα ως ποσοστό της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας (CONTROL_P%) και παρατηρείται η αντίστοιχη ρύθμιση της ισχύος του αντιστροφέα. Στην εφαρμογή αυτή ο αντιστροφέας πρώτα παράγει και ύστερα απορροφά το 70% της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας.

Παρακάτω φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας και της ισχύος των μπαταριών όπως αυτές καταγράφονται από τα αντίστοιχα πολυόργανα ανά 1sec.



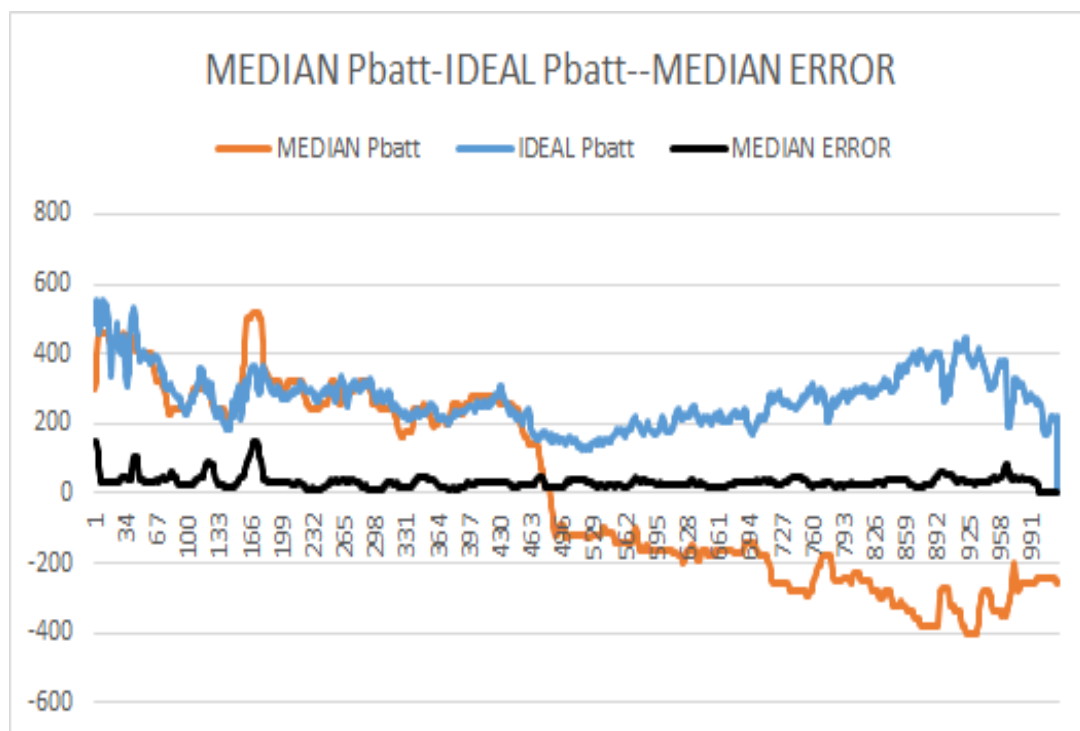
Σχήμα 4.21 Γραφικές παραστάσεις της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα και της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Παρακάτω φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις της πραγματικής ισχύος του αντιστροφέα των μπαταριών και της διαμέσου της ισχύος του αντιστροφέα των μπαταριών.



Σχήμα 4.22 Γραφικές παραστάσεις της διαμέσου της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα και της πραγματικής ισχύος του αντιστροφέα με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Τέλος, φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις της διαμέσου της ισχύος του αντιστροφέα, της ιδανικής καμπύλης ισχύος αλλά και της διαμέσου του σφάλματος.



Σχήμα 4.23 Γραφικές παραστάσεις της διαμέσου της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα και της ιδανικής καμπύλης ισχύος του αντιστροφέα και της διαμέσου του σφάλματος με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Παρατηρούμε ότι ο αντιστροφέας λειτουργεί ικανοποιητικά και κατά την παραγωγή αλλά και κατά την απορρόφηση ισχύος από την Φ/Β γεννήτριας. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά από τις τιμές της διαμέσου του σφάλματος. Το σφάλμα

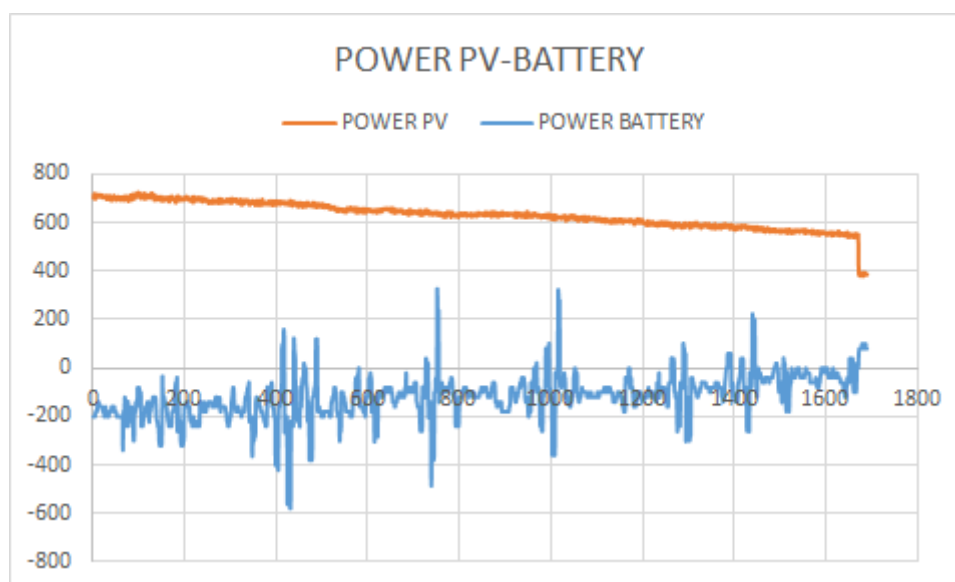
είναι της τάξης των 50W και αυτό είναι αναμενόμενο καθώς όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο όταν η διαφορά της επιθυμητής ισχύος και της υπάρχουσας είναι κατ'απόλυτη τιμή μικρότερη των 50W τότε δε αποστέλλεται εντολή διόρθωσης της τιμής της. Οι αιχμές που παρουσιάζονται στη γραφική παράσταση του σφάλματος οφείλονται πρώτον, στις απότομες μεταβολές της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας και δεύτερον, στην καθυστέρηση της τάξεως των 4 sec μέχρι τον υπολογισμό και την αποστολή εντολής για την διόρθωση της επιθυμητής ισχύος.

4.6.4 Εφαρμογή 4. Απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας από τον αντιστροφέα SUNNY ISLAND όταν ξεπεράσει μία δοσμένη ισχύ κατωφλίου

Στην τέταρτη εφαρμογή χρησιμοποιείται το πρόγραμμα CONTROL_P_THRESHOLD και παρατηρείται η ρύθμιση της ισχύος του αντιστροφέα. Στην εφαρμογή αυτή ο αντιστροφέας SUNNY ISLAND απορροφά το μέρος της παραγόμενης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας που ξεπερνά μία προκαθορισμένη ισχύ κατωφλίου. Η ισχύς κατωφλίου είναι καθορισμένη στα 500W.

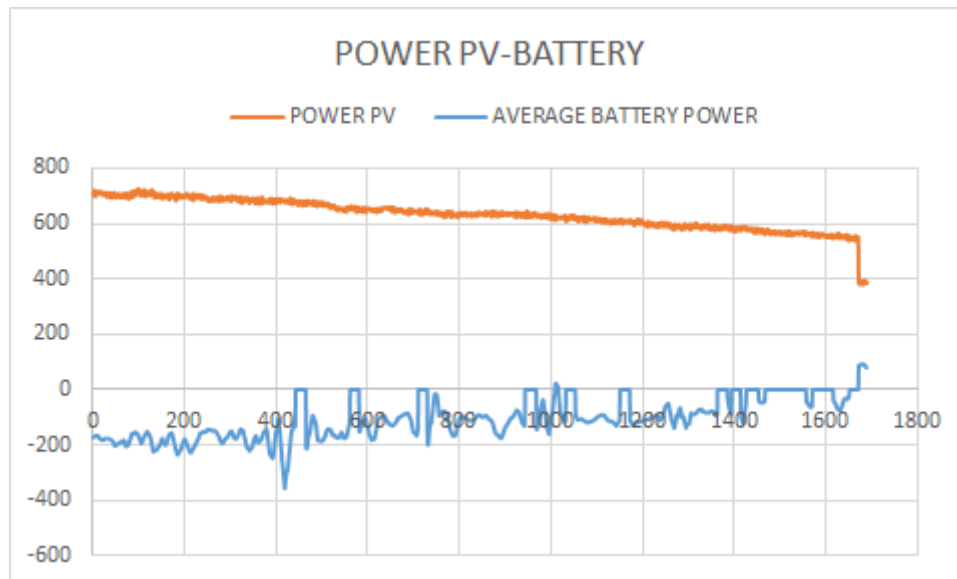
Αρχικά, παρατηρούμε ότι η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας είναι 700W και μειώνεται διαρκώς μέχρι να φτάσει τα 500W. Η ισχύς κατωφλίου είναι 500W και κατ'επέκταση ο αντιστροφέας καλείται να απορροφήσει αρχικά 200W και στο τέλος 0W. Πράγματι αυτό παρατηρείται και στη γραφική παράσταση της ισχύος του αντιστροφέα-Φ/Β γεννήτριας.

Παρακάτω φαίνεται η γραφική παραστάση της ισχύος του Φ/Β γεννήτριας και της ισχύος που απορροφά ο αντιστροφέας των μπαταριών όπως αυτές καταγράφονται από τα αντίστοιχα πολυόργανα ανά 1sec.



Σχήμα 4.24 Γραφικές παραστάσεις της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα και της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Παρακάτω φαίνεται η γραφική παραστάση της ισχύος του Φ/Β γεννήτριας και της μέσης τιμής της ισχύος που απορροφά ο αντιστροφέας των μπαταριών.



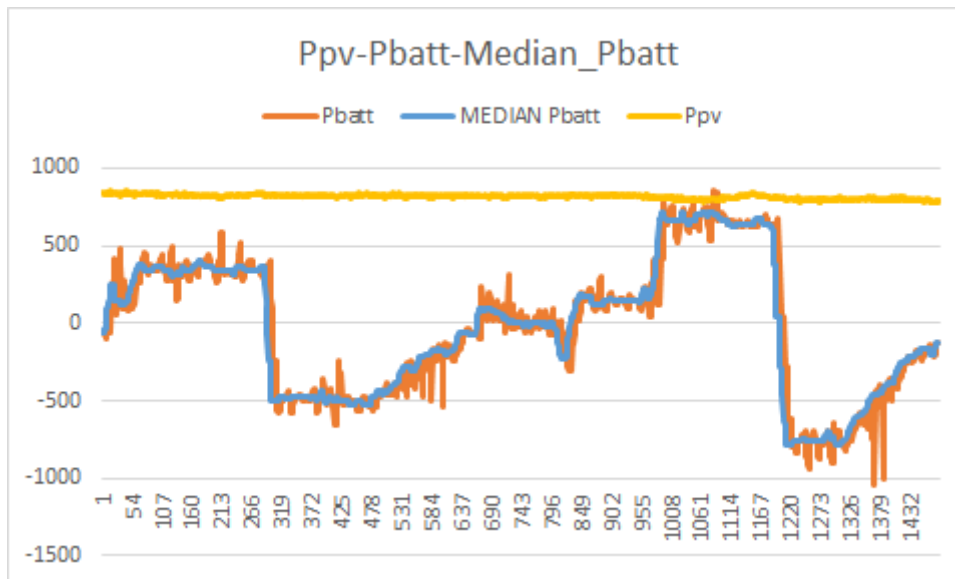
Σχήμα 4.25 Γραφικές παραστάσεις της μέσης τιμής της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα και της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Όπως φαίνεται παραπάνω ο αντιστροφέας λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά στην απορρόφηση της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας παρά τις διακυμάνσεις που παρατηρούνται στην ισχύ της.

4.6.5 Εφαρμογή 5. Σταθερή παραγωγή ισχύος στην έξοδο του μικροδικτύου

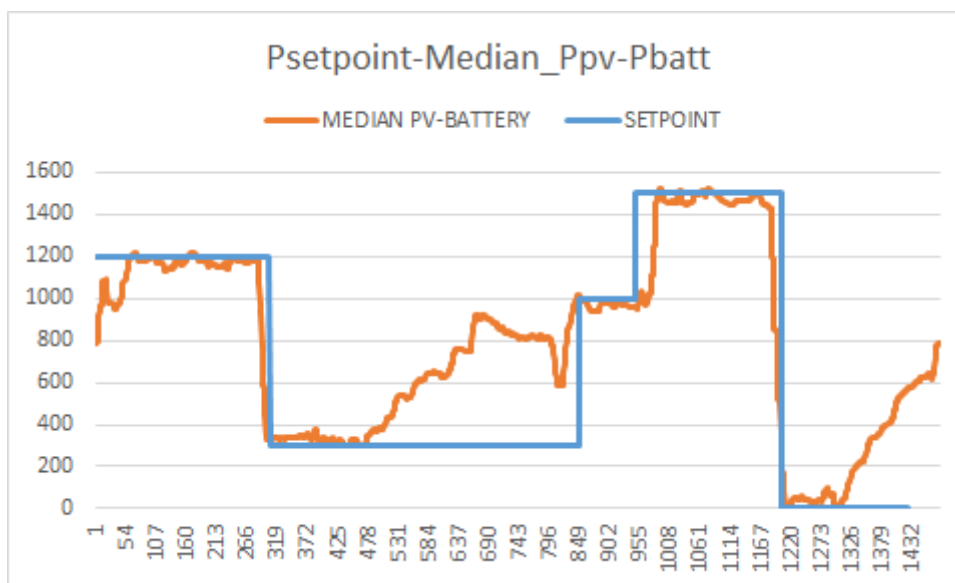
Στην προηγούμενη εφαρμογή παρατηρήσαμε την απορρόφηση ισχύος από τον αντιστροφέα όταν η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας ξεπερνά κάποια ισχύ κατωφλίου. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο αντιστροφέας λειτουργεί και στην περιοχή της απορρόφησης αλλά και της παραγωγής στην προσπάθειά του να διατηρήσει σταθερή την ισχύ στην έξοδο του μικροδικτύου. Οι τιμές ισχύος που πρέπει να λειτουργήσει ο αντιστροφέας είναι 1200W, 300W, 1000W, και 0W.

Παρακάτω, παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις που αφορούν την ισχύ του αντιστροφέα μπαταριών την ισχύ της Φ/Β γεννήτριας καθώς και οι αντίστοιχες επιθυμητές τιμές. Η πρώτη γραφική παράσταση περιλαμβάνει και την διάμεσο ανά 20 τιμές της ισχύος του αντιστροφέα των μπαταριών. Ο λόγος που επιλέχθηκε η διάμεσος και όχι ο μέσος όρος είναι γιατί η διάμεσος παρουσιάζει πολύ μικρότερη ευαισθησία στις ακραίες τιμές που δημιουργούνται από τον αντιστροφέα των μπαταριών λόγω των πολλών διακυμάνσεων κατά τη ρύθμιση της ισχύος του.



Σχήμα 4.26 Γραφικές παραστάσεις της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα της διαμέσου της ισχύος του αντιστροφέα και της ισχύος της Φ/Β γεννήτριας με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

Παρακάτω φαίνεται η γραφική παράσταση της επιθυμητής ισχύος και της ισχύος που τελικά ρύθμισε ο αντιστροφέας.

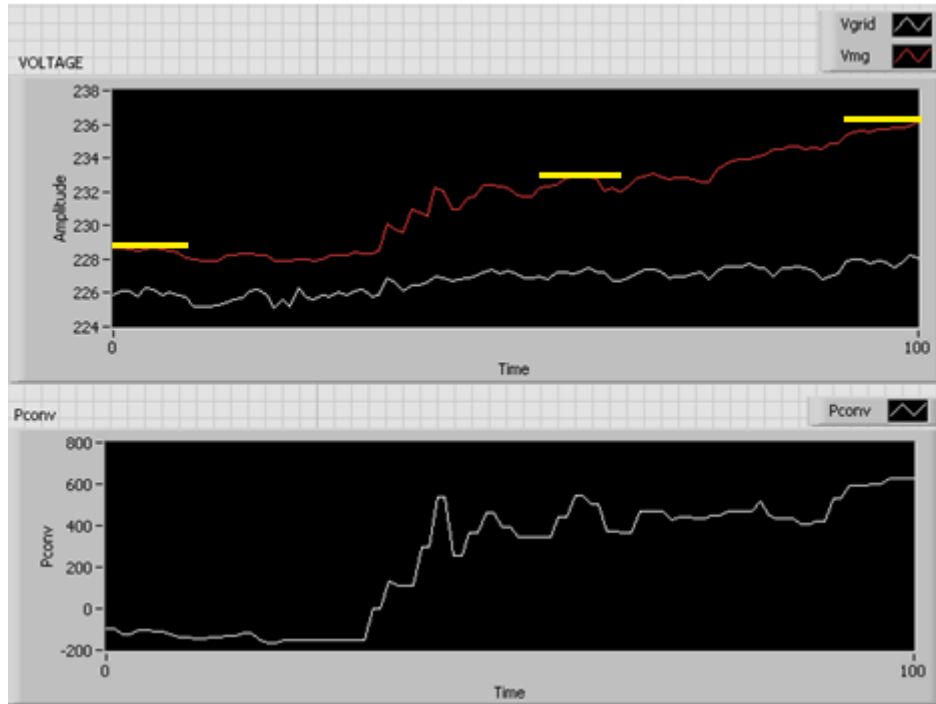


Σχήμα 4.27 Γραφικές παραστάσεις της ισχύος λειτουργίας του αντιστροφέα και της ιδανικής ισχύος του αντιστροφέα με δεδομένα από το πρόγραμμα καταγραφής και παρουσίασης των AC μετρήσεων

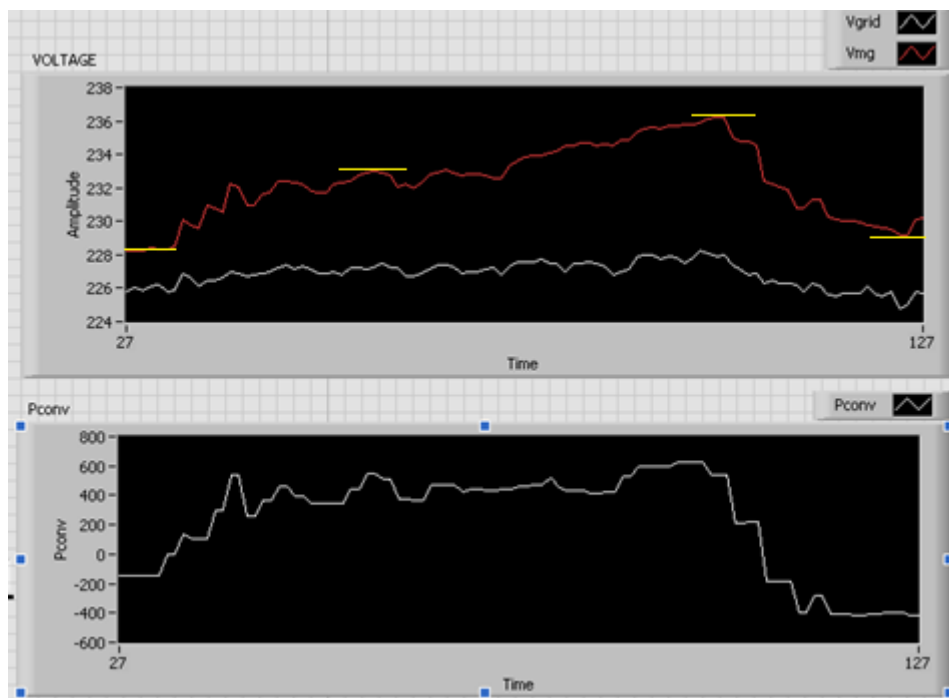
Παρατηρούμε ότι ο αντιστροφέας σχεδόν σε όλα τις επιθυμητές τιμές λειτουργεί αρκετά ικανοποιητικά με εξαίρεση τα 300W. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες παραγράφους ο έλεγχος του αντιστροφέας των μπαταριών δε μπορεί να είναι πλήρης και σε ορισμένες περιπτώσεις ακολουθεί δικές του εσωτερικές διαδικασίες που αφορούν τη φόρτιση των μπαταριών.

4.6.6 Εφαρμογή 6. Ρύθμιση της τάσης του μικροδικτύου

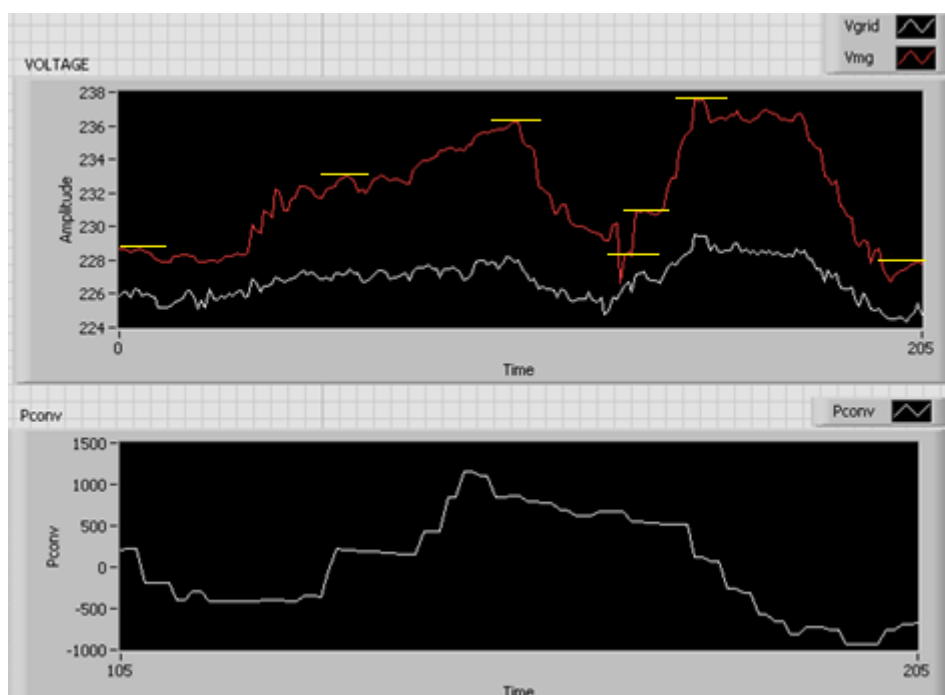
Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ρύθμισης τάσης που έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η τάση του μικροδικτύου ρυθμίστηκε σε δύο φάσεις. Πρώτα, η ρύθμιση έγινε ως εξής 229V-232V-235V-228V και ύστερα 228V-230V-236V-228V. Το πρόγραμμα ανταποκρίθηκε γρήγορα και αρκετά ικανοποιητικά όπως φαίνεται και στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις.



Σχήμα 4.28 Γραφικές παραστάσεις των τάσεων του δικτύου, του μικροδικτύου και της ισχύος του αντιστροφέα κατά την πρώτη φάση ρύθμισης της τάσης μέχρι τα 236V



Σχήμα 4.29 Γραφικές παραστάσεις των τάσεων του δικτύου, του μικροδικτύου και της ισχύος του αντιστροφέα κατά την ολοκλήρωση της φάσης ρύθμισης της τάσης μέχρι τα 228V

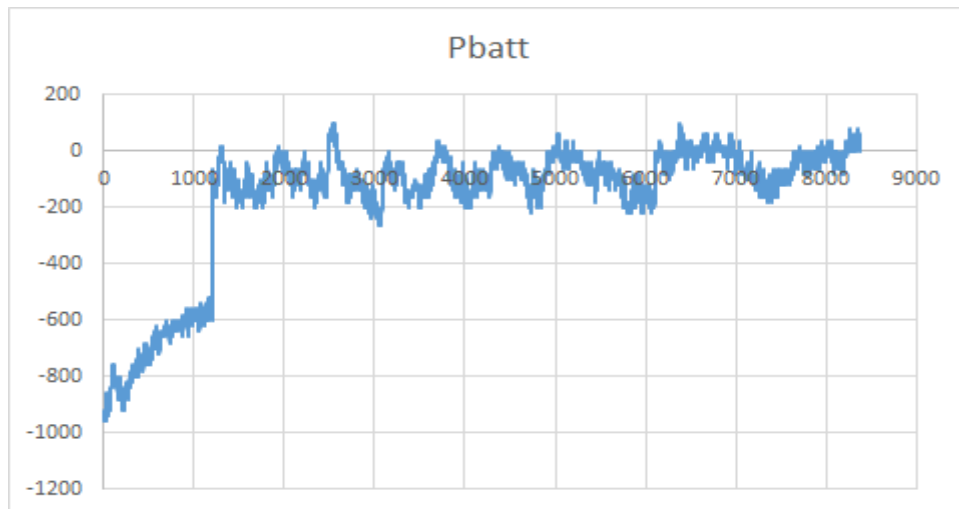


Σχήμα 4.30 Γραφικές παραστάσεις των τάσεων του δικτύου, του μικροδικτύου και της ισχύος του αντιστροφέα κατά την ολοκλήρωση και των δύο φάσεων ρύθμισης της ισχύος

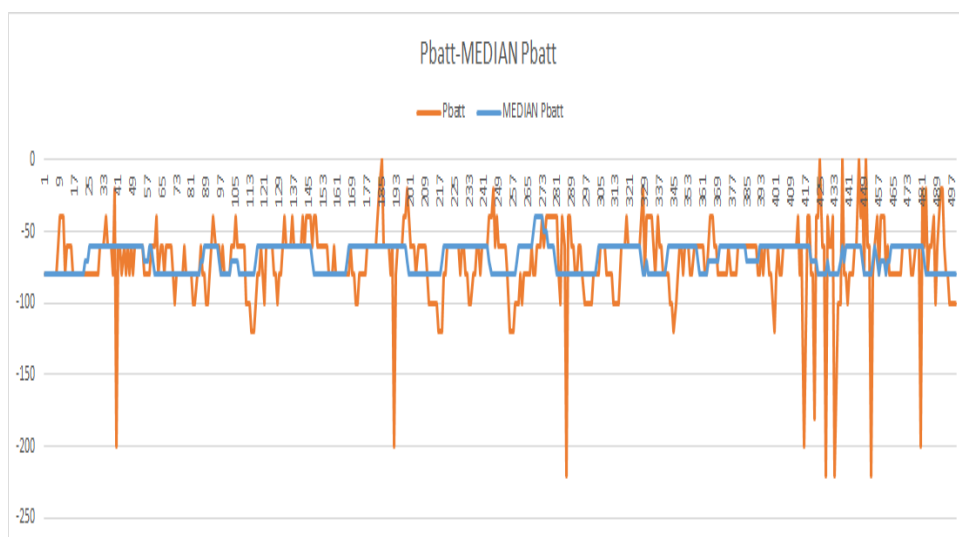
Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ ο αντιστροφέας ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στη ρύθμιση της τάσης τα αποτελέσματα αλλοιώνονται όπως φαίνεται και από τις παραπάνω γραφικές και από το γεγονός ότι δίκτυο είναι αρκετά ασθενές. Αυτό φαίνεται έντονα στα σημεία όπου η γραφική της τάσης του μικροδικτύου προσεγγίζει την γραφική της τάσης του δικτύου.

4.6.7 Δεδομένα μακράς διάρκειας για τον αντιστροφέα Sunny Island

Συμπληρωματικά με τα προηγούμενα, παρατίθενται ενδεικτικά δύο γραφικές παραστάσεις της ισχύος του αντιστροφέα των μπαταριών. Και στις δύο περιπτώσεις ο αντιστροφέας μπαταριών λειτουργεί σε σύνδεση με το δίκτυο και δεν έχει γίνει καμία ρύθμιση της ισχύος του. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι στη δεύτερη περίπτωση ο αντιστροφέας λειτουργεί πρώτα σε κατάσταση N2 και ύστερα σε κατάσταση N1.



Σχήμα 4.31 Γραφική παράσταση της ισχύος του αντιστροφέα ενώ αρχικά λειτουργεί σε κατάσταση N2 και ύστερα σε κατάσταση N1



Σχήμα 4.32 Γραφική παράσταση της ισχύος του αντιστροφέα και της διαμέσου της ισχύος του αντιστροφέα

Από τα παραπάνω, παρατηρούμε πρώτα, ότι ανάλογα με τη κατάσταση φόρτισης ο αντιστροφέας παρουσιάζει μεγάλες αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας του (π.χ. στην N2 απορροφά ισχύ 1000W και στην N1 100W). Δεύτερον, ότι ενώ ο αντιστροφέας των μπαταριών σύμφωνα με τη διάμεσο της ισχύος πραγματοποιεί μικρή φόρτιση περίπου 60W, παρ'όλα αυτά, η διακύμανση της ισχύος του είναι αρκετά μεγάλη. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε τέτοιου είδους καταστάσεις στην λειτουργία του αντιστροφέα οφείλονται ορισμένες αποκλίσεις που παρατηρούνται στα διαγράμματα των εφαρμογών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ένας απολογισμός όσων προαναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια προκειμένου να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα αλλά και προτάσεις για βελτίωση του συστήματος SCADA και του εργαστηριακού μικροδικτύου.

Αρχικά, μπορούμε να συμπεράνουμε το ρόλο και τη σημασία των SCADA στην σύγχρονη παραγωγική διαδικασία και ιδιαίτερα την εφαρμογή τους στα μικροδίκτυα καθώς τα συστήματα αυτά αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο για την μέγιστη απόδοση του εξοπλισμού ενός μικροδικτύου. Τα συστήματα SCADA προσφέρουν ακόμη μεταξύ άλλων ταχύτερη αναγνώριση και αντιμετώπιση κρίσιμων συμβάντων, μειωμένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και καλύτερη διασύνδεση των πληροφοριών μεταξύ παραγωγού, διανομέα και καταναλωτή.

Ειδικότερα, η παρούσα εργασία περιγράφει την μελέτη και υλοποίηση ενός συστήματος ελέγχου, παρακολούθησης και καταγραφής του εργαστηριακού μικροδικτύου (SCADA). Το σύστημα αυτό μας δίνει την δυνατότητα παρακολούθησης όλων των παραμέτρων του εργαστηριακού μικροδικτύου και καταγραφής τους σε αρχεία κειμένου. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των πηγών και των φορτίων και κατ'επέκταση η δυνατότητα δημιουργίας πολύ αναλυτικών καμπυλών φορτίου για διεξαγωγή πειραμάτων. Το σύστημα SCADA αυτό ενσωματώνει ακόμα τον έλεγχο των αντιστροφών σε ένα ενιαίο σύστημα εξαιρετικά εύχρηστο και φιλικό με ξεχωριστά προγράμματα εφαρμογών για την υλοποίηση πειραμάτων και εφαρμογών. Μέσω του τελευταίου, υλοποιήθηκε ο κύριος όγκος των πειραμάτων που διεξήχθησαν και παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σημαντική εφαρμογή αποτελεί η απομακρυσμένη ενημέρωση που παρέχεται στον χρήστη μέσω αποστολής ηλεκτρονικών μηνυμάτων αν συμβεί κάποιο κρίσιμο γεγονός (υπερτάσεις, αλλαγή κατάστασης διακοπών και άλλα). Το σύστημα αυτό μπορεί να έχει σημαντική συνεισφορά και στον εκπαιδευτικό τομέα καθώς βοηθά στην κατανόηση από την πλευρά των φοιτητών των βασικών αρχών ελέγχου του μικροδικτύου όπως αυτές παρουσιάζονται και στις αντίστοιχες εφαρμογές.

Το σύστημα SCADA που έχει υλοποιηθεί είναι πλήρως ολοκληρωμένο όσον αφορά την λήψη πληροφοριών από τα πολύоргана και τους αντιστροφείς καθώς και τον έλεγχο της ισχύος των αντιστροφών, όμως, υπάρχουν πολλές ακόμα δυνατότητες. Αρχικά, θα ήταν χρήσιμη η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων όπου θα καταγράφονται όλες οι μετρήσεις και τα πειράματα με όνομα χρήστη, ημερομηνία διεξαγωγής του πειράματος και περιγραφή του πειράματος και ύστερα, θα παρουσιάζονται όλες οι χρήσιμες πληροφορίες κατάλληλα ομαδοποιημένες και σε φιλικά προς το χρήστη γραφήματα (Green Button) έτσι ώστε να εξάγονται σαφή συμπεράσματα για τη λειτουργία του μικροδικτύου (συνεισφορά ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, αυτονομία μικροδικτύου, μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, εξοικονόμηση πόρων λόγω του κεντρικού ελέγχου του μικροδικτύου και άλλα). Παράλληλα με το προηγούμενο, θα βοηθούσε η ύπαρξη ενός νέου, σύγχρονου κεντρικού υπολογιστή που θα φιλοξενεί το σύστημα SCADA και παράλληλα θα μπορεί να διεξάγει και άλλες λειτουργίες όπως η στατιστική και γραφική επεξεργασία των πληροφοριών της βάσης δεδομένων. Επίσης, όσον αφορά τη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ των στοιχείων του εργαστηρίου θα ήταν πολύ σημαντική η χρήση ενός ελεγκτή με περισσότερες δυνατότητες από το υπάρχον PLC για να υπάρχει μεταφορά πραγματικού χρόνου πληροφοριών και να είναι περισσότερο

αξιόπιστη. Τέλος, η επέκταση του συστήματος SCADA με περισσότερους αισθητήρες που αφορούν τη θερμοκρασία δωματίου και περιβάλλοντος, ηλιοφάνεια και θερμοκρασία σε πλαίσιο, ταχύτητα ανέμου θα πρόσφερε την δυνατότητα διεξαγωγής πιο αξιόπιστων πειραμάτων αφού τα δεδομένα τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πραγματικά δεδομένα στις διάφορες εφαρμογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Boyer, Stuart A.: "SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition"
Instrument Society of America, Research Triangle, NC. 1993.
- [2] Daneels A., Salter W.: "What is SCADA?"
International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control
Systems, Trieste, Italy, October 1999
- [3] Σαρρής, Νικόλαος. "Εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων (SCADA):
Ανάλυση και υλοποίηση σε δίκτυα Ethernet." (2003).
- [4] Χασάπης Γ.: "Αρχιτεκτονική & Προγραμματισμός Συστημάτων Βιομηχανικού
Ελέγχου" Εκδόσεις Ζήτη 2001
- [5] <http://members.iinet.net.au/~ianw/archive/x4371.htm>
- [6] Border Communications Web Site, www.neal-and-massy.com/bordercomm/scada.htm
- [7] Control Magazine's Web Site
Control Magazine's 2002 Readers' Choice Awards
http://www.controlmag.com/Web_First/ct.nsf/ArticleID/DFUO-55E24P
- [8] Gaverner Engineers Web Site www.gaverinc.com
- [9] Micrologic Web Site, www.micrologic.com
- [10] RM Systems Web Site www3.sympatico.ca/rmsystems/scada.html
- [11] Shi, Wenbo, et al. "Evaluating microgrid management and control with an
implementable energy management system." Smart Grid Communications
(SmartGridComm), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014.
- [12] Zhao, Xiangyang, and Shiyang Liu. "Design of a Monitoring System of Micro-
Grid." (2013).
- [13] Buevich, M., Schnitzer, D., Escalada, T., Jacquiau-Chamski, A., & Rowe, A.
(2014, April). Fine-grained remote monitoring, control and pre-paid electrical service
in rural microgrids. In Information Processing in Sensor Networks, IPSN-14
Proceedings of the 13th International Symposium on (pp. 1-11). IEEE.
- [14] <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15019>
- [15] <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15617>
- [16] Manuals της εταιρίας SMA για την συσκευή Sunny boy 1100E
- [17] Manuals της εταιρίας SMA για την συσκευή Windy Boy
- [18] Manuals της εταιρίας SMA για την συσκευή Sunny Island
- [19] <http://www.gma.gr>
- [20] <http://www.berghof.com>
- [21] <http://www.phoenixcontact.com>
- [22] Πετεινίδης, Νικόλαος (2013) Εφαρμογή πρωτοκόλλου επικοινωνίας CANOpen
για τον έλεγχο σερβοκινητήριου συστήματος μέσω ΗΥ. Μαδεμλής Χρήστος,
Θεσσαλονίκη
- [23] <http://www.deif.com>
- [24] <http://www.3s-software.com>
- [25] <http://en.wikipedia.org/wiki/CODESYS>
- [26] Παπαδόπουλος, Χρήστος. "Αντικείμενα και Εφαρμογές τους στο λογισμικό
LabVIEW 2009." (2012).