



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

Εποπτεία Φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος και Έλεγχος Φορτίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευθύμιος Κ. Χριστάκης

Αθήνα , Ιούλιος 2011



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

Εποπτεία Φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος και Έλεγχος Φορτίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευθύμιος Κ. Χριστάκης

Επιβλέπων: Νίκος Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2011

.....
Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μέλος 2

.....
Μέλος 3

Αθήνα , Ιούλιος 2011

.....

Ευθύμιος Κ. Χριστάκης

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

Copyright © Ευθύμιος Κ. Χριστάκης, 2011

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 την 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.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου και εποπτείας του εργαστηρίου Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του ΕΜΠ έχοντας σαν υπόβαθρο τα πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420 που αφορούν την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων σε υποσταθμούς και σε συστήματα μέσης τάσης. Αυτό το σύστημα ελέγχου προορίζεται για οποιοδήποτε ανάλογο φωτοβολταϊκό υβριδικό σύστημα όπως αυτό του εργαστηρίου των ΣΗΕ. Ο έλεγχος και η εποπτεία του συστήματος γίνεται μέσω Η/Υ μέσω προγράμματος που δημιουργήθηκε γι' αυτό το σκοπό στο LabVIEW. Το πρόγραμμα, έκτος από τον έλεγχο και την εποπτεία του συστήματος, επιπλέον ελέγχει τρία μοντέλα υπολογισμού της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (ισοτροπικό, HDKR, Perez) ως προς την ορθότητά τους, αξιολογεί την λειτουργία του όλου συστήματος μέσω του υπολογισμού των συντελεστών απόδοσης του υβριδικού συστήματος και δίνει και την δυνατότητα μέσω του ελέγχου των φορτίων να προσομοιωθούν στο εργαστήριο διάφορα προφίλ κατανάλωσης και να μελετηθούν εκτενέστερα. Η όλη προσπάθεια μπορούμε να πούμε ότι είναι δηλαδή μια απόπειρα να κατασκευαστεί ένα νέο πρότυπο ή μια επέκταση των υφισταμένων για φωτοβολταϊκά υβριδικά συστήματα με ένα εύχρηστο SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Ευθύμιος Χριστάκης

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Λέξεις Κλειδιά

Μικροδίκτυο, LabVIEW, Scada, Ηλιακή Ακτινοβολία, Έλεγχος, Εποπτεία, Φωτοβολταϊκά, Υβριδικά, Πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420, Συντελεστές Απόδοσης Υβριδικού Συστήματος, Ισοζύγιο Ισχύος-Ενέργειας

Abstract

This Diploma Thesis presents the development of an integrated system for control and supervision of the Power Systems Laboratory of NTUA, having as background standards IEC 61850-7-4 and IEC 61850-7-420 which refer to communication and data exchange in substations and MV systems. This control system is suitable for any similar photovoltaic hybrid system such as the Laboratory of Power Systems. The control and supervision of the system is via a computer through a program created for this purpose in LabVIEW. The program, in addition to controlling and monitoring the system, also controls three models for calculating the solar radiation (isotropic, HDKR, Perez) as to the correctness, evaluate the functioning of the system by calculating the rates of return of the hybrid system and gives the opportunity through control of the loads of the laboratory to simulate different profiles of consumption and study them extensively. The entire effort can be said that is an attempt to build a new standard, or to extend the existing standards for photovoltaic hybrid systems with an easy to use SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Efthymios Christakis

Athens ,2011

Key Words

Microgrid, LabVIEW, Scada, Solar Radiation, Control, Monitoring, Photovoltaics, Hybrid, Standards IEC 61850-7-4 and IEC 61850-7-420, Performance Evaluation of an Hybrid System, Power-Energy balance

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το διδάκτορα Τάκη Ρωμανό, για την συνεχή βοήθεια και υποστήριξη κατά την πραγματοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Μέσα από την καθοδήγησή του και την συνεχή βοήθειά του οποτεδήποτε και αν χρειάστηκε με οδήγησε εκ του ασφαλούς τόσο στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας όσο και στην πραγματική γνώση αντικειμένων που κατείχα μόνο θεωρητικά. Η επιμονή του στην τελειότητα και την λεπτομέρεια με βοήθησε να βγω από το ελληνικό 'κλισέ' του να γίνει κάτι απλά για να δουλεύει και με οδήγησε στην βαθύτερη αναζήτηση λύσεων σε όποια προβλήματα συναντούσα κατά την εκτέλεση της διπλωματικής μου. Πέραν όμως από την βοήθεια σε τεχνικά θέματα υπήρξε και πολύ σημαντική η βοήθειά του στον ψυχολογικό τομέα. Το ποιο σημαντικό πράγμα που έμαθα από αυτόν είναι η δύναμη της ομάδας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κύριο Νίκο Χατζηαργυρίου, γιατί πιστεύει στους φοιτητές και δίνει την δυνατότητα σε όλους να αποδείξουν την πραγματική τους αξία. Τον ευχαριστώ επίσης θερμά γιατί χωρίς αυτόν δεν θα είχα την δυνατότητα να παρακολουθήσω το τριήμερο συνέδριο «MedPower 2008» που έγινε στη Θεσσαλονίκη το Νοέμβριο του 2008 αφού εξασφάλισε σε εμένα και τους συμφοιτητές μου τη μεταφορά, τη συμμετοχή και τη διαμονή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη την ομάδα των συμφοιτητών μου που γνώρισα στο εργαστήριο ΣΗΕ. Με τα παιδιά αυτά δουλέψαμε μαζί για να αναβαθμίσουμε την λειτουργία του εργαστηρίου και τα καταφέραμε. Ο κάθε ένας από αυτά τα παιδιά με βοήθησε οποτεδήποτε είχα κάποια απορία. Θα ήθελα γι'αυτό να τους ευχαριστήσω προσωπικά. Ευχαριστώ λοιπόν τον Γιώργο Τσολάκο, τον Νίκο Δανιήλ, τον Στέφανο Μπόνια, τον Κώστα Πανταζή, τον Παναγιώτη Γιαννακόπουλο, την Ευαγγελία Στούμπη και τον Νίκο Κακαβούλη. Αυτός που χρειάζεται ιδιαίτερη μνεία για την βοήθειά του είναι ο καλός φίλος του κυρίου Τάκη Ρωμανού ο κύριος Λαρόκα που με βοήθησε σε οποιοδήποτε πρόβλημα είχα στο LabVIEW.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	6
Ευχαριστίες	7
Περιεχόμενα.....	8
Εικόνες-Διαγράμματα-Πίνακες	9
1. Εισαγωγή.....	13
1.1 Φωτοβολταϊκά υβριδικά συστήματα και ο έλεγχός τους.....	13
1.2 Διάταξη της διπλωματικής εργασίας	14
2. Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου	15
2.1 Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ).....	15
2.2 Πηγές ενέργειας εργαστηρίου ΣΗΕ	16
2.3 Αντιστροφείς εργαστηρίου	17
2.4 Επικοινωνία εργαστηρίου, έλεγχος και όργανα μέτρησης.....	19
2.5 Φορτία εργαστηρίου και πειράματος	25
2.6 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση εργαστηρίου	26
3. Δυνατότητες Εργαστηρίου.....	29
3.1 Δυνατότητες και βασικά στοιχεία του LabVIEW.....	29
4. Τα πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420.....	43
4.1 Τα προγενέστερα πρότυπα	43
4.2 Το πρότυπο IEC 61850-7-4	44
4.3 Το πρότυπο IEC 61850-7-420	51
5. Τα μοντέλα του ήλιου	55
5.1 Ηλιακή Ακτινοβολία	55
5.2 Η "κίνηση" του ήλιου	56
5.3 Προσανατολισμός επιφανειών	59
6. Απόδοση Φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος	69
6.1 Δείκτες απόδοσης φωτοβολταϊκού υβριδικού συστήματος	69
6.2 Υπολογισμός δεικτών απόδοσης συστήματος εργαστηρίου	73
7. Το τελικό πείραμα.....	77

7.1 Η πειραματική διάταξη	77
7.2 Διεξαγωγή του πειράματος.....	78
7.3 Έλεγχος και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος	80
8. Συμπεράσματα και Προοπτικές	91
8.1 Συμπεράσματα	91
8.2 Προοπτικές	93
Παράρτημα Α Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού	95
Παράρτημα Β Ο κώδικας στο LabVIEW και το Codesys.....	109
Παράρτημα Γ Στοιχεία ηλεκτρικής εγκατάστασης.....	121
Παράρτημα Δ Το πρότυπο IEC 61850-7-420.....	125
Βιβλιογραφία	132

Εικόνες-Διαγράμματα-Πίνακες

Εικόνα 2.1: Εργαστήριο ΣΗΕ κατά την εκτέλεση του πειράματος.....	14
Εικόνα 2.2: Διάγραμμα ισχύος εργαστηρίου ΣΗΕ.....	16
Εικόνα 2.3: Φωτοβολταϊκά πλαίσια εργαστηρίου ΣΗΕ.....	16
Εικόνα 2.4: Ανεμογεννήτρια εργαστηρίου ΣΗΕ.....	17
Εικόνα 2.5: Συσσωρευτές εργαστηρίου ΣΗΕ.....	17
Εικόνα 2.6: Αντιστροφέας DC/AC των PV.....	18
Εικόνα 2.7: Αντιστροφέας AC/DC.....	18
Εικόνα 2.8: Αντιστροφέας DC/AC.....	18
Εικόνα 2.9: Αντιστροφέας DC/AC συσσωρευτών.....	18
Εικόνα 2.10: Διάγραμμα επικοινωνίας εργαστηρίου.....	20
Εικόνα 2.11: CPU του PLC.....	21
Εικόνα 2.12: Κάρτες Alcan PV και ανεμογεννήτριας.....	21
Εικόνα 2.13: Κάρτες DIOcan φορτίων και ανεμογεννήτριας.....	22
Εικόνα 2.14: Πολύοργανα DEIF ΔΕΗ-φορτίων και μετασχηματιστές ρεύματος.....	23
Εικόνα 2.15: Αισθητήρες ακτινοβολίας ISET στην ταράτσα του εργαστηρίου.....	24
Εικόνα 2.16: Γενικός πίνακας εργαστηρίου.....	26
Εικόνα 3.1: front panel του LabVIEW του εργαστηρίου.....	35
Εικόνα 3.2: Γενική εικόνα του Block Diagram του εργαστηρίου.....	36
Εικόνα 3.3: Μενού "ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ".....	37
Εικόνα 3.4: Μενού "ΦΩΤΟ/ΚΑ".....	38

Εικόνα 3.5: Μενού "ANEM/ΤΡΙΑ".....	39
Εικόνα 3.6: Μενού "ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ".....	40
Εικόνα 3.7: Μενού "ΔΕΗ".....	41
Εικόνα 3.8: Μενού "ΦΟΡΤΙΑ".....	42
Εικόνα 3.9: Μενού "ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF".....	43
Εικόνα 3.10: Μενού " ΦΟΡΤΙΑ scenario".....	44
Εικόνα 4.1: Logical Node MMXU (measurement).....	54
Εικόνα 5.1: Γωνίες προσανατολισμού της επιφάνειας και του ήλιου.....	65
Εικόνα 5.2: Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας.....	68
Πίνακας 5.1: Συντελεστές f.....	72
Εικόνα 6.1: Δείκτες απόδοσης φ/β συστήματος κατά το κύριο πείραμα.....	78
Εικόνα 6.2: Δείκτες απόδοσης φ/β συστήματος κατά το δεύτερο πείραμα.....	79
Εικόνα 7.1: Πειραματική διάταξη.....	82
Εικόνα 7.2: Επιλογή φορτίων πειράματος.....	83
Διάγραμμα 7.3: Ισοζύγιο Ενεργού Ισχύος.....	85
Διάγραμμα 7.4: Ισοζύγιο Αέργου Ισχύος.....	87
Διάγραμμα 7.5: Συντελεστής ισχύος.....	88
Διάγραμμα 7.6: Ισοζύγιο Ενέργειας.....	90
Διάγραμμα 7.7: Ισοζύγιο Αέργου Ενέργειας.....	91
Εικόνα 7.8: Σύγκριση μοντέλων του ήλιου.....	93
Πίνακας Α.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Boy 1100E.....	99
Πίνακας Α.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Windy Boy (SB) 1700.....	100
Πίνακας Α.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Island 4500.....	101
Πίνακας Α.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά LEM μέτρησης ρεύματος στις μπαταρίες.....	102
Πίνακας Α.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά LEM μέτρησης τάσης.....	102
Πίνακας Α.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά LEM μέτρησης ρεύματος στα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια.....	103
Πίνακας Α.7: Μετρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές πολυοργάνου.....	104
Πίνακας Α.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών ρεύματος των πολυοργάνων.....	105
Πίνακας Α.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα PHOENIX CONTACT.....	106
Πίνακας Α.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα ABB (α).....	107
Πίνακας Α.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα ABB (β).....	108
Εικόνα Α.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα ακτινοβολίας.....	109
Εικόνα Α.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά της CPU του PLC.....	110
Εικόνα Α.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά της AICan.....	111
Εικόνα Α.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά της DIOCan.....	112
Εικόνα Β.1: Τμήμα του Block Diagram για επικοινωνία με πολυόργανα.....	114
Εικόνα Β.2: Τμήμα του Block Diagram για επικοινωνία με PLC.....	115
Εικόνα Β.3: Τμήμα του Block Diagram για υπολογισμό των συντελεστών απόδοσης φ/β υβριδικού συστήματος.....	116
Εικόνα Β.4: Τμήμα του Block Diagram για σύγκριση μοντέλων του ήλιου και επεξεργασία	

DC τιμών.....	117
Εικόνα Β.5: Τμήμα του Block Diagram για την εμφάνιση των διαγραμμάτων.....	118
Εικόνα Β.6: Τμήμα του Block Diagram για την αρχικοποίηση των πινάκων αποθήκευσης.....	119
Εικόνα Β.7: Κώδικας στο Codesys για τον έλεγχο της επικοινωνίας της CPU του PLC με τον υπολογιστή.....	116
Εικόνα Β.8: Κώδικας στο Codesys για την επεξεργασία των δεδομένων.....	117
Εικόνα Β.9: Κώδικας στο Codesys για την αποστολή των δεδομένων στο LabVIEW.....	118
Εικόνα Β.10: Απεικόνιση των δεδομένων στο Codesys.....	119
Εικόνα Γ.1: Ηλεκτρολογικό σχέδιο πολυοργάνου ΔΕΗ.....	121
Εικόνα Γ.2: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Γενικού Πίνακα εργαστηρίου ΣΗΕ.....	122
Εικόνα Γ.3: Ηλεκτρολογικό σχέδιο LEM ρεύματος (αριστερά) και τάσης (δεξιά).....	123
Εικόνα Γ.4: Σχέδιο εγκατάστασης αισθητήρα ακτινοβολίας.....	124
Εικόνα Δ.1: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (1/7).....	125
Εικόνα Δ.2: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (2/7).....	126
Εικόνα Δ.3: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (3/7).....	127
Εικόνα Δ.4: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (4/7).....	128
Εικόνα Δ.5: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (5/7).....	129
Εικόνα Δ.6: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (6/7).....	130
Εικόνα Δ.7: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (7/7).....	131

1. Εισαγωγή

1.1 Φωτοβολταϊκά υβριδικά συστήματα και ο έλεγχός τους

Κάποιες έννοιες που ακούγονται πάρα πολύ στην εποχή μας είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα και ο αυτόματος έλεγχος ενώ ίσως λίγο λιγότερο τα υβριδικά συστήματα. Τα υβριδικά συστήματα είναι συστήματα που χρησιμοποιούν περισσότερες από μία πηγές ενέργειας. Στα φωτοβολταϊκά υβριδικά συστήματα όπως αυτά που μελετούμε εδώ μία από τις πηγές ενέργειας είναι τα φωτοβολταϊκά. Τα φωτοβολταϊκά με την σειρά τους είναι γνωστά σχεδόν σε όλους και η χρήση τους πλέον είναι ευρέως διαδεδομένη. Αποτελούν ,και όχι άδικα, μία από τις ελπίδες του πλανήτη για καθαρές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αφού όσο περισσότερο διεισδύουν στην παραγωγή τόσο μειώνεται και η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου.

Σ'αυτή την διπλωματική έγινε μια προσπάθεια να παντρευτούν οι τρεις έννοιες που αναφέραμε στην αρχή. Το φωτοβολταϊκό υβριδικό σύστημα υπήρχε και είναι αυτό του εργαστηρίου ΣΗΕ του ΕΜΠ. Αυτό που έγινε με αυτή την διπλωματική είναι η είσοδος της γενικότερης έννοιας του ελέγχου (αυτόματου ως ένα βαθμό) στα φορτία του συστήματος. Ο σκοπός που από την αρχή έθεσε αυτή η διπλωματική εργασία είναι μέσα από υφιστάμενη τεχνολογία, όπως είναι το modbus και το canbus, και με υπόβαθρο τα πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420 που ορίζουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την επικοινωνία και τις μετρήσεις σε υποσταθμούς και συστήματα μέσης τάσης, να κατασκευαστεί ένα σύστημα που θα κάνει την εποπτεία ενός φωτοβολταϊκού υβριδικού συστήματος και θα μπορεί να ελέγχει αυτόματα τα φορτία του συστήματος . Πρόκειται στην ουσία για την προσπάθεια δημιουργίας ενός δικού μας "προτύπου" που θα μπορούσε να αποτελεί επέκταση των προτύπων που είχαμε σαν υπόβαθρο και που θα αφορά μικρότερης κλίμακας συστήματα μιας και αυτά συνεχώς πληθαίνουν στην αγορά ενέργειας.

Η όλη προσπάθεια του ελέγχου επειδή είναι αρκετά πολύπλοκη και ξεφεύγει από τις έτοιμες λειτουργίες που έχουν τα διάφορα συστήματα ελέγχου έγινε μέσω της συνεργασίας των προγραμμάτων LabView και Codesys. Το δεύτερο χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία και τον έλεγχο από τα PLC ενώ το LabView (γλώσσα γραφικού προγραμματισμού) χρησιμοποιείται για να δημιουργηθούν οι κατάλληλες διαδικασίες που θα κάνουν τον έλεγχο και την εποπτεία όλων των υποσυστημάτων του εργαστηρίου αλλά και οποιουδήποτε άλλου παρόμοιου συστήματος.

1.2 Διάταξη της διπλωματικής εργασίας

Στα κεφάλαια που ακολουθούν συνοπτικά θα δούμε:

- Κεφάλαιο 2: Γίνεται η περιγραφή των υποσυστημάτων που αποτελούν το σύστημα που έγινε το τελικό πείραμα, δηλαδή το εργαστήριο ΣΗΕ του ΕΜΠ
- Κεφάλαιο 3: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των δυνατοτήτων του εργαστηρίου από την στιγμή που έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί το συνολικό σύστημα ελέγχου και μια μικρή επίδειξη των δυνατοτήτων του 'κώδικα' στο LabView.
- Κεφάλαιο 4: Εδώ βλέπουμε τι ορίζουν τα πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420 που αποτέλεσαν το υπόβαθρο γι'αυτή την διπλωματική και τι προτείνουμε σαν επέκτασή τους για να εναρμονιστούν στις παρούσες απαιτήσεις της αγοράς.
- Κεφάλαιο 5: Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια περιγραφή και μια ανάλυση τριών μοντέλων που μελετούν την κίνηση του ήλιου και προβλέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια. Αυτό γίνεται για να συγκριθούν τα μοντέλα μεταξύ τους αλλά και να επαληθεύσουμε και την ορθότητα των υπολογισμών τους συγκρινόμενα με τις μετρούμενες τιμές της ακτινοβολίας.
- Κεφάλαιο 6: Εδώ έχουμε την περιγραφή και τον υπολογισμό κάποιων συντελεστών που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν την απόδοση υβριδικών και φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Κεφάλαιο 7: Αυτό το κεφάλαιο μας περιγράφει το πείραμα, και όλες τις παραμέτρους του, που έγινε για να ελεγχθεί η ορθή λειτουργία του 'κώδικα' που φτιάχτηκε σαν βάση πάνω στην οποία θα μπορούσε να στηριχτεί το νέο πρότυπο. Παράλληλα ελέγχουμε τις δυνατότητες και την αξιοπιστία του εργαστηρίου αλλά και τις επιπλέον δυνατότητες του 'κώδικα' που είναι περισσότερο εργαστηριακής φύσεως.
- Κεφάλαιο 8: Είναι το τελευταίο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής και περιέχει τα συμπεράσματα που βγήκαν από την όλη διαδικασία, τόσο για τον 'κώδικα' όσο και για το εργαστήριο. Περιέχει επίσης προτάσεις και προοπτικές που δημιουργήθηκαν με το πέρας αυτής της διπλωματικής

2. Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου

2.1 Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)

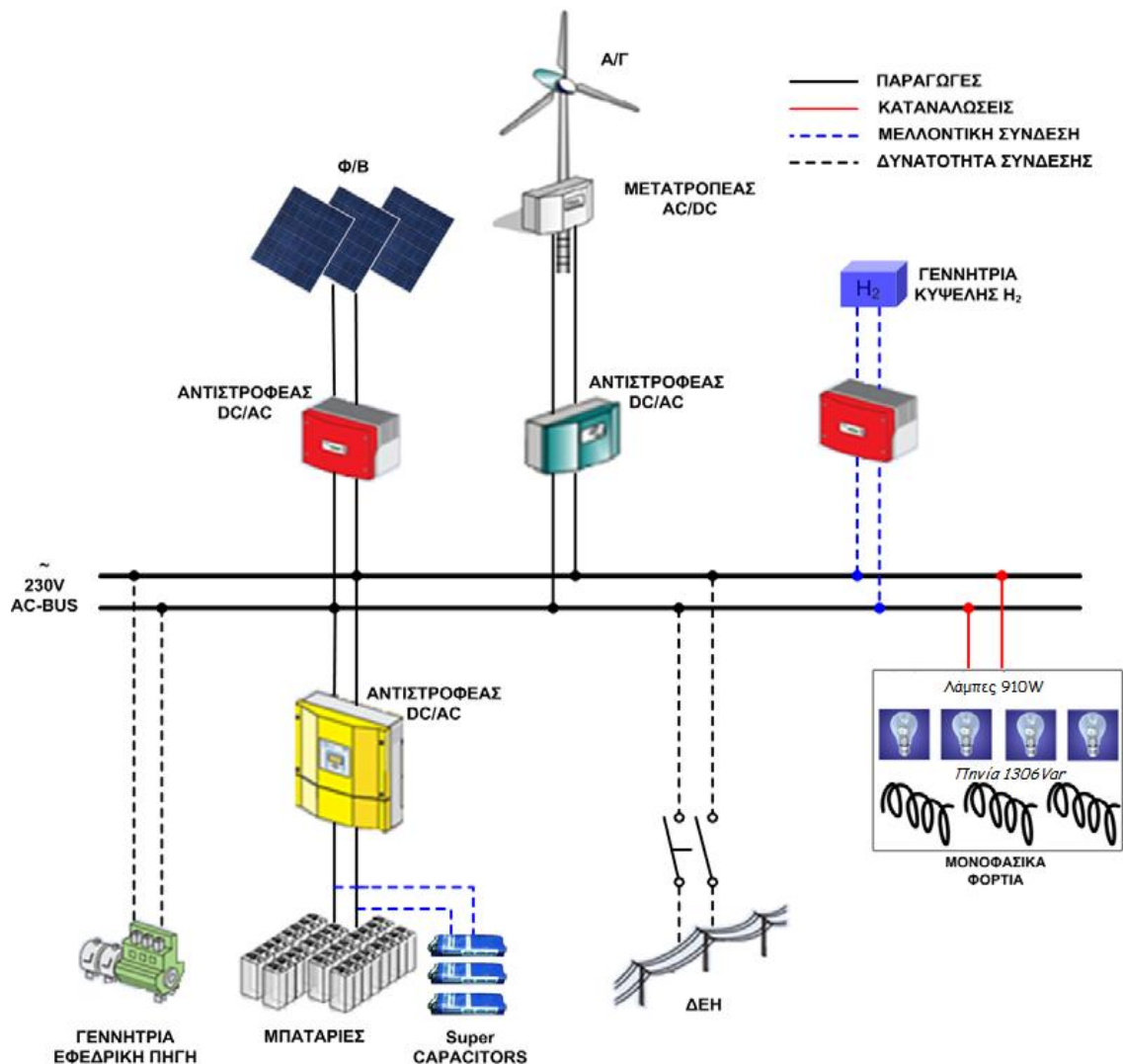
Ο χώρος που έλαβε χώρα αυτό το πείραμα είναι το εργαστήριο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) του ΕΜΠ και συγκεκριμένα το μικροδίκτυο (microgrid) που υπάρχει στο χώρο του εργαστηρίου. Η μορφή που είχε το εργαστήριο κατά την εκτέλεση του πειράματος (το εργαστήριο συνεχώς εξελίσσεται, βελτιώνεται και αλλάζει, ωστόσο η γενικότερη του μορφή παραμένει ίδια) φαίνεται στην Εικόνα 2.1 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.1: Το εργαστήριο ΣΗΕ κατά την εκτέλεση του πειράματος

Εκτός αυτών που φαίνονται στην παραπάνω φωτογραφία υπάρχουν ακόμα στην ταράτσα του κτιρίου τα φωτοβολταϊκά, η ανεμογεννήτρια και κάποιοι σένσορες για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας τα οποία θα αναλυθούν και αυτά στη συνέχεια. Στην Εικόνα 2.2 που ακολουθεί φαίνεται μια πιο παραστατική εικόνα του μικροδικτύου όπου φαίνονται και οι συνδέσεις μεταξύ των διαφόρων συσκευών του εργαστηρίου.

Κεφάλαιο 2 ■ Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου



Εικόνα 2.2: Διάγραμμα ισχύος εργαστηρίου ΣΗΕ

2.2 Πηγές ενέργειας εργαστηρίου ΣΗΕ



Εικόνα 2.3: Φωτοβολταϊκά πλαίσια εργαστηρίου ΣΗΕ

➤ **Φωτοβολταϊκά** Το εργαστήριο των ΣΗΕ διαθέτει 11 πάνελα (MODULO FOTONOLTAIKO I- 110/12, ISOFOTON S.A.) ονομαστικής ισχύος $P_{nom} = 110W$, ονομαστικού ρεύματος $I_{nom} = 6,6 A$ και ονομαστικής τάσης $V_{nom} = 15 V$ το καθένα. Τα πάνελα είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Έτσι η μέγιστη ονομαστική ισχύς όλων των πανέλων είναι 1210W, το μέγιστο ρεύμα

Κεφάλαιο 2 ■ Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου

6,6A (αφού είναι συνδεδεμένα σε σειρά) και η τάση 165 V. Η Εικόνα 2.3 δείχνει τα φωτοβολταϊκά του εργαστηρίου στην ταράτσα.



Εικόνα 2.4 : Ανεμογεννήτρια εργαστηρίου ΣΗΕ

➤ **Ανεμογεννήτρια** Το εργαστήριο διαθέτει μια ανεμογεννήτρια (WHISPER WIND GENERATOR MOD H80 HV) που βρίσκεται και αυτή στην ταράτσα. Η μέγιστη ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι $P_{\max} = 1000W$. Στην Εικόνα 2.4 φαίνεται η ανεμογεννήτρια.



Εικόνα 2.5 : Συσσωρευτές εργαστηρίου ΣΗΕ

➤ **Συσσωρευτές** Οι συσσωρευτές του εργαστηρίου είναι μολύβδου οξέος βαθιάς εκφόρτισης της σειράς Pb Solar OPzS (SOLAR 2V/5 OPzS 250LA $C_{120} = 375Ah$) της εταιρείας ΕΡΓΟΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΑΙ. Το εργαστήριο διαθέτει 30 συσσωρευτές συνδεδεμένους σε σειρά με την συνολική τάση της διάταξης να είναι 60V (2V η κάθε μία). Στην Εικόνα 2.5 φαίνονται μερικοί από τους συσσωρευτές του εργαστηρίου.

2.3 Αντιστροφείς εργαστηρίου

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ισχύος (Εικόνα 2.2) αμέσως μετά από κάθε πηγή ενέργειας ακολουθεί και κάποιος αντιστροφέας και μάλιστα όπως θα δούμε στην περίπτωση της ανεμογεννήτριας έχουμε δύο. Ο ρόλος τους είναι να μετατρέπουν το ρεύμα από συνεχές σε εναλλασσόμενο (DC/AC) ή και αντίστροφα.

➤ Αντιστροφέας Φωτοβολταϊκών



Εικόνα 2.6: Αντιστροφέας DC/AC των PV

Πρόκειται για έναν αντιστροφέα από DC σε AC που χρησιμεύει στη διασύνδεση των φωτοβολταϊκών (PV) στο μικροδίκτυο του εργαστηρίου. Ο αντιστροφέας είναι της σειράς SUNNY BOY 1100E της SMA (Εικόνα 2.6) ονομαστικής ισχύος $P_{nom} = 1000 \text{ W}$ (AC). Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στο παράρτημα Α.

➤ Αντιστροφείς ανεμογεννήτριας



Εικόνα 2.7: Αντιστροφέας AC/DC

Η ανεμογεννήτρια του εργαστηρίου για να συνδεθεί στο δίκτυο περνά πρώτα από έναν αντιστροφέα AC/DC (WHISPEL LINK) για να ομαλοποιηθεί το ρεύμα και η τάση που παράγεται

από την ανεμογεννήτρια (Εικόνα 2.7) και στη συνέχεια ακολουθεί ο αντιστροφέας DC/AC που είναι της σειράς WINDY BOY (SB) 1700 της SMA με ονομαστική ισχύ $P_{nom} = 1400 \text{ W}$. Ο αντιστροφέας αυτός που φαίνεται στην Εικόνα 2.8 συνδέει ουσιαστικά την ανεμογεννήτρια στο δίκτυο του εργαστηρίου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του βρίσκονται στο παράρτημα Α.



Εικόνα 2.8: Αντιστροφέας DC/AC

➤ Αντιστροφέας συσσωρευτών



Εικόνα 2.9: Αντιστροφέας DC/AC συσσωρευτών

Ο αντιστροφέας αυτός είναι DC/AC και είναι της σειράς SUNNY ISLAND 4500 BWR της SMA ονομαστικής ισχύος $P_{nom} = 4000 \text{ W}$. Ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου ο αντιστροφέας μπορεί να παίξει δύο ρόλους. Στην περίπτωση του αυτόνομου συστήματος που απουσιάζει η ΔΕΗ είναι αυτός που ρυθμίζει την τάση και τη συχνότητα του δικτύου (φτιάχνει δίκτυο) και έτσι ελέγχει και την συνεισφορά των υπολοίπων πηγών (pv, wind) καθώς και την φόρτιση των μπαταριών. Στην

περίπτωση που λειτουργεί παράλληλα με τη ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα) τότε λειτουργεί απλά σαν μια πηγή ρεύματος ή σε συνθήκες που πλεονάζει η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια φορτίζει τις μπαταρίες. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και αυτού είναι στο παράρτημα Α.

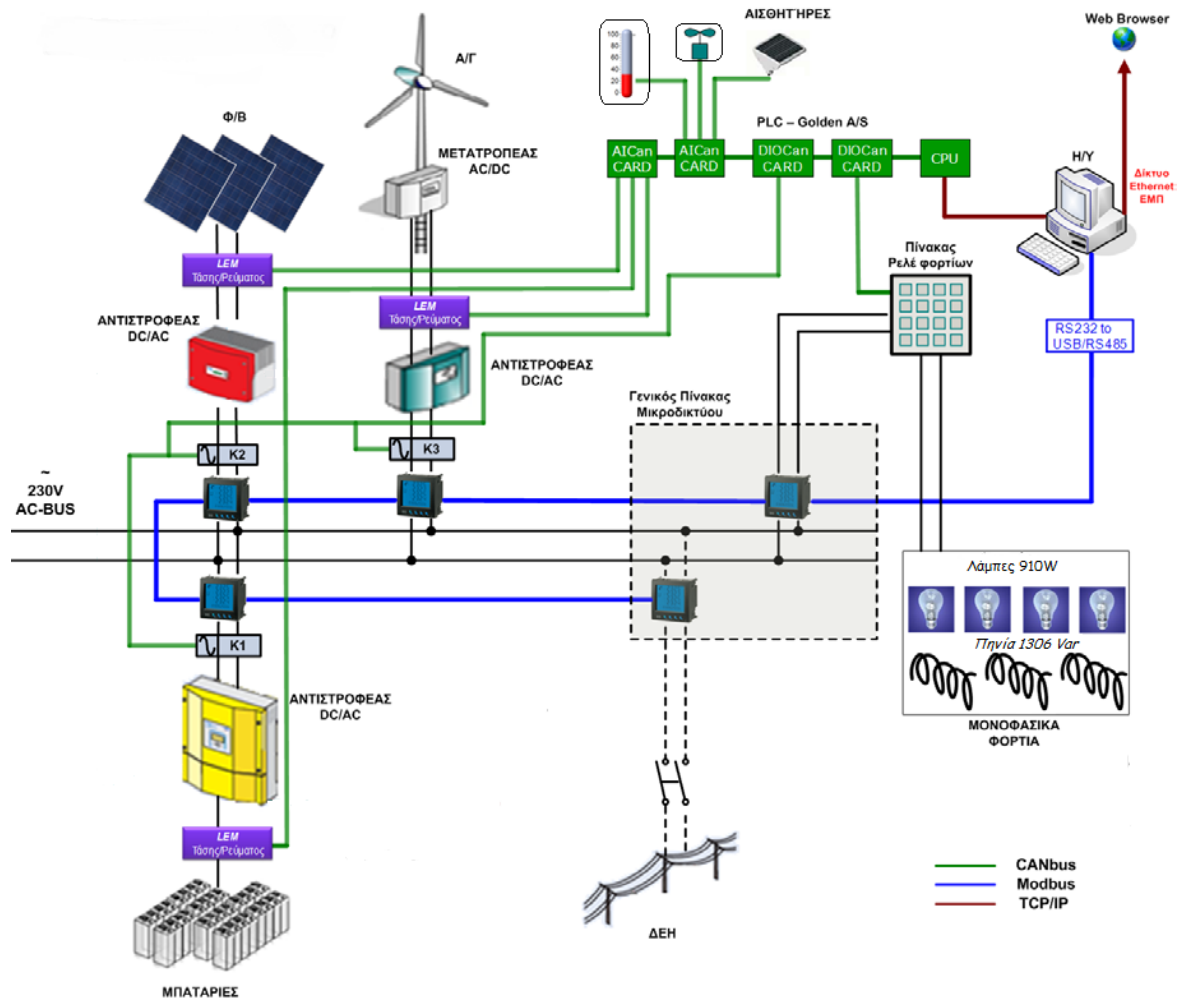
2.4 Επικοινωνία εργαστηρίου, έλεγχος και όργανα μέτρησης

Σε αυτό το τμήμα θα πούμε δυο λόγια για τα βασικά μέρη της επικοινωνίας των συσκευών του εργαστηρίου, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που έχουν χρησιμοποιηθεί, για τον έλεγχο των συσκευών/ φορτίων μέσω του PLC καθώς και για τα όργανα που υπάρχουν στο εργαστήριο για την λήψη των μετρήσεων. Ο βασικός λόγος που αυτά τα τρία μελετώνται ταυτόχρονα είναι το ότι τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο έχουν σαν σκοπό να μεταφερθούν οι πληροφορίες που παίρνουμε από τα διάφορα όργανα μέτρησης στον υπολογιστή που παρακολουθεί το σύστημα του εργαστηρίου και για να ελέγξουμε το ON/OFF των φορτίων και των DC πηγών (μελλοντικά) . Στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε το PLC της εταιρίας Golden A/S. Ο προγραμματισμός της κεντρική μονάδας CPU του PLC υλοποιείται μέσω του λογισμικού Codesys. Μέσω αυτού πραγματοποιείται μια αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της CPU και του Η/Υ δημιουργώντας στην ουσία έναν TCP/Server (από την πλευρά της CPU) και μεταφέροντας όλα τα δεδομένα μέσω δικτύου Ethernet. Ο υπολογιστής παίζει το ρόλο του "client" και απλά χρησιμεύει στην απεικόνιση και αποθήκευση των μετρήσεων αλλά ταυτόχρονα έχει και τον πλήρη έλεγχο των φορτίων. Το λογισμικό πάνω στο οποίο υλοποιούνται και αναπτύσσονται όλα αυτά είναι το LabVIEW, ένα σχετικά ανοιχτό λογισμικό που δίνει την δυνατότητα να επικοινωνούν διαφορετικά πρωτόκολλα και συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών. Υπάρχει δηλαδή μια αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ χρήστη και συστήματος. Το δίκτυο επικοινωνίας είναι χωρισμένο σε τρία τμήματα, καθένα από τα οποία χρησιμοποιεί το κατάλληλο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο είναι:

- Πρωτόκολλο επικοινωνίας CANbus (CANopen) του οποίου το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι η συμβατότητα με διαφορετικά είδη PLC
- Πρωτόκολλο επικοινωνίας TCP/IP. Αποτελεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ της CPU του PLC και του υπολογιστή.
- Πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus για τη επικοινωνία των πολυοργάνων MIC της DEIF

Κεφάλαιο 2 ■ Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου

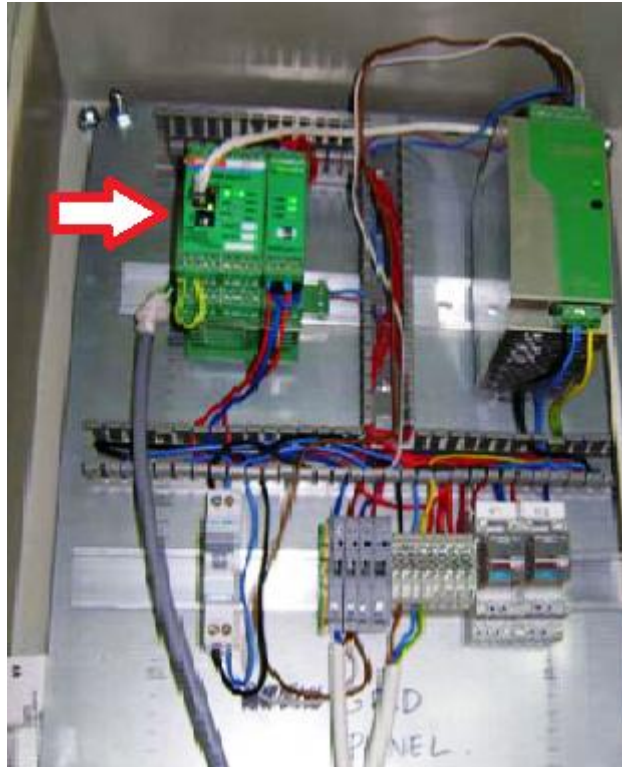
Στην Εικόνα 2.10 που ακολουθεί φαίνεται το επικοινωνιακό διάγραμμα του εργαστηρίου το οποίο είναι χαραγμένο επάνω στο διάγραμμα ισχύος του εργαστηρίου (Εικόνα 2.2) για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό πού βρίσκεται η κάθε συσκευή.



Εικόνα 2.10: Διάγραμμα επικοινωνίας εργαστηρίου

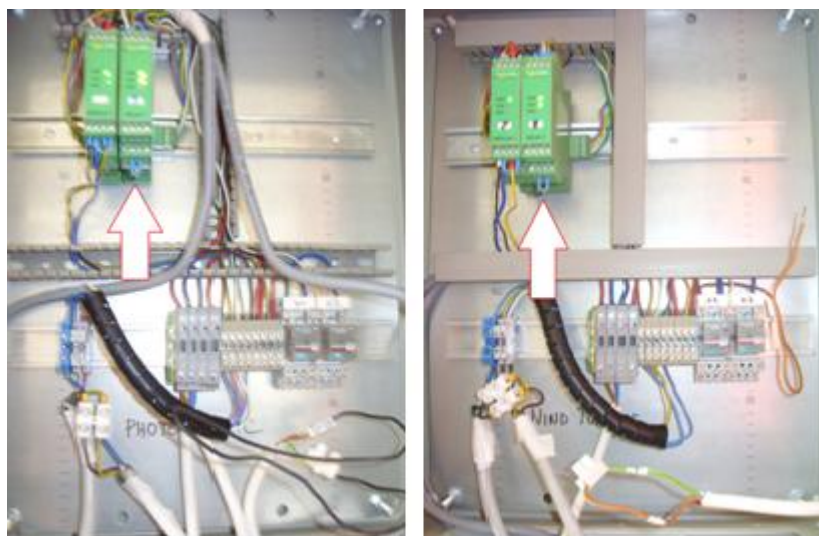
Μπορούμε να δώσουμε κάποια επιπλέον στοιχεία για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό πως ακριβώς λειτουργεί η επικοινωνία του εργαστηρίου. Έτσι έχουμε:

- Την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) του PLC (Εικόνα 2.11), το οποίο μέσω CANbus (πράσινη γραμμή στην Εικόνα 2.10) επικοινωνεί με τις κάρτες (αναλογικές και ψηφιακές) δημιουργώντας έτσι μια αμφίδρομη επικοινωνία λήψης μετρήσεων αλλά και ελέγχου των φορτίων με συγκεκριμένο ρυθμό δειγματοληψίας. Είναι στην ουσία ο εγκέφαλος του συστήματος αφού αυτή ελέγχει τις αναλογικές (AI Can) και τις ψηφιακές κάρτες (DI Can) για τις οποίες θα πούμε περισσότερα στη συνέχεια.



Εικόνα 2.11: CPU του PLC

- Τις αναλογικές κάρτες του PLC (AICan), οι οποίες διαθέτουν 8 κανάλια με την δυνατότητα επιλογής του αναλογικού σήματος μεταξύ των 0-20mA, 4-20mA και 0-10V. Στο εργαστήριο έχουμε χρησιμοποιήσει την επιλογή 0-20mA. Οι αναλογικές κάρτες χρησιμοποιούνται για την λήψη των αναλογικών (DC) μετρήσεων και βρίσκονται στον πίνακα του PV, της ανεμογεννήτριας, των μπαταριών και στον πίνακα της ταράτσας για τον σένσορα της ακτινοβολίας. Στα σημεία δηλαδή που παίρνουμε

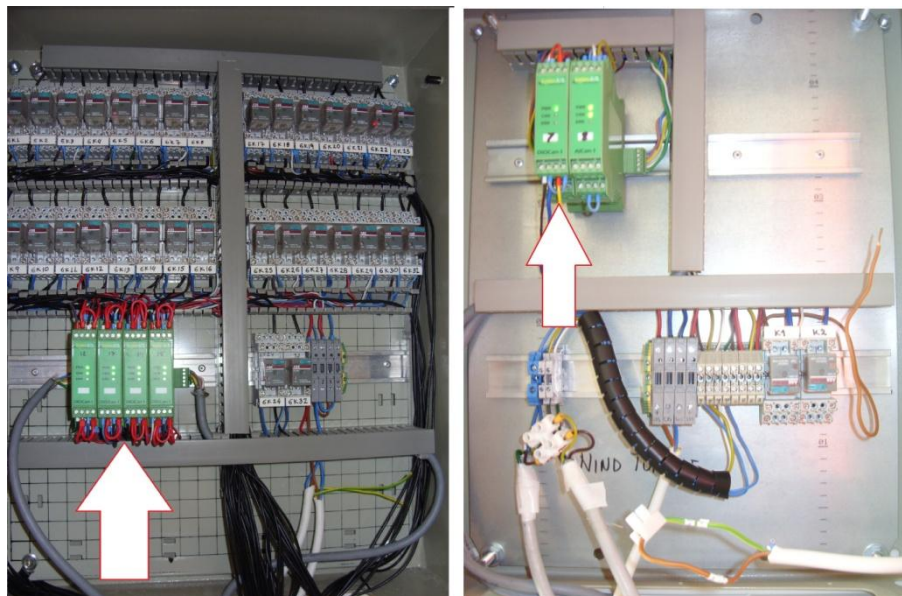


Εικόνα 2.12: Κάρτες AICan PV και ανεμογεννήτριας

Κεφάλαιο 2 ■ Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου

αναλογικές (DC) μετρήσεις. Μερικές από αυτές τις κάρτες φαίνονται στην Εικόνα 2.12. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κάρτες δεν παίρνουν απευθείας τις μετρήσεις καθώς το εύρος 0-20mA που διαθέτουν, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, είναι πολύ μικρό. Για την λήψη λοιπόν μετρήσεων στην μεριά του DC χρησιμοποιούμε μετασχηματιστές ρεύματος και τάσης (LEM). Τα LEM μετατρέπουν τις DC τιμές ρεύματος και τάσης σε ρεύμα τάξεως κάποιων mA ή τάσης κάποιων volt. Στην συνέχεια και αφού σχεδιαστεί κατάλληλα το κύκλωμα σύνδεσης των LEM ώστε να τηρείται το όριο της έντασης του ρεύματος, οδηγείται στην αναλογική κάρτα εντός των επιθυμητών ορίων (0-20mA). Αν για κάποιο λόγο (κακή διαστασιολόγηση στοιχείων της πλακέτας) κάποια μέτρηση ξεπεράσει τα 20mA η είσοδος της αναλογικής κάρτας θα καεί οπότε ο όλος σχεδιασμός απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Στο Παράρτημα Α φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των LEM που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο.

- Τις ψηφιακές κάρτες του PLC (DIOcan), οι οποίες διαθέτουν 8 κανάλια εισόδων / εξόδων και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ON/OFF των φορτίων. Στο μέλλον έχει προβλεφθεί και ο έλεγχος ON/OFF των πηγών (Εικόνα 2.13). Καθεμία κάρτα από τις τέσσερις του πίνακα φορτίων (Εικόνα 2.13), ελέγχει και οκτώ ρελέ μέσα από τα οποία περνούν όλες οι γραμμές ισχύος από τον γενικό πίνακα προς τα φορτία. Κάθε ρελέ δηλαδή ανοίγει ή κλείνει κάποιο φορτίο. Αυτός ακριβώς ο αυτοματοποιημένος έλεγχος των φορτίων μέσω του PLC μας δίνει και τη δυνατότητα να ελέγχουμε το ON/OFF των φορτίων από τον υπολογιστή δίνοντάς μας έτσι πολλές δυνατότητες.

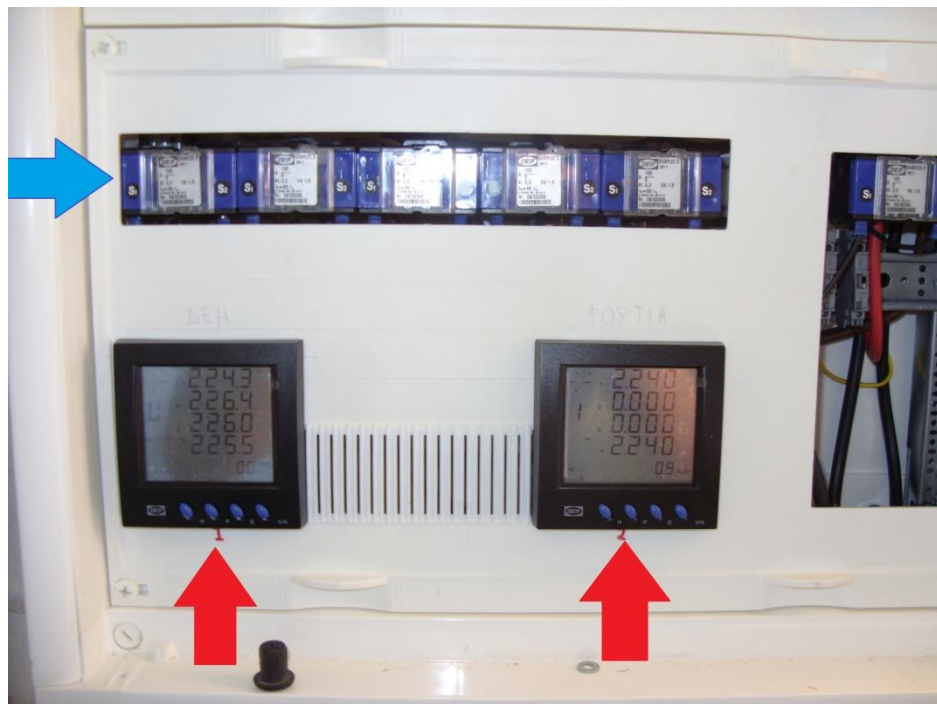


Εικόνα 2.13: Κάρτες DIOcan φορτίων και ανεμογεννήτριας

- Τα πολυόργανα της DEIF, που εκτελούν τις μετρήσεις σε όλο το κομμάτι του AC και μέσω Modbus μεταφέρουν τα δεδομένα αυτά στον Η/Υ. Στο

Κεφάλαιο 2 ■ Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου

εργαστήριο υπάρχουν 5 πολυόργανα που παίρνουν μετρήσεις από τα φωτοβολταϊκά, τις μπαταρίες, την ανεμογεννήτρια, τη ΔΕΗ και από τα φορτία. Για τη σύνδεση του δικτύου των πολυοργάνων με τον υπολογιστή (θύρα USB) είναι απαραίτητη η χρήση ενός μετατροπέα RS232 σε USB/RS485. Η σύνδεση μεταξύ τους γίνεται σε σειρά ενώ στο τελευταίο της τοπολογίας αυτής συνδέεται και η κατάλληλη τερματική αντίσταση των 120Ω μεταξύ των Α, Β (Παράρτημα Α). Η συνδεσμολογίες του πολυοργάνου των φορτίων και της ΔΕΗ βρίσκονται στο Παράρτημα Γ. Στα σχέδια διακρίνονται και οι μετασχηματιστές ρεύματος οι οποίοι υποβιβάζουν το ρεύμα μέτρησης με λόγο 100/5 ώστε να μην καταστραφεί το πολυόργανο. Οι μετασχηματιστές ρεύματος είναι ένας ανά φάση στα πολυόργανα της ΔΕΗ και των φορτίων (με την πρόβλεψη για μελλοντική επέκταση σε τριφασικό δίκτυο) και ένας στον Sunny Island, 7 δηλαδή συνολικά μετασχηματιστές. Στην Εικόνα 2.14 εκτός από τα πολυόργανα της ΔΕΗ και των φορτίων (κόκκινο βέλος) φαίνονται και οι μετασχηματιστές ρεύματός τους (μπλε βέλος) (6 από τους 7 του εργαστηρίου).

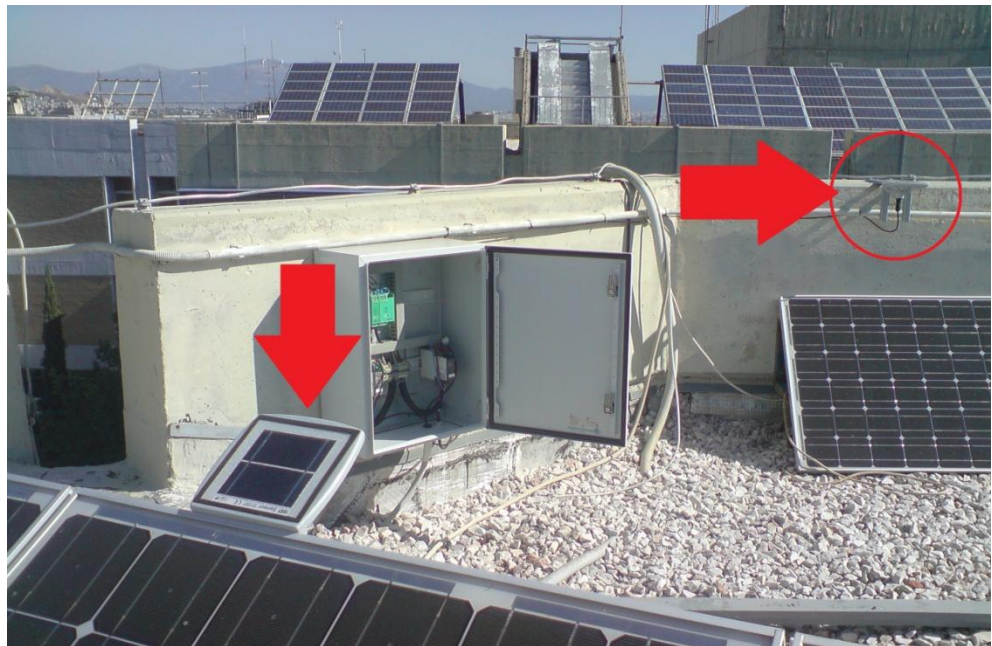


Εικόνα 2.14: Πολυόργανα DEIF ΔΕΗ-φορτίων και οι μετασχηματιστές ρεύματος

- Οι μετρητές ηλιοφάνειας που υπάρχουν στη ταράτσα του εργαστηρίου για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο αλλά και στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών. Η διπλή μέτρηση χρησιμεύει στην επαλήθευση και σύγκριση των θεωρητικών μοντέλων μελέτης της ηλιακής ακτινοβολίας (ισοτροπικό, HDKR και PEREZ). Στην πραγματικότητα και για την λήψη αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιούνται οι αναλογικές

Κεφάλαιο 2 ■ Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου

κάρτες AICan αλλά είναι τόσο διαφορετική η φύση αυτών των μετρήσεων που έπρεπε να αναφερθούμε εκτενέστερα. Οι αισθητήρες ηλιοφάνειας που χρησιμοποιήθηκαν είναι του ISET και είναι στην ουσία μονοκρυσταλλικά πυρανόμετρα. Οι αισθητήρες εκτός από την ακτινοβολία μετρούν και τη θερμοκρασία (την εσωτερική τους) καθώς από κάποια θερμοκρασία και πάνω υπάρχει ειδικός συντελεστής διόρθωσης της μετρούμενης ακτινοβολίας. Εδώ όπως και πριν οι μετρήσεις δεν πηγαίνουν απευθείας στις κάρτες, καθώς οι έξοδοι του αισθητήρα ακτινοβολίας για την μεν ακτινοβολία είναι ένα αναλογικό 0-100mV για την δε μέτρηση της θερμοκρασίας του χρησιμοποιείται ένα PT1000. Έτσι μεταξύ των καρτών και των αισθητήρων υπάρχουν κάποιοι μετατροπείς. Για την ακτινοβολία χρησιμοποιούμε έναν μετατροπέα της RHOENIX CONTACT έτσι ώστε να πάρουμε τα 0-20mA που δουλεύει η κάρτα. Για την θερμοκρασία χρησιμοποιούμε έναν μετατροπέα της ABB που μετατρέπει το PT1000 σε 0-20mA. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα και των μετατροπέων φαίνονται στο Παράρτημα Α και η συνδεσμολογία του αισθητήρα στο Παράρτημα Γ. Στην Εικόνα 2.15 που ακολουθεί φαίνονται οι δύο αισθητήρες όπως είναι τοποθετημένοι στην ταράτσα.



Εικόνα 2.15: Αισθητήρες ακτινοβολίας ISET στην ταράτσα του εργαστηρίου

- Τέλος όλα αυτά συνδέονται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Συγκεκριμένα η CPU του PLC συνδέεται μέσω δικτύου Ethernet στην αντίστοιχη θύρα του υπολογιστή ενώ τα πολυόργανα μέσω του μετατροπέα RS232 σε RS485 που αναφέραμε και πιο πάνω συνδέονται σε μια θύρα USB του υπολογιστή. Στον υπολογιστή υπάρχει το SCADA του εργαστηρίου σε LabVIEW. Μέσω του LabVIEW δηλαδή έχουμε τον πλήρη

έλεγχο των ψηφιακών καρτών (DIOCan) που ελέγχουν το άνοιγμα και το κλείσιμο των φορτίων, άρα των έλεγχο των φορτίων. Επίσης παίρνουμε και όλες τις αναλογικές μετρήσεις τόσο από τα πολυόργανα όσο και από τις αναλογικές κάρτες (AICan) τις οποίες αποθηκεύουμε ή επεξεργαζόμαστε αν θέλουμε. Γενικά το LabVIEW στο οποίο είναι φτιαγμένο το SCADA του εργαστηρίου είναι ένα πρόγραμμα με άπειρες δυνατότητες για τις οποίες θα μιλήσουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια. Εδώ, μιας και είμαστε στο κομμάτι της επικοινωνίας, αξίζει να αναφέρουμε τη δυνατότητα που μας δίνει το LabVIEW για απομακρυσμένο έλεγχο, καθώς εφόσον ο υπολογιστής που τρέχει το πρόγραμμα (του εργαστηρίου στην περίπτωση μας) είναι συνδεδεμένος στο Internet δίνει τη δυνατότητα να ελέγξουμε το σύστημα από οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη αρκεί να έχουμε έναν υπολογιστή συνδεδεμένο στο Internet.

2.5 Φορτία εργαστηρίου και πειράματος

Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται γιατί είναι διαφορετικά τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση του πειράματος και διαφορετικά αυτά που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στο εργαστήριο. Ο μοναδικός λόγος που έγινε αυτό είναι γιατί κατά την διεξαγωγή του πειράματος δεν είχε τελειώσει η τοποθέτηση των τωρινών φορτίων. Έτσι τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα είναι 11 λαμπτήρες πυράκτωσης συνολικής ισχύος 910 W που είχαν την δυνατότητα να ανάβουν ανεξάρτητα έτσι ώστε να μπορούμε να μεταβάλουμε το φορτίο. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν και 4 πηνία 326,5 VAr το καθένα (1306 VAr συνολικά) σαν επαγωγικό φορτίο. Και τα πηνία είχαν την δυνατότητα ανεξάρτητης μεταξύ τους λειτουργίας. Τα φορτία που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στο εργαστήριο είναι πολύ διαφορετικά αφού στο ωμικό φορτίο έχουν προστεθεί ειδικές αντιστάσεις συνολικής ισχύος 15 kW που βρίσκονται στην ταράτσα του εργαστηρίου σε ειδικό πίνακα. Το συνολικό επαγωγικό φορτίο αποτελείται πλέον από 10 πηνία και είναι 3265 VAr. Υπάρχει και ένα μοτέρ ισχύος 0,5Hp. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που το πείραμα έγινε σε διαφορετικά φορτία από αυτά που διαθέτει τώρα το εργαστήριο, στο πρόγραμμα που έχει κατασκευασθεί στο LabVIEW για τον έλεγχο του εργαστηρίου έχει γίνει ειδική μέριμνα και λειτουργεί και για τα τωρινά φορτία του εργαστηρίου.

2.6 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση εργαστηρίου



Εικόνα 2.16: Γενικός πίνακας εργαστηρίου

κάτω από την επίβλεψη και τις οδηγίες του κυρίου Π. Ρωμανού, ο γενικός πίνακας κατασκευάστηκε και διαστασιολογήθηκε με βάση τα διεθνή στάνταρτς. Πρέπει να αναφέρουμε επίσης ότι παρόλο που το εργαστήριο λειτουργεί μονοφασικά, όλος ο εξοπλισμός και τα υλικά είναι διαστασιολογημένα για τριφασικό σύστημα, αφού αυτή είναι η φυσική εξέλιξη του εργαστηρίου. Στην Εικόνα 2.16 φαίνεται ο γενικός πίνακας του εργαστηρίου και στο Παράρτημα Γ υπάρχει το ηλεκτρολογικό σχέδιο όπου φαίνονται τόσο οι διατομές των καλωδίων όσο και οι ονομαστικές τιμές των ασφαλειών σε όλες τις γραμμές του πίνακα. Στο Παράρτημα Α φαίνονται επίσης και πολλά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και των συσκευών που απαρτίζουν το εργαστήριο.

Συμπερασματικά, έχοντας περιγράψει όλα τα βασικά μέρη του εργαστηρίου βλέπουμε ότι το εργαστήριο ΣΗΕ στη σημερινή του μορφή είναι σύμφωνο με τα στάνταρτς ασφαλείας που ισχύουν διεθνώς. Επίσης ο εξοπλισμός του μικροδικτύου του εργαστηρίου δίνει πολλές δυνατότητες για πειράματα και δοκιμές, αφού πλέον υπάρχει

Είναι πολύ σημαντικό κατά την ηλεκτρολογική εγκατάσταση να γίνεται σωστή διαστασιολόγηση με βάση τα ισχύοντα πρότυπα αλλά και λαμβάνοντας υπόψη και ενδεχόμενες μελλοντικές ανάγκες που μπορεί να προκύψουν κ. Προφανώς όταν μιλάμε για ένα εργαστήριο που μέρα με τη μέρα βελτιώνεται και που έχει μια δυναμική, όπως είναι το εργαστήριο ΣΗΕ στην περίπτωση μας, τότε η πρόβλεψη για μελλοντικές ανάγκες είναι πολύ σημαντική. Η διαστασιολόγηση αναφέρεται στην ορθή επιλογή των μέσων προστασίας, των διατομών, αλλά και όλων των υπόλοιπων υλικών έτσι ώστε να προστατέψουμε πρώτα απ' όλα τον άνθρωπο αλλά και τον εξοπλισμό μας. Στο εργαστήριο με την συνεργασία όλων των παιδιών που έκαναν τις διπλωματικές τους εργασίες και πάντα

Κεφάλαιο 2 ■ Περιγραφή Συστήματος Εργαστηρίου

η δυνατότητα προσομοίωσης ενός σεναρίου φορτίων (προφίλ κατανάλωσης) και η λεπτομερής παρακολούθηση των αποτελεσμάτων εποπτικά μέσω του υπολογιστή καθώς και η αποθήκευση αυτών για περαιτέρω μελέτη. Μπορούν επίσης να παρατηρηθούν αποδόσεις και απώλειες στους διάφορους αντιστροφείς δίνοντάς μας μια εικόνα που μπορεί να συγκριθεί με του κατασκευαστή (αξιολόγηση αντιστροφών)κτλ. Αυτές αλλά και άλλες πολλές δυνατότητες ανοίχτηκαν στο εργαστήριο στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, αφού καταφέρνει να μας δώσει στον υπολογιστή (μέσω του LabVIEW) τόσο τον έλεγχο όσο και τη εποπτεία του μικροδικτύου του εργαστηρίου των ΣΗΕ.

3. Δυνατότητες Εργαστηρίου

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τις δυνατότητες του εργαστηρίου των ΣΗΕ. Πιο συγκεκριμένα θα μιλήσουμε για τις δυνατότητες που απέκτησε το εργαστήριο στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, ενώ θα αναφέρουμε και κάποια βασικά κομμάτια της εργασίας που έγινε για να αποκτηθούν αυτές. Οι δυνατότητες αυτές έχουν να κάνουν τόσο με τον έλεγχο των συσκευών και των συστημάτων του εργαστηρίου όσο και με την λήψη μετρήσεων. Θα αναφερθούμε δηλαδή πιο λεπτομερώς στις δυνατότητες του LabVIEW. Πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι έγιναν και κάποιες ρυθμίσεις μέσω του Codesys για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ των PLC και του LabVIEW. Αυτές οι ρυθμίσεις φαίνονται στο Παράρτημα Β.

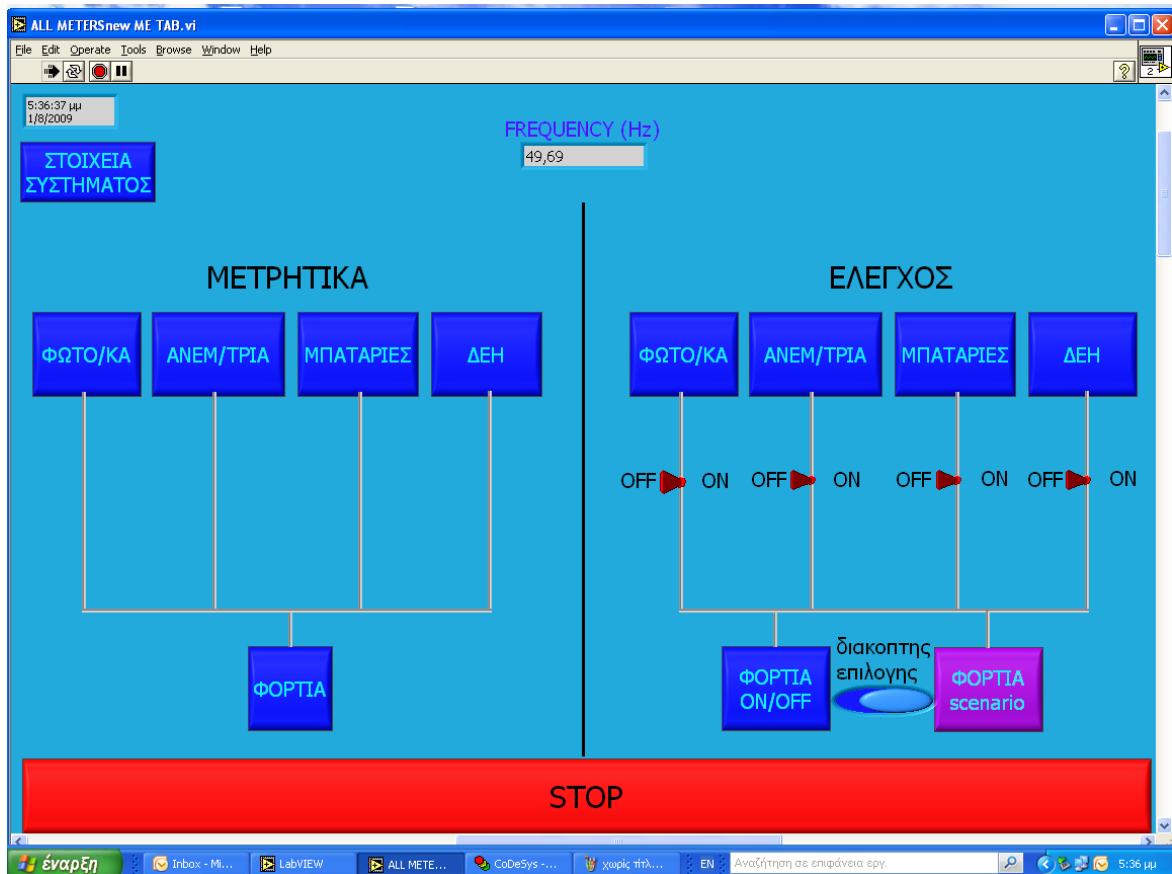
3.1 Δυνατότητες και βασικά στοιχεία του LabVIEW

Το LabVIEW είναι ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για προσομοίωση συστημάτων στον υπολογιστή, για εποπτεία συστημάτων αλλά και για τον έλεγχό τους. Στην περίπτωση μας, μέσω του LabVIEW, εποπτεύεται και ελέγχεται όλο το σύστημα του εργαστηρίου. Είναι το πρόγραμμα με το οποίο έρχεται σε επαφή οποιοσδήποτε θέλει να δει τις λειτουργίες του συστήματος. Είναι με λίγα λόγια η καρδιά του συστήματός μας. Οι λόγοι που επιλέχθηκε το LabVIEW είναι πολλοί. Καταρχάς πρόκειται για έναν σχετικά ανοιχτό "κώδικα" που δεν έχει εξάρτηση από τα προϊόντα καμίας εταιρείας δίνοντας έτσι σε μας τη δυνατότητα να επιλέξουμε προϊόντα από διάφορες εταιρείες με γνώμονα πάντα την ποιότητα αλλά και την τιμή τους. Έχει τη δυνατότητα να συνεργάζεται με άλλα προγράμματα αυξάνοντας ακόμα περισσότερο της δυνατότητές του ενώ ταυτόχρονα η δημιουργία του "κώδικα" είναι σχετικά απλή, αφού δεν έχει καμία σχέση με τον κοινό προγραμματισμό (γι' αυτό και η λέξη κώδικας βρίσκεται μέσα σε εισαγωγικά). Στην πραγματικότητα η δημιουργία του κώδικα μοιάζει περισσότερο με ηλεκτρολογικό σχέδιο αφού εναπόκειται στη σύνδεση των διαφόρων λειτουργιών/οργάνων όπως ακριβώς συνδέονται τα διάφορα στοιχεία που απαρτίζουν ένα ηλεκτρολογικό σχέδιο (μοιάζει περισσότερο με block διάγραμμα). Το βασικό πλεονέκτημα βέβαια που έχει το LabVIEW είναι η εύκολη μορφοποίηση. Μας δίνει τη δυνατότητα να "κόβουμε και να ράβουμε" διάφορα κομμάτια κώδικα ανάλογα με τις απαιτήσεις μας σε ταχύτητα ή σε όγκο δεδομένων. Έτσι αν για παράδειγμα μας ενδιέφερε να παρακολουθήσουμε μόνο ένα τμήμα του εργαστηρίου (πχ ανεμογεννήτρια), θα μπορούσαμε πολύ εύκολα να μην παίρνουμε μετρήσεις από το

Κεφάλαιο 3 ■ Δυνατότητες εργαστηρίου

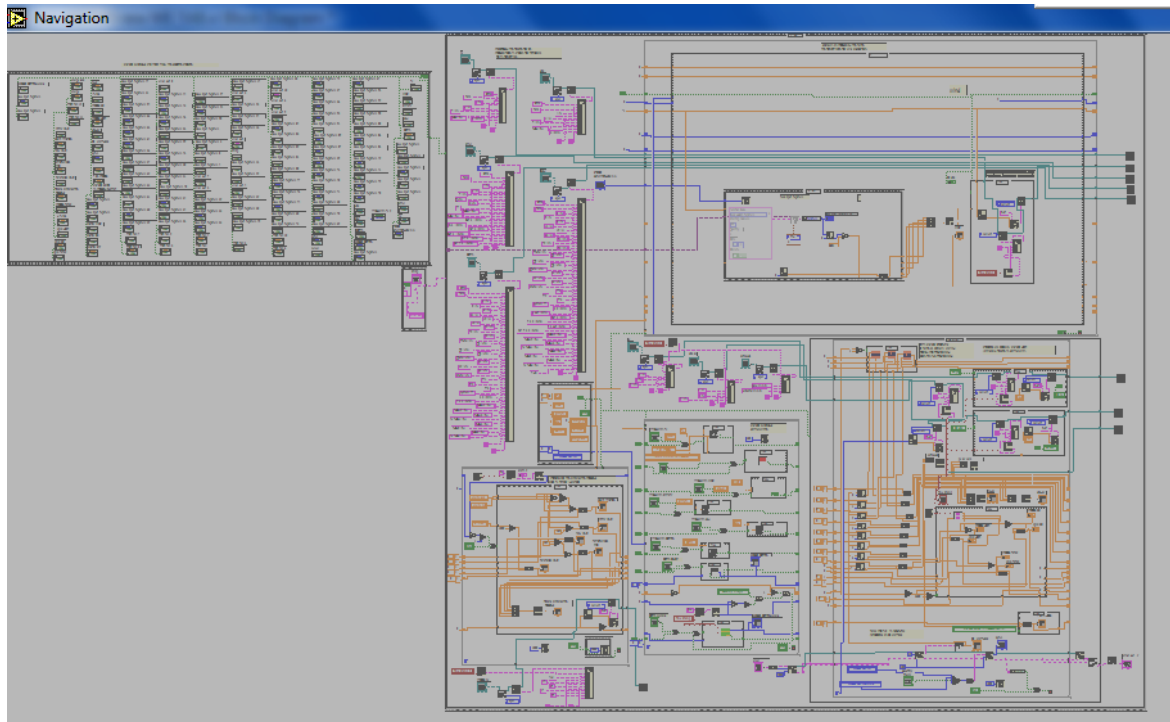
υπόλοιπο εργαστήριο αυξάνοντας έτσι πολύ την ταχύτητα που δειγματοληπτούνται τα δεδομένα. Επίσης αν το δούμε σαν εμπορικό προϊόν που θα μπορούσε να πουληθεί και να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε κατανάλωση ή από μονάδα παραγωγής τότε θα μπορούμε να παρακολουθούμε τις συσκευές του πελάτη παραλείποντας όσα κομμάτια του προγράμματος είναι άχρηστα γι' αυτόν. Μια πολύ σημαντική δυνατότητα που μας δίνει επίσης το Labview είναι ο απομακρυσμένος έλεγχος μέσω του Web Publishing Tool που διαθέτει. Έτσι μας αρκεί ένας υπολογιστής και μια σύνδεση στο ίντερνετ για να έχουμε από παντού τον έλεγχο του συστήματός μας. Περισσότερες λεπτομέρειες αλλά και αρκετές εικόνες που θα κάνουν πιο διαφωτιστική την εικόνα του LabVIEW θα δούμε στη συνέχεια. Κάθε υλοποίηση κώδικα στο LabVIEW έχει δύο βασικά μέρη το Front Panel και το Block Diagram:

- Το **Front Panel** είναι το μέρος του προγράμματος με το οποίο έρχεται σε επαφή ο τελικός χρήστης. Κατά την κατασκευή του κώδικα στο *Front Panel* μπορούμε να βάλουμε οτιδήποτε θεωρούμε ότι είναι χρήσιμο στο χρήστη τόσο για την εποπτεία του συστήματος όσο και για τον έλεγχό του. Μπορούμε για παράδειγμα να βάλουμε κάποια διαγράμματα που ανά πάσα στιγμή δείχνουν τιμές μεγεθών που μας ενδιαφέρουν άμεσα ή και μόνο την τιμή των μεγεθών, διάφορους μετρητές που δείχνουν παραστατικά την μεταβολή των μεγεθών μας, διακόπτες που να ανοίγουν και να κλείνουν τα φορτία αλλά και άλλα πολλά πράγματα που κάνουν την οθόνη του υπολογιστή να μοιάζει με ένα κέντρο ελέγχου. Στην περίπτωσή μας και λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων δεν υπάρχουν στην αρχική οθόνη του *Front Panel* διαγράμματα ή μετρητές ωστόσο απλά με το πάτημα του κουμπιού που αντιστοιχεί στην κάθε συσκευή του εργαστηρίου μπαίνουμε σε ένα δεύτερο μενού που μας δίνει διαγράμματα για κάθε κρίσιμο μέγεθος της κάθε συσκευής που παρακολουθούμε. Στη συνέχεια θα δούμε πιο παραστατικά και με περισσότερες λεπτομέρειες τι συνεπάγεται το πάτημα του κάθε κουμπιού του *Front Panel*. Θα δούμε δηλαδή ποιές είναι η δυνατότητες του έχει το πρόγραμμά μας. Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται το κεντρικό *Front Panel* του LabVIEW του εργαστηρίου όπου διακρίνουμε την ημερομηνία και την ώρα (πάνω αριστερά) και την συχνότητα (πάνω στη μέση). Αυτές οι δύο τιμές είναι οι μόνες που εμφανίζονται στο *front panel*.



Εικόνα 3.1: Κεντρικό front panel του LabVIEW του εργαστηρίου

Το **Block Diagram** είναι στην ουσία η σύνδεση όλων των αντικειμένων που βρίσκονται στο Front Panel καθώς και η επικοινωνία με τα διάφορα όργανα μέτρησης και ελέγχου του εργαστηρίου έτσι ώστε το Front Panel να επιτελεί το σκοπό της ύπαρξής του. Δηλαδή τον έλεγχο και την εποπτεία του συστήματος του εργαστηρίου. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω, το **Block Diagram** παρόλο που δεν φαίνεται στον χρήστη του είναι αυτό που στην ουσία κάνει όλη τη δουλειά. Στην Εικόνα 3.2 που ακολουθεί φαίνεται μια γενική εικόνα του **Block Diagram**. Όπως και στο Front Panel που υπάρχουν και άλλες οθόνες ανάλογα με το κουμπί που θα πατήσει ο χρήστης στην οθόνη, έτσι και το **Block Diagram** έχει πολύ περισσότερο "κώδικα" από αυτόν που φαίνεται στην Εικόνα 3.6 καθώς για κάθε μέτρηση που εμφανίζεται στο Front Panel υπάρχει και ένα αντίστοιχο κομμάτι στο **Block Diagram**. Μπορούμε να πούμε δηλαδή ότι πρόκειται για ένα "στιγμιότυπο" του **Block Diagram**, όπου τα εισαγωγικά χρησιμοποιούνται για να τονίσουν ότι η έννοια του στιγμιότυπου είναι μεταφορική καθώς δεν αλλάζει με το χρόνο η εικόνα του **Block Diagram** αλλά με την λειτουργία που επιτελεί. Στο Παράρτημα Β φαίνονται μερικές εικόνες από τμήματα του **Block Diagram** της υλοποίησης του εργαστηρίου.

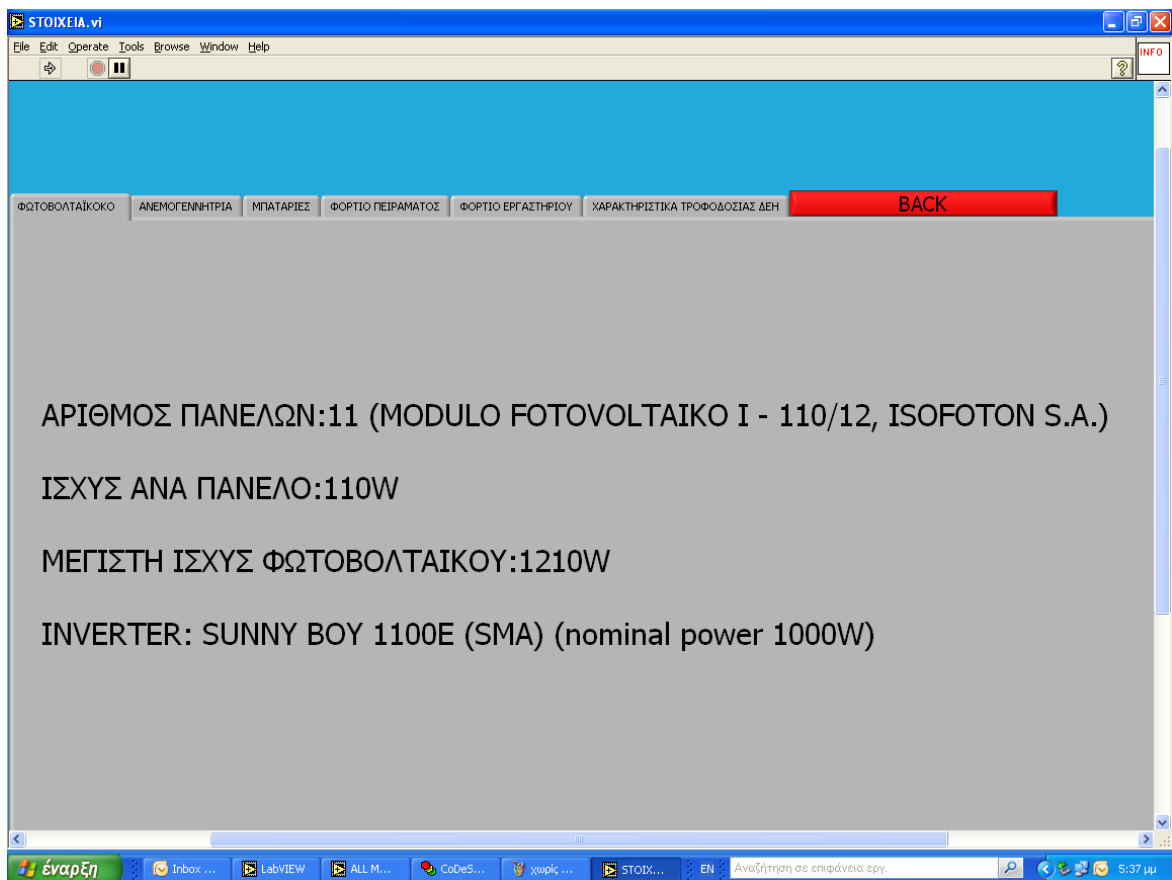


Εικόνα 3.2: Γενική εικόνα του Block Diagram του εργαστηρίου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1 το Front Panel είναι χωρισμένο σε δύο μέρη που μοιάζουν πανομοιότυπα. Τα δύο αυτά μέρη είναι τα **μετρητικά** και ο **έλεγχος**. Τα κουμπιά που βρίσκονται στα μετρητικά εμφανίζουν τις μετρήσεις της κάθε συσκευής (θα δούμε πιο αναλυτικά παρακάτω) ενώ τα κουμπιά που βρίσκονται στον έλεγχο είναι για τον έλεγχο του ON/OFF των συσκευών και των φορτίων. Αξίζει να σημειωθεί τα κουμπιά που φαίνεται να ελέγχουν το ON/OFF των πηγών είναι περισσότερο διακοσμητικά αφού με τον εξοπλισμό του εργαστηρίου κατά το πείραμα, δεν υπήρχε η δυνατότητα ελέγχου των. Στο μέλλον ωστόσο μπορεί να προστεθεί και αυτή η δυνατότητα γι' αυτό και η ύπαρξη των κουμπιών αυτών. Στη συνέχεια θα δούμε τι εμφανίζει το πάτημα του κάθε κουμπιού και θα πούμε δυο λόγια γι' αυτά.

➤ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με το πάτημα αυτού του κουμπιού, ο χρήστης μπαίνει σε ένα άλλο μενού με διάφορες καρτέλες που η κάθε μία δίνει τα στοιχεία των συσκευών του εργαστηρίου. Στην Εικόνα 3.3 βλέπουμε το μενού που εμφανίζεται κατά το πάτημα του **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**. Η εικόνα δείχνει τα στοιχεία του φωτοβολταϊκού πάρκου του εργαστηρίου, ωστόσο απλά με ένα κλικ του ποντικιού σε μία από τις άλλες καρτέλες θα πάρουμε τα στοιχεία για οποιοδήποτε μέρος του συστήματος μας ενδιαφέρει (π.χ. ανεμογεννήτρια, μπαταρίες, φορτία κτλ)



Εικόνα 3.3:Μενού "ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ"

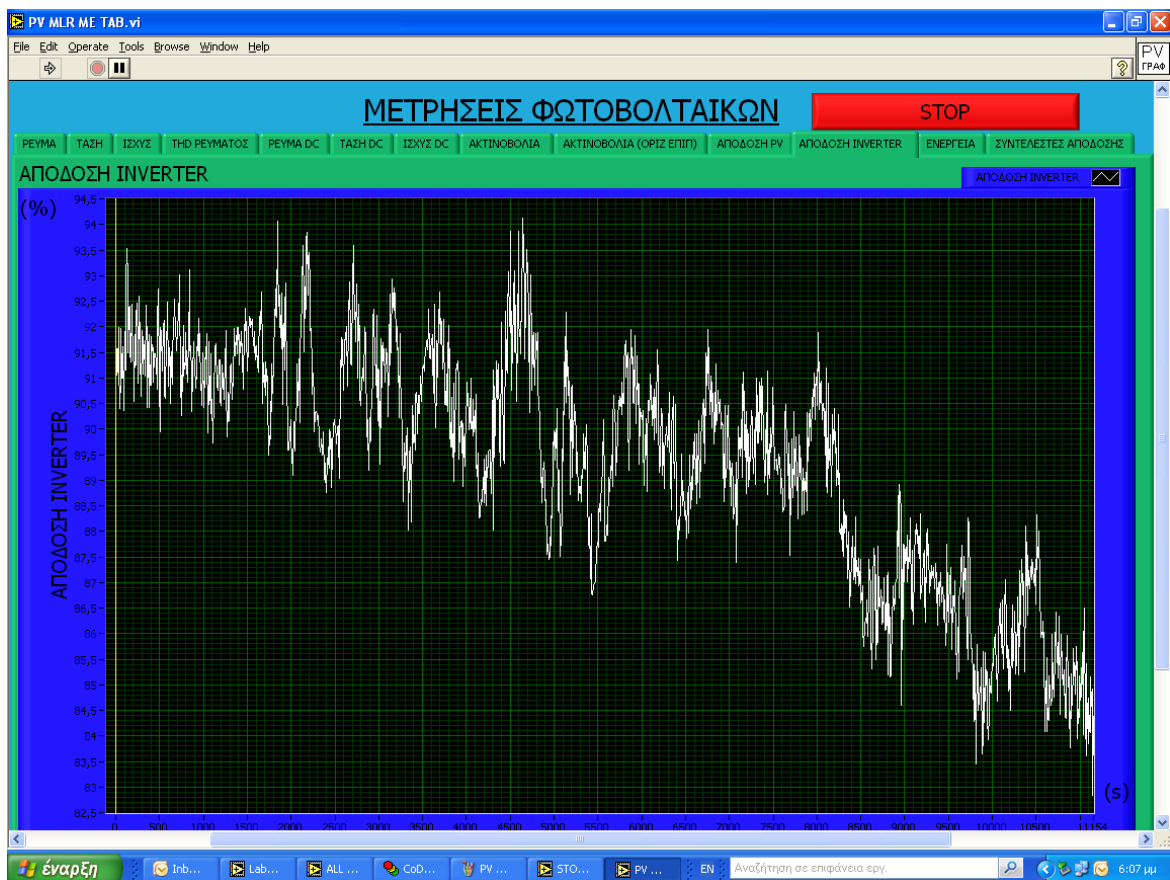
Στο τμήμα των μετρητικών τα κουμπιά που εμφανίζονται στο Front Panel εμφανίζουν αντίστοιχα κατά το πάτημά τους:

➤ ΦΩΤΟ/ΚΑ

Όπως λέει και το όνομα αυτού του κουμπιού με το πάτημα του εμφανίζονται όλες οι μετρήσεις που είναι σχετικές με τα φωτοβολταϊκά του εργαστηρίου. Οι μετρήσεις που παίρνουμε και που εμφανίζονται στα

Κεφάλαιο 3 ■ Δυνατότητες εργαστηρίου

διαγράμματα είναι η DC και η AC τάση, το DC και το AC ρεύμα, η DC και η AC ισχύς του συστήματος των πανέλων, η ακτινοβολία σε οριζόντιο αλλά και στο επίπεδο των πανέλων, το THD του ρεύματος η απόδοση των φωτοβολταϊκών, η απόδοση του inverter, η ενέργεια που δίνουν τα φωτοβολταϊκά, η σύγκριση των μοντέλων του ήλιου και οι συντελεστές απόδοσης του φωτοβολταϊκού πάρκου για τους οποίους θα πούμε περισσότερα στο κεφάλαιο 5. Στην Εικόνα 3.4 που ακολουθεί φαίνεται η καρτέλα που μας δίνει την απόδοση του inverter, μία από τις επιλογές του μενού "ΦΩΤΟ/ΚΑ"



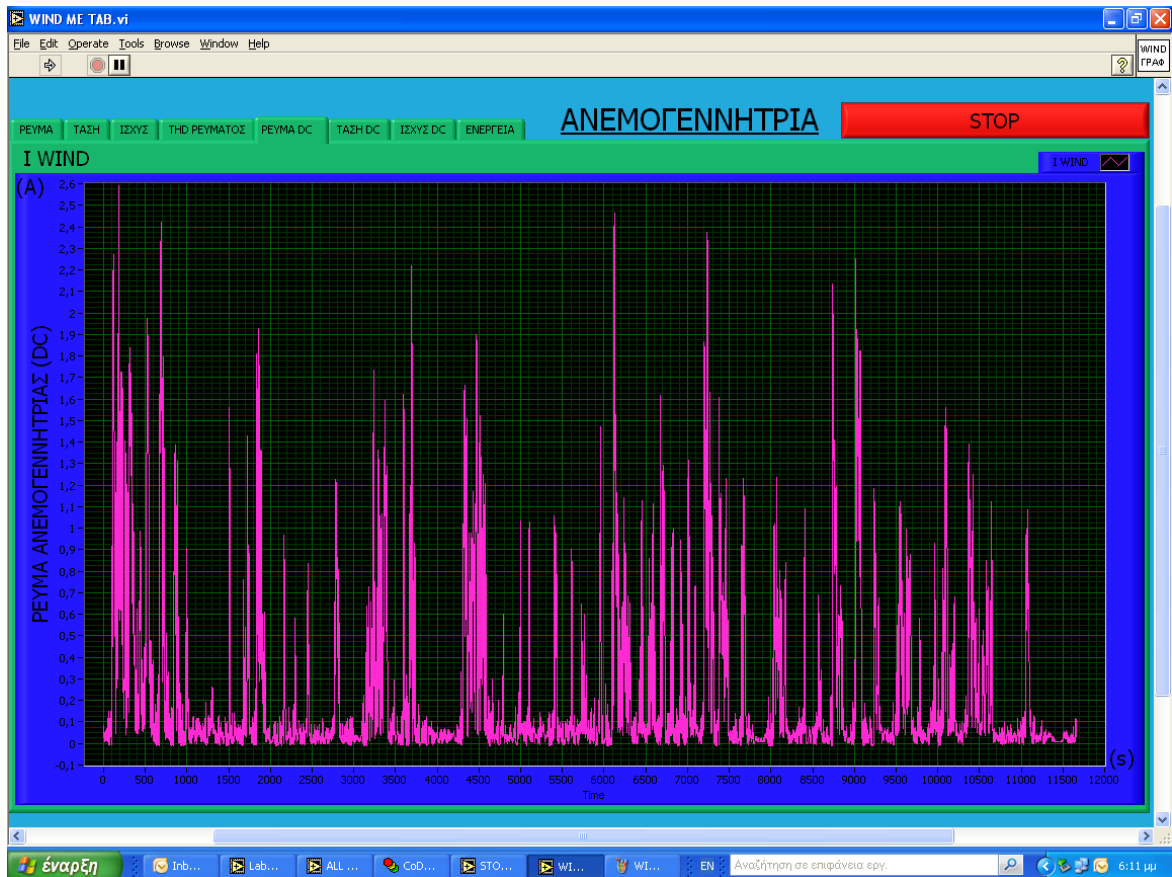
Εικόνα 3.4: Μενού "ΦΩΤΟ/ΚΑ"

➤ **ANEM/ΤΡΙΑ**

Με το πάτημα αυτού του κουμπιού θα εμφανιστούν οι μετρήσεις που έχουν να κάνουν με την ανεμογεννήτρια. Οι μετρήσεις αυτές είναι όπως και στα φωτοβολταϊκά η DC και η AC τάση, το DC και το AC ρεύμα, η DC και η AC ισχύς της ανεμογεννήτριας, το THD του ρεύματος και η ενέργεια που δίνει η ανεμογεννήτρια. Στην Εικόνα 3.5 βλέπουμε το DC ρεύμα της

Κεφάλαιο 3 ■ Δυνατότητες εργαστηρίου

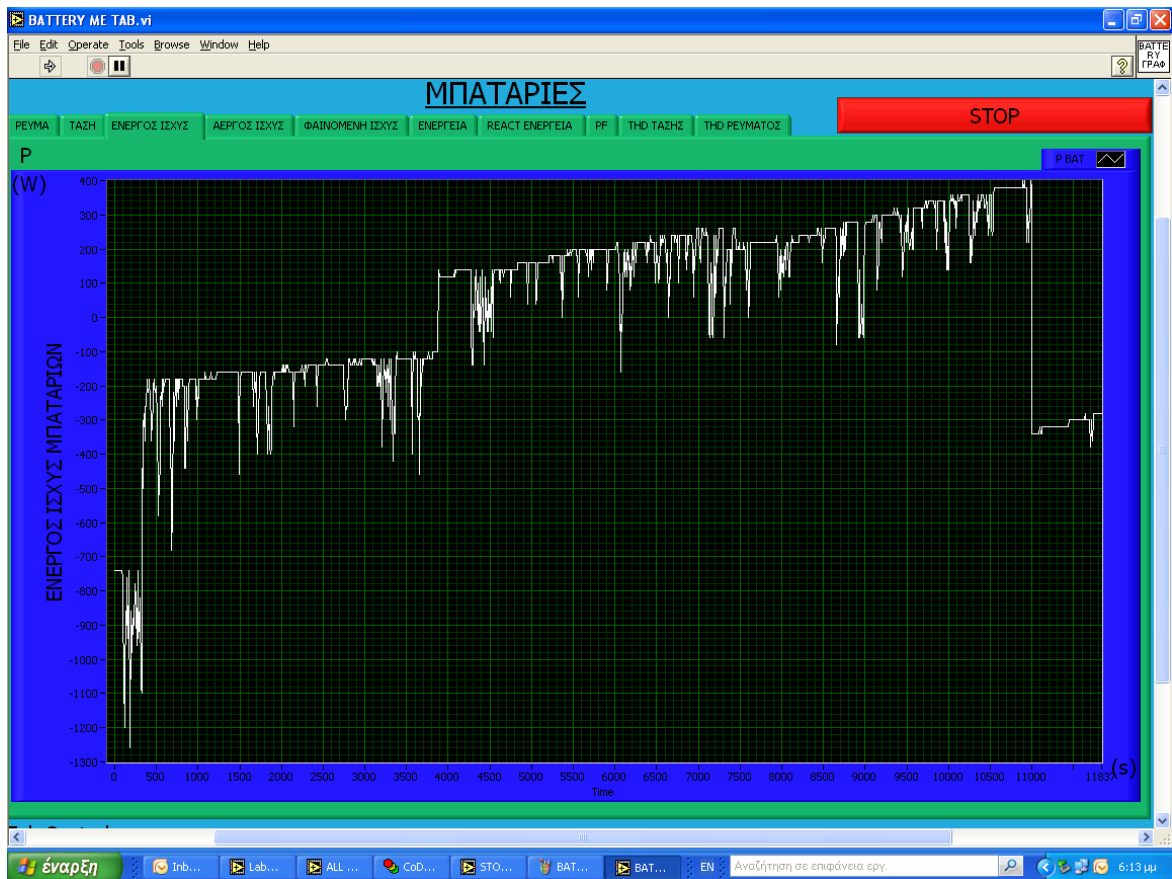
ανεμογεννήτριας που είναι μία από τις δυνατές καρτέλες του μενού "ANEM/ΤΡΙΑ"



Εικόνα 3.5: Μενού "ANEM/ΤΡΙΑ"

➤ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

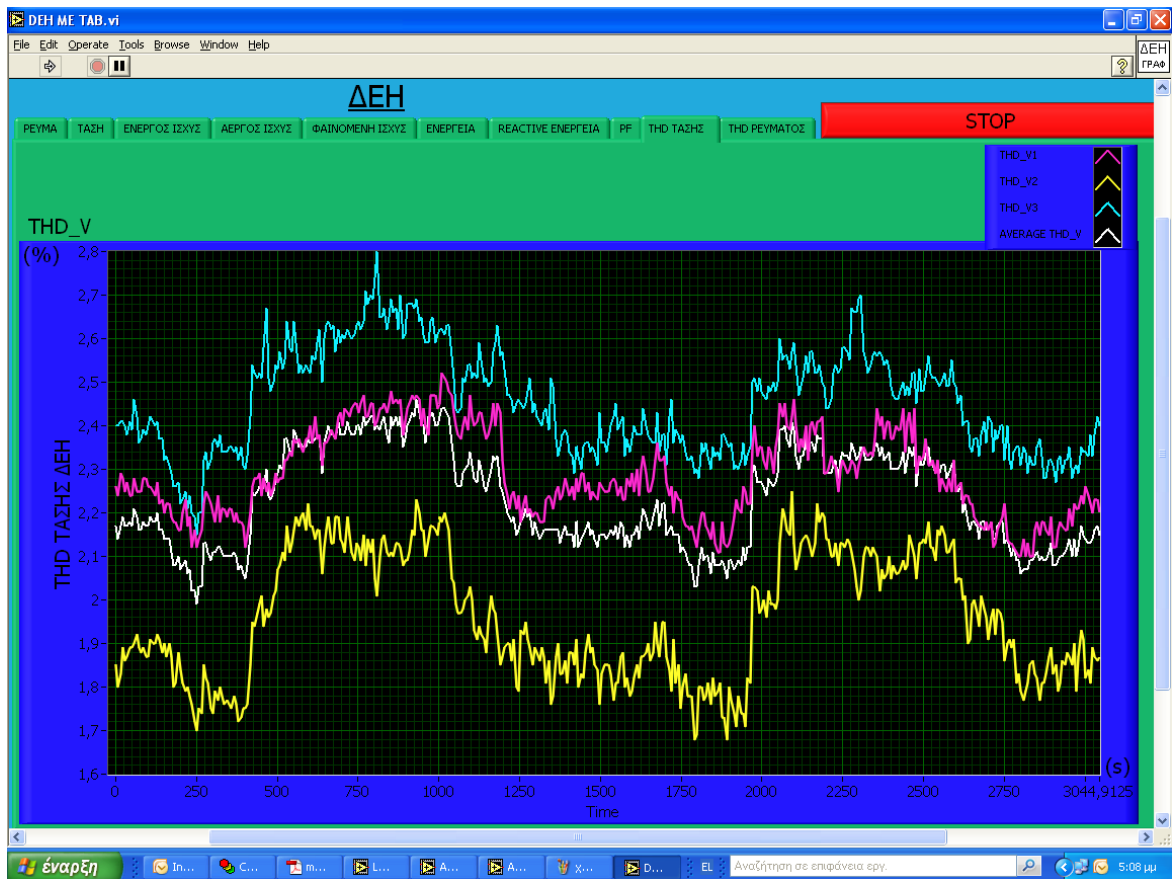
Όταν ο χρήστης πατήσει το κουμπί μπαταρίες θα εμφανιστούν οι βασικές μετρήσεις που έχουν να κάνουν με τις μπαταρίες. Οι μετρήσεις αυτές είναι όλες στο AC κομμάτι, δηλαδή μετά την έξοδο του inverter των μπαταριών (SUNNY ISLAND). Το μενού αυτό έχει τις παρακάτω μετρήσεις: ρεύμα, τάση, ενεργός ισχύς, άεργος ισχύς, φαινόμενη ισχύς, ενέργεια, (reactive) άεργος ενέργεια (αυτή που οφείλεται στην άεργο ισχύ), pf (συντελεστής ισχύος), THD τάσης και THD ρεύματος. Εδώ έχουμε περισσότερες μετρήσεις αφού υπό ορισμένες συνθήκες οι μπαταρίες μπορούν να είναι η μοναδική πηγή του εργαστηρίου (όπως και στο πείραμα). Στην Εικόνα 3.6 βλέπουμε το μενού "ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ"



Εικόνα 3.6: Μενού "ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ"

➤ **ΔΕΗ**

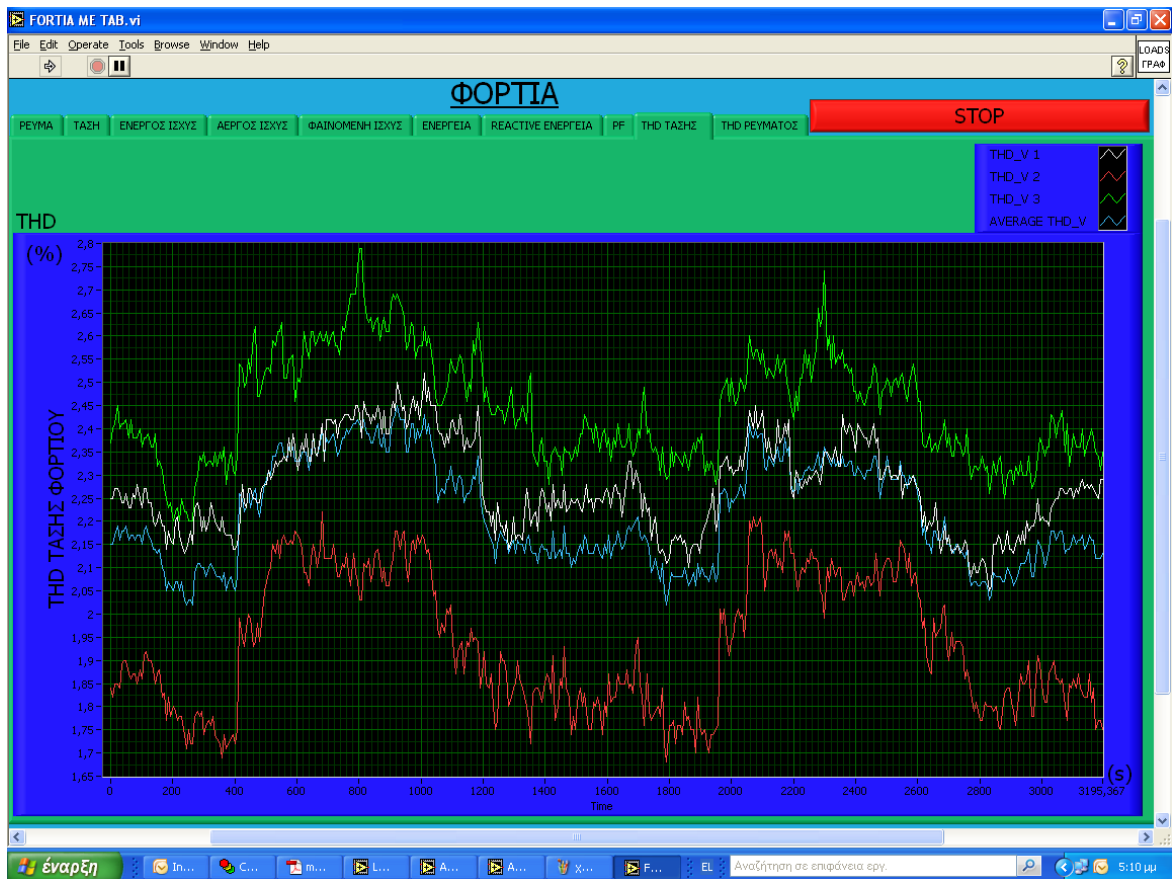
Με το πάτημα αυτού του κουμπιού εμφανίζονται οι μετρήσεις που έχουν να κάνουν με τη ΔΕΗ. Παρόλο που το εργαστήριο κατά την εκτέλεση του πειράματος λειτουργούσε με μονοφασική παροχή, στα πλαίσια της αναβάθμισής του, δίνονται οι μετρήσεις και για τις τρεις φάσεις. Τα δεδομένα που μπορεί κανείς να πάρει από αυτό το μενού είναι ακριβώς τα ίδια με του μενού "ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ" με τη διαφορά ότι αφορούν και τις τρεις φάσεις. Στην Εικόνα 3.7 βλέπουμε ένα στιγμιότυπο από το μενού "ΔΕΗ" και συγκεκριμένα το THD της τάσης. Όπως φαίνεται μόνο μια φάση δίνει άεργο πράγμα αναμενόμενο αφού λειτουργούμε μονοφασικά (η Εικόνα 3.7 δεν πάρθηκε κατά το πείραμα αλλά σε δοκιμαστική εκτέλεση αφού όπως θα πούμε και στη συνέχεια στο πείραμα το δίκτυο το δημιουργούσε το SUNNY ISLAND).



Εικόνα 3.7: Μενού "ΔΕΗ"

➤ ΦΟΡΤΙΑ

Αυτό το κουμπί δίνει πρόσβαση στις μετρήσεις των φορτίων. Εδώ όπως και στις μετρήσεις της ΔΕΗ, έχουμε τριφασικό σύστημα οπότε σε κάθε καρτέλα εμφανίζονται τρία διαγράμματα. Οι τιμές που παίρνουμε και εδώ είναι ίδιες με αυτές της ΔΕΗ και των ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ. Οι μετρήσεις στα φορτία παίρνονται έτσι ώστε να μπορούμε να παρακολουθούμε το ισοζύγιο τις ενέργειας και να μπορούμε να βρούμε πιθανές αδικαιολόγητες απώλειες ενέργειας. Στην Εικόνα 3.8 φαίνεται το αποτέλεσμα του πατήματος του κουμπιού των φορτίων. Συγκεκριμένα βλέπουμε το THD της τάσης.



Εικόνα 3.8: Μενού "ΦΟΡΤΙΑ"

Τελειώνοντας με τα μενού που εμφανίζονται στα μετρητικά και πριν πάμε στα μενού του ελέγχου πρέπει να σημειώσουμε ότι όλες οι μετρήσεις που εμφανίζονται στα διαγράμματα ταυτόχρονα αποθηκεύονται για ενδεχόμενη περαιτέρω μελέτη στο μέλλον. Αφού τελειώσαμε με τα μενού που εμφανίζονται στο τμήμα των μετρητικών, πρέπει να πούμε και δυο λόγια για τα μενού που εμφανίζονται στα κουμπιά του τμήματος του ελέγχου. Τα μόνα κουμπιά που έχουν αποτέλεσμα είναι τρία. Το κουμπί "ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF", το κουμπί "ΦΟΡΤΙΑ scenario" και το κουμπί/διακόπτης "διακόπτης επιλογής" που βρίσκεται ανάμεσα στα δύο προηγούμενα.

➤ **διακόπτης επιλογής**

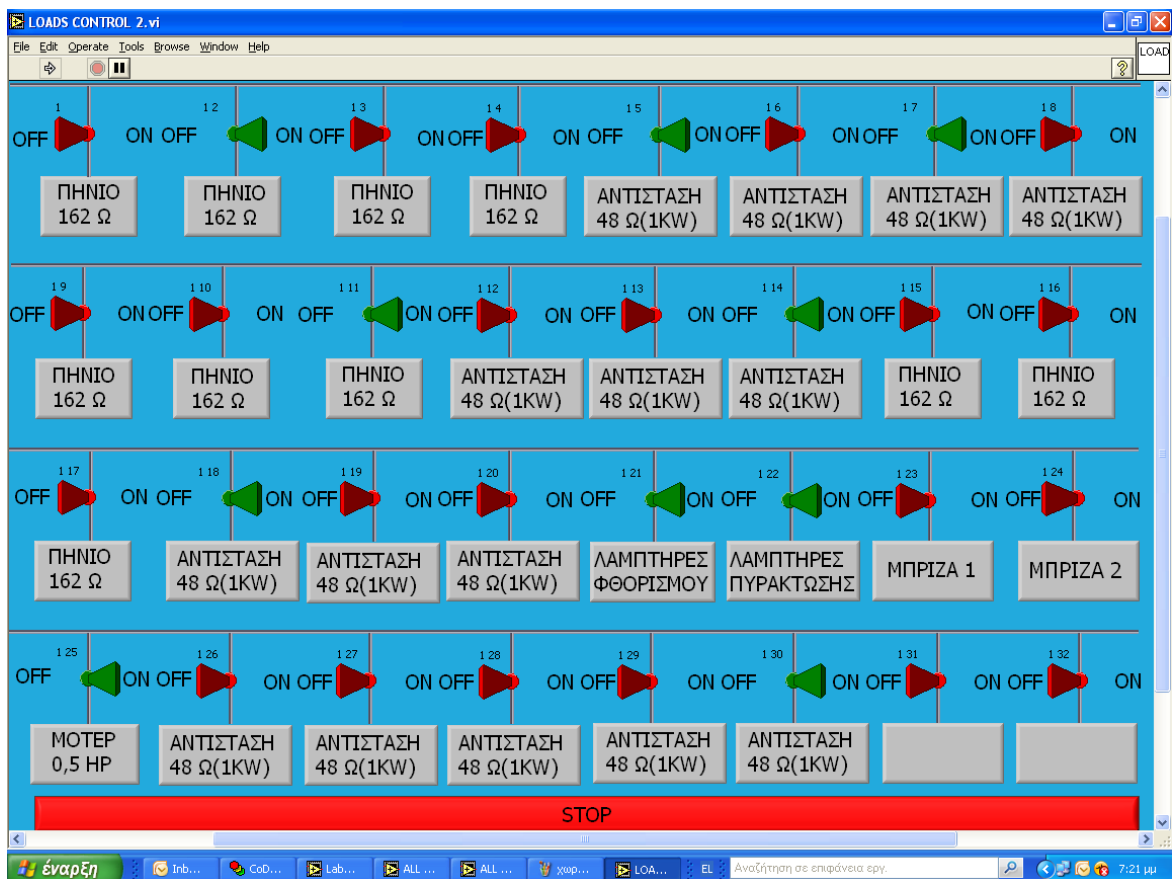
Η θέση που έχει αυτός ο διακόπτης δίνει στην ουσία την εντολή στο σύστημά μας αν θα ακολουθήσει τις εντολές που του δίνουμε μέσω του μενού "ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF" ή του μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" έτσι ώστε κάθε φορά να μπορεί να τρέχει μόνο ένα από τα δύο μενού. Έτσι όταν ο διακόπτης είναι αριστερά (Εικόνα 3.1) μπαίνουμε στο μενού "ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF" για τον έλεγχο των φορτίων, ενώ όταν είναι δεξιά μπαίνουμε στο μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" για τον έλεγχο των φορτίων. Αυτός ο

Κεφάλαιο 3 ■ Δυνατότητες εργαστηρίου

διακόπτης δηλαδή ρυθμίζει αν θα ελέγχουμε μεμονωμένα τα φορτία ή αν θα βάλουμε κάποιο σενάριο φορτίων και θα ελέγχονται αυτόματα, σε καμία περίπτωση πάντως δεν απαγορεύει την είσοδο σε άλλο μενού από αυτό που έχουμε επιλέξει.

➤ **ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF**

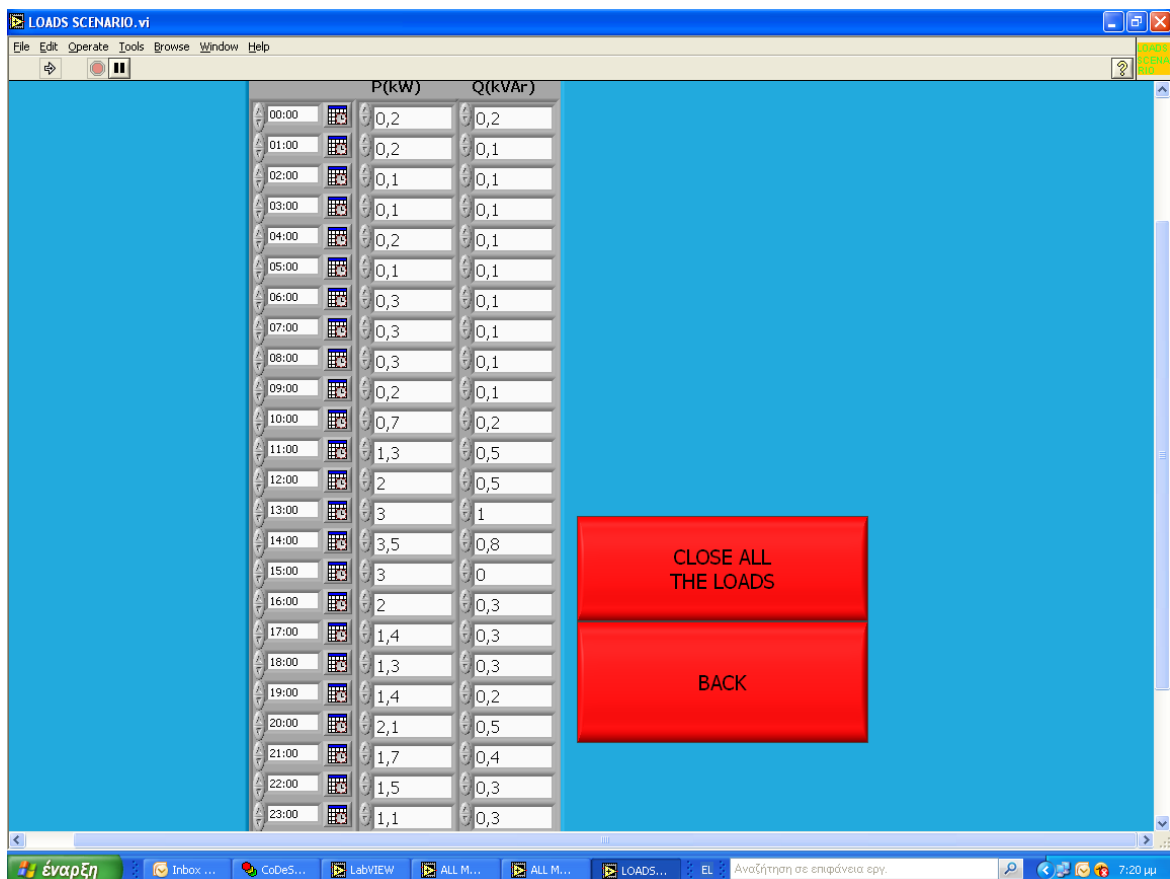
Όπως είπαμε και πριν, όταν ο διακόπτης επιλογής βρίσκεται αριστερά προς την μεριά δηλαδή του κουμπιού "ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF" με το πάτημα αυτού του κουμπιού μπαίνουμε σε ένα άλλο μενού που μας δίνει τον έλεγχο των φορτίων μεμονωμένα. Μέσω του μενού αυτού δηλαδή μπορούμε να ανοίξουμε και να κλείσουμε οποιοδήποτε από τα φορτία του εργαστηρίου. Στην Εικόνα 3.9 που ακολουθεί, βλέπουμε το μενού που ανοίγει με το πάτημα του κουμπιού "ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF".



Εικόνα 3.9: Μενού " ΦΟΡΤΙΑ ON/OFF"

➤ **ΦΟΡΤΙΑ scenario**

Στην περίπτωση που ο διακόπτης επιλογής είναι στα δεξιά τότε με το πάτημα του κουμπιού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" μπαίνουμε σε ένα άλλο μενού που μας δίνει τη δυνατότητα να βάλουμε ένα προφίλ κατανάλωσης (ανά ώρα) και πλέον το πρόγραμμα να ανοιγοκλείνει αυτόματα τα απαραίτητα φορτία για να επιτύχει την καλύτερη προσέγγιση στο προφίλ που του έχουμε δώσει. Το προφίλ που μπορούμε να δημιουργήσουμε είναι ημερήσιο ωστόσο με τις δυνατότητες του κώδικα που είπαμε πριν, μπορούμε εύκολα να το επεκτείνουμε αν χρειαστεί. Σαφώς αυτή η εφαρμογή μπορεί να έχει μόνο εργαστηριακή χρήση ή ενδεχομένως σε κάποια εταιρεία που μελετάει την ενεργειακή αυτονομία καταναλωτών. Η Εικόνα 3.10 δείχνει το μενού που εμφανίζεται με το πάτημα του "ΦΟΡΤΙΑ scenario".



Εικόνα 3.10: Μενού " ΦΟΡΤΙΑ scenario"

Κεφάλαιο 3 ■ Δυνατότητες εργαστηρίου

Τέλος, κάτι που είναι κοινό για όλα τα μενού, πατώντας το STOP μπορούμε να κλείσουμε το παράθυρο που είμαστε και να γυρίσουμε στο προηγούμενο μενού. Στα μενού του ελέγχου των φορτίων γύρισμα στο προηγούμενο μενού δεν σημαίνει ότι θα κλείσουν τα φορτία. Τα φορτία κλείνουν μόνο από τους διακόπτες τους.

Από όλα τα παραπάνω βλέπουμε ότι το LabVIEW μας δίνει πάρα πολλές δυνατότητες και το SCADA του εργαστηρίου που φτιάχτηκε με τη βοήθειά του είναι πολύ εύχρηστο και φιλικό προς τον χρήστη. Στη συνέχεια θα πούμε δύο λόγια για τα πρότυπα IEC-61850-7-4 και το IEC-61850-7-420 (για τους υποσταθμούς μέσης τάσης) που αποτέλεσαν και την βάση γι' αυτή την διπλωματική. Οι βασικές μετρήσεις που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σαν επέκταση αυτών των δύο προτύπων είναι αυτές που αφορούν κυρίως την ποιότητα της ισχύος, της τάσης και του ρεύματος που διαχέονται από ένα υποσύστημα στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Μεγέθη όπως οι αρμονικές και το THD της τάσης και του ρεύματος που μετρά ο κώδικας είναι από τα προαπαιτούμενα που θα πρέπει να έχει ένα υποσύστημα για να διασυνδεθεί και μάλιστα αυτές οι μετρήσεις θα πρέπει να είναι on line και συνεχείς για να μπορεί ο διαχειριστής του συστήματος να δει ανά πάσα στιγμή την ποιότητα της ισχύος που αγοράζει αλλά και οποιεσδήποτε άλλες παραμέτρους κρίνει αυτός σκόπιμες να ελέγξει. Αυτή την δυνατότητα του την προσφέρει απλόχερα το πρόγραμμα που περιγράψαμε παραπάνω.

4. Τα πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για το πρότυπο IEC 61850 και συγκεκριμένα για το τμήμα IEC 61850-7-4 και για την συνέχεια του IEC 61850-7-420 τα οποία έδωσαν τις κατευθυντήριες γραμμές αυτές της διπλωματικής. Θα δούμε τα προγενέστερα πρότυπα του IEC 61850-7-4 και στα οποία βασίστηκε ενώ θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στο τι αναφέρει το ίδιο το πρότυπο. Τέλος θα δούμε τι πως μπορούμε να αξιοποιήσουμε αυτή την διπλωματική για να βγάλουμε μια ενδεχόμενη επέκταση των προτύπων.

4.1 Τα προγενέστερα πρότυπα

Το πρότυπο IEC 61850 που ορίζει την αρχιτεκτονική της επικοινωνίας ενός υποσταθμού (Communication networks and systems in substation) αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκαν τα νέα τμήματα (parts) του προτύπου που δίνουν περισσότερες λεπτομέρειες για το κάθε εφαρμογή. Τα προηγούμενα πρότυπα που βασίστηκε το IEC-61850-7-4 επιγραμματικά είναι το IEC 60255-24 που είναι πάνω στους ηλεκτρικούς διακόπτες και ορίζει τη μορφή των μεταβατικών δεδομένων στα συστήματα ενέργειας, το IEC 61000-4-7 το οποίο αφορά την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) και συγκεκριμένα τις τεχνικές ελέγχου και μετρήσεων πάνω στις αρμονικές. Ακολουθούν τα πρότυπα της σειράς 61850. Το πρώτο κατά σειρά από αυτά είναι το IEC 61850-2 που είναι το γλωσσάρι του προτύπου που αφορά στα δίκτυα επικοινωνίας και τα συστήματα των υποσταθμών και ακολουθεί το IEC 61850-5 που και αυτό αφορά τα δίκτυα επικοινωνίας και τα συστήματα των υποσταθμών και το οποίο ορίζει τις απαιτήσεις επικοινωνίας για τις λειτουργίες και για τις διάφορες συσκευές. Μετά έχουμε τα πρότυπα της σειράς IEC 61850-7 με το πρότυπο IEC 61850-7-1 να είναι το πρώτο από μια σειρά που ακολούθησε και δίνει μια γενική περιγραφή της αρχιτεκτονικής της επικοινωνίας. Ακολούθησαν τα τμήματα IEC 61850-7-2 και IEC 61850-7-3 που ορίζουν τους κοινούς τύπους δεδομένων των υποσταθμών. Μετά είναι το τμήμα IEC 61850-7-4 του προτύπου με το οποίο ασχοληθήκαμε ιδιαίτερα στην διπλωματική αυτή και που το αναλύουμε παρακάτω, ενώ υπάρχει και το IEC 61850-7-5 που είναι μια ακόμα συνέχεια..Το πρότυπο IEC 61850-7-4 καθώς και το IEC 61850-7-420 που αποτελεί τμήμα του αποτέλεσαν στην ουσία τη βάση αυτής της διπλωματικής εργασίας καθώς αυτά τα δύο πρότυπα υπήρξαν κέντρο της ιδέας για τη δημιουργία αυτού του προγράμματος που ελέγχει και παρακολουθεί τα συστήματα του εργαστηρίου των ΣΗΕ. Τέλος είναι και τρία πρότυπα της IEEE στα οποία στηρίζεται το πρότυπό μας. Αυτά είναι το IEEE 519:1992 που είναι οι προτεινόμενες από την IEEE πρακτικές και απαιτήσεις για τον έλεγχο των αρμονικών στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, το IEEE 1459:2000 που αφορά την μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών υπό διάφορες συνθήκες και τέλος το IEEE C37.2:1996 που ορίζει τα νούμερα λειτουργίας και καθορίζει την επικοινωνία για τις

συσκευές στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια θα μιλήσουμε κυρίως για τα πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420 που είναι και τα σημαντικότερα για εμάς.

4.2 Το πρότυπο IEC 61850-7-4

Ο σκοπός του προτύπου IEC 61850-7-4 είναι να κάνει σαφές το μοντέλο των συσκευών, των πληροφοριών και των λειτουργιών που έχουν να κάνουν με εφαρμογές σε υποσταθμούς (Basic communication structure for substation and feeder equipment - Compatible logical node classes and data classes όπως ακριβώς ορίζεται). Συγκεκριμένα, μας δείχνει ποια είναι τα συμβατά ονόματα των λογικών κόμβων (Logical Nodes LN) και τα ονόματα των δεδομένων για την επικοινωνία μεταξύ Έξυπνων Ηλεκτρονικών Συσκευών (Intelligent Electronic Devices IED). Πιο συγκεκριμένα αυτό το πρότυπο αλλά και η συνέχειά του (IEC 61850-7-420) καλύπτουν τους παρακάτω τομείς:

- I. Ανταλλαγή πληροφοριών από υποσταθμό σε υποσταθμό
- II. Ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ υποσταθμού και κέντρου ελέγχου
- III. Ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ της μονάδας παραγωγής και του κέντρου ελέγχου
- IV. Ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων μονάδων που αποτελούν το διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής
- V. Ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων μονάδων που αποτελούν ένα διασυνδεδεμένο σύστημα αυτομάτου ελέγχου
- VI. Ανταλλαγή πληροφοριών καθαρά στα πλαίσια αποστολής των μετρήσεων από το σύστημα που μελετώ στο κέντρο ελέγχου

Αυτές οι δυνατότητες του προτύπου είναι που το κάνουν τόσο βασικό για αυτή την διπλωματική εργασία, καθώς μέσω αυτών που ορίζει το πρότυπο για την επικοινωνία στις διάφορες περιπτώσεις φτιάχτηκε αυτό το πρόγραμμα που στην ουσία συνδυάζει κάποιες από τις δυνατότητες του προτύπου έτσι ώστε να φτιάξουμε ένα "προϊόν" που να ξεφεύγει από τα στενά πλαίσια του εργαστηρίου και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε οικιακές όσο και σε επαγγελματικές εφαρμογές (με τις κατάλληλες κάθε φορά τροποποιήσεις βέβαια). Στη συνέχεια θα πούμε δύο λόγια για τα Logical Nodes, τι ακριβώς είναι και ποιά αποτελούν το πρότυπο.

Τα Logical Nodes του προτύπου

Πριν πούμε περισσότερα για το πρότυπο καλό θα ήταν εδώ να πούμε δυο λόγια για την έννοια του λογικού κόμβου γιατί είναι μία βασική έννοια για το πρότυπο και θα

την συναντήσουμε πολύ συχνά στην ανάλυση του προτύπου. Ο λογικός κόμβος που στη συνέχεια θα τον αναφέρουμε σαν LN (από το Logical Node) αναπαριστά κάποιες λειτουργίες ή κάποιον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται σε συστήματα ενέργειας. Κάθε LN παρέχει μια λίστα καλά οργανωμένων και συγκεκριμένων πληροφοριών. Με απλά λόγια δηλαδή είναι ένα πακέτο δεδομένων που έχουν τον ίδιο σκοπό (π.χ. τις μετρήσεις, τις αρμονικές κτλ). Το πρότυπο ορίζει στη κάθε περίπτωση ποιά από αυτά τα δεδομένα πρέπει να διακινηθούν (Mandatory) και ποιά είναι στην διακριτική ευχέρεια του εκάστοτε διαχειριστή ώστε να διακινηθούν αν το θέλει αυτός (Optional). Αρχικά θα δούμε τα τμήματα του κάθε LN και στη συνέχεια τα βασικές ομάδες/τμήματα (θεματικές ενότητες που καλύπτουν το ίδιο φαινόμενο ή συσκευή π.χ. στο τμήμα των μετρήσεων υπάρχουν πολλά LN για να καλύψουν την κάθε περίπτωση) με LN καθώς το κάθε τμήμα περιέχει αρκετά LN για να περιγράψει την κάθε περίπτωση. Για να γίνουν όλα πιο κατανοητά θα δούμε και μερικά παραδείγματα LN. Τα τμήματα ενός LN είναι τα ακόλουθα:

- *Κοινές πληροφορίες του LN (Common Logical Node Information)*
Είναι πληροφορίες του LN η οποίες είναι ανεξάρτητες από την λειτουργία του και φαίνονται στην LN class που ορίζεται στο πρότυπο IEC 61850-7-2
- *Πληροφορίες συστήματος (Status Information)* Εδώ έχουμε να κάνουμε με πληροφορίες οι οποίες δείχνουν την κατάσταση της διαδικασίας ή της λειτουργίας που έχει το κάθε LN
- *Ρυθμίσεις (Settings)* Είναι τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για να λειτουργήσει το σύστημα. Αυτά τα δεδομένα σπάνια είναι σταθερά , εξαρτώνται από την κατάσταση του ίδιου του συστήματος και μπορούν να τροποποιηθούν από απόσταση κάτι που πάντως δεν γίνεται πολύ συχνά
- *Μετρούμενες ποσότητες (Measured values)* Πρόκειται για αναλογικά δεδομένα που μετρούνται απευθείας από την διαδικασία ή που υπολογίζονται όπως είναι η τάση, το ρεύμα κτλ. Τα δεδομένα αυτά παράγονται τοπικά και δεν μπορούν να τροποποιηθούν από απόσταση.
- *Έλεγχοι (Controls)* Είναι τα δεδομένα που αλλάζουν με εντολές, όπως είναι η κατάσταση ενός διακόπτη (ON/OFF) ή ο μηδενισμός ενός μετρητή. Συνήθως αλλάζουν από απόσταση και μάλιστα αλλάζουν πολύ συχνότερα απ' ότι οι ρυθμίσεις.
- *Υπολογιζόμενες ποσότητες (Metered values)* Πρόκειται για αναλογικές ποσότητες οι οποίες (σε σχέση με τις μετρούμενες ποσότητες) μετριοούνται στο χρόνο, όπως είναι η ενέργεια. Και εδώ οι πληροφορίες παράγονται τοπικά και δεν γίνεται να τροποποιηθούν από απόσταση.

Μετά τα βασικά μέρη ενός LN τώρα πρέπει να δούμε ποία είναι τα βασικές ομάδες με LN. Τα βασικά τμήματα όπως είναι διαχωρισμένα στο πρότυπο είναι τα εξής:

1. SYSTEM LOGICAL NODES

Αυτή η ομάδα LNs περιγράφει τις συγκεκριμένες πληροφορίες του κάθε συστήματος. Τα LNs αυτής της ομάδας μας δίνουν στοιχεία για το όνομα μιας συσκευής, το αν λειτουργεί ή όχι, τι δουλειά κάνει, το είδος του ελέγχου της (αυτόματο/χειροκίνητο), μετρητές λειτουργιών και γενικά δεδομένα που αφορούν την γενικότερη κατάσταση λειτουργίας της. Αυτού του είδους τα δεδομένα που μας δίνει, επειδή ακριβώς είναι γενικά, και αφορούν την απλή εποπτεία του συστήματος/συσκευής είναι ανεξάρτητα τις κάθε συγκεκριμένης λειτουργίας και αφορούν όλα τα LNs. Στις περισσότερες μάλιστα περιπτώσεις αυτά τα στοιχεία είναι τα μόνα που ορίζει το πρότυπο ως υποχρεωτικά αφού δίνουν μια σαφή εικόνα λειτουργίας του συστήματος χωρίς να δίνει πολλές και τις περισσότερες φορές άχρηστες λεπτομέρειες.

2. LOGICAL NODES FOR PROTECTION FUNCTIONS

Αυτό το τμήμα του προτύπου αναφέρεται στην μοντελοποίηση των προστασιών και γενικά όλων των LNs που έχουν να κάνουν με προστασία. Τα στοιχεία δηλαδή που οποιαδήποτε συσκευή προστασίας του δικτύου πρέπει να στέλνει στον διαχειριστή του έτσι ώστε αυτός να έχει τον πλήρη έλεγχο και να γνωρίζει πάντα τι γίνεται κυρίως δε όταν υπάρχει κάποιο σφάλμα στο δίκτυο και λογικά θα ενεργοποιηθεί κάποια προστασία. Υπάρχουν LNs για όλων των ειδών οι προστασίες σ' αυτό το τμήμα. Χαρακτηριστικά έχουμε για την προστασία από πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή συχνότητα, τάση, ισχύ και ρεύμα, σφάλμα ως προς γη, τη φασική γωνία, την θερμική προστασία σε υπερφόρτωση αλλά και άλλες πολλές δυνατότητες ανάλογα με το σύστημα που θέλουμε να παρακολουθήσουμε και με τον εξοπλισμό που διαθέτουμε. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα περισσότερα από αυτά τα LNs υποχρεωτικά δεδομένα θεωρούνται η κατάσταση της προστασίας (λειτουργεί ή όχι) και η κατάσταση λειτουργίας της, αν δηλαδή είναι ενεργοποιημένη ή αν όχι. Έτσι ο διαχειριστής του εκάστοτε συστήματος απλά ενημερώνεται για την ενεργοποίησης μίας προστασίας χωρίς να λαμβάνει περιττές πληροφορίες για την εξέλιξη του φαινομένου.

3. LOGICAL NODES FOR PROTECTION RELATED FUNCIONS

Και σ' αυτό το τμήμα ασχολούμαστε με τις προστασίες αλλά όχι άμεσα. Εδώ μας ενδιαφέρουν όλες εκείνες οι λειτουργίες και οι εφαρμογές που έχουν να κάνουν με τις προστασίες και όχι αυτές καθαυτές οι προστασίες. Αφορούν συσκευές και λειτουργίες

που αναλαμβάνουν κυρίως μετά το σφάλμα όπως είναι ο εντοπισμός του σφάλματος, ο εντοπισμός ενός διακόπτη που δεν λειτουργεί σωστά, το autoreclosing για τα στιγμιαία σφάλματα στις γραμμές κτλ. Και σ' αυτές τις περιπτώσεις τα δεδομένα που υποχρεωτικά αποστέλλονται στον διαχειριστή του συστήματος είναι τα απολύτως απαραίτητα χωρίς όμως πάντα να περιορίζονται στην κατάσταση ενός διακόπτη. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό αν σκεφτούμε ότι σε πολλές από τις εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την προστασία υπάρχουν και άλλα σημαντικά δεδομένα, όπως π.χ. στην περίπτωση του εντοπισμού του σφάλματος μας ενδιαφέρει και η απόσταση που έγινε το σφάλμα έτσι αυτό να επιδιορθωθεί άμεσα.

4. LOGICAL NODES FOR CONTROL

Τα LNs αυτής της ομάδας έχουν να κάνουν με τον έλεγχο του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα αφορά τα LNs που έχουν να κάνουν με τον χειρισμό των συναγερμών (alarm handling), τον έλεγχο του συστήματος ψύξης της εγκατάστασης, τις αλληλομανδαλώσεις διακοπών αλλά και γενικά των έλεγχο των διακοπών (γενικών). Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για τον γενικό έλεγχο του συστήματος και την προστασία του από εξωτερικούς κινδύνους (κλοπή, δολιοφθορές κτλ) ,αλλά και την προστασία του τεχνικού προσωπικού κατά τις λειτουργίες συντήρησης και επισκευών (ύπαρξη αλληλομανδαλώσεων). Τα δεδομένα που παίρνει και που ελέγχει και σε αυτές τις περιπτώσεις ο διαχειριστής είναι τα απολύτως απαραίτητα έτσι ώστε να μπορεί να προφυλάξει επαρκώς τον εξοπλισμό του αλλά και το ανθρώπινο δυναμικό του.

5. LOGICAL NODES FOR GENERIC REFERENCES

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τον τίτλο αυτής της ομάδας με LNs ο σκοπός τους είναι να μοντελοποιήσουν τον τρόπο λειτουργίας κάποιων συσκευών γενικότερης χρήσης του συστήματος που δεν περιλαμβάνονται στις άλλες ομάδες των LNs όπως είναι το άνοιγμα και το κλείσιμο διαφόρων συσκευών, το σύστημα συναγερμών κτλ.

6. LOGICAL NODES FOR INTERFACING AND ARCHIVING

Αυτή η ομάδα με LNs ασχολείται με τις συσκευές και με τα συστήματα που έχουν να κάνουν με την αποθήκευση δεδομένων και με την αλληλεπίδραση (interface) του συστήματος με τον διαχειριστή του. Υπάρχουν LNs για της συσκευές απομακρυσμένου ελέγχου, τις συσκευές αποθήκευσης των δεδομένων και για όλες τις συσκευές που έχουν να κάνουν με την αλληλεπίδραση συστήματος-ανθρώπου από κοντά ή από απόσταση.

7. LOGICAL NODES FOR AUTOMATIC CONTROL

Τα LNs αυτής της ομάδας μοντελοποιούν τα δεδομένα που αποστέλλονται από της συσκευές αυτομάτου ελέγχου του συστήματος και αφού μιλάμε για ένα ηλεκτρικό σύστημα αυτός ο αυτόματος έλεγχος έχει να κάνει με συσκευές που ρυθμίζουν το ρεύμα του ουδετέρου, ελέγχουν την τάση, την άεργο ισχύ κτλ. Και σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα που αποστέλλονται στο διαχειριστή του συστήματος έχουν να κάνουν με την κατάσταση λειτουργίας των συσκευών αυτών αλλά και με την ειδοποίηση του διαχειριστή σε περίπτωση που διαπιστωθεί κάποια ανωμαλία στο σύστημα.

8. LOGICAL NODES FOR METERING AND MEASUREMENT

Σ' αυτή την ομάδα των LNs μοντελοποιούνται τα δεδομένα που αποστέλλονται από όλες τις συσκευές που έχουν να κάνουν με μετρήσεις. Πρόκειται για τις μετρήσεις που έχουν να κάνουν με τις αρμονικές, την τάση, το ρεύμα, τη ενέργεια και με ό,τι άλλο γενικά μετριέται τόσο για ένα τριφασικό, όσο και για ένα μονοφασικό σύστημα. Όπως έχει γίνει αντιληπτό από την ως τώρα περιγραφή του προτύπου αυτά είναι συνήθως δεδομένα που δεν ενδιαφέρουν άμεσα τον διαχειριστή του δικτύου και έτσι τα δεδομένα που αποστέλλονται περιορίζονται απλά στην ένδειξη λειτουργίας των διαφόρων μετρητικών συσκευών και μόνο. Ωστόσο δίνεται η δυνατότητα αυτά τα δεδομένα να είναι στην διάθεση του διαχειριστή του συστήματος αν το επιλέξει.

9. LOGICAL NODES FOR SENSORS AND MONITORING

Εδώ έχουμε να κάνουμε με LNs που αφορούν αισθητήρες και συσκευές παρακολούθησης του συστήματος. Οι αισθητήρες που αφορά είναι για ηλεκτρικά τόξα, και για τα υλικά μόνωσης των διαφόρων διακοπών (ελαίου, αερίου) ενώ η παρακολούθηση έχει να κάνει με τις διάφορες εκκενώσεις που μπορεί να συμβούν (πλήθος, επίπεδο θορύβου κτλ).

10. LOGICAL NODES FOR SWITCHGEAR

Αυτή η ομάδα με LNs αφορά την μοντελοποίηση των διακοπτικών μέσων. Αποτελείται από δύο ομάδες. Από τους διακόπτες που έχουν την δυνατότητα να κόψουν ένα ενδεχόμενο βραχυκύκλωμα και από αυτούς που δεν έχουν. Τα δεδομένα που αποστέλλονται στο διαχειριστή του συστήματος από αυτά τα LNs έχουν να κάνουν με την θέση του διακόπτη (ON/OFF), την διακοπτική του ικανότητα καθώς και με τις φορές που τον έχουμε χρησιμοποιήσει.

11. LOGICAL NODES FOR INSTRUMENT TRANSFORMERS

Τα LNs αυτής της ομάδας έχουν να κάνουν με τους μετασχηματιστές τάσης και ρεύματος που ενδεχομένως να υπάρχουν στο σύστημα με σκοπό να παίρνουμε μετρήσεις καθώς τα περισσότερα όργανα μέτρησης δεν μπορούν να λειτουργήσουν στα μεγάλα ρεύματα και στις υψηλές τάσεις ενός μεγάλου συστήματος. Τα δεδομένα που ορίζει το πρότυπο ότι πρέπει να αποσταλούν έχουν να κάνουν με την κατάσταση λειτουργίας αυτών των μετασχηματιστών και με τις δειγματοληπτούμενες τιμές τάσης και ρεύματος που έχουμε στην κάθε περίπτωση.

12. LOGICAL NODES FOR POWER TRANSFORMERS

Εδώ τώρα έχουμε να κάνουμε με τα LNs που αφορούν όλες τις λειτουργίες που έχουν να κάνουν με ένα μετασχηματιστή ισχύος. Υπάρχουν άλλα LNs για καταυτόν τον μετασχηματιστή και τα μεγέθη του, άλλα για τον ελεγκτή σφάλματος ως προς γη και άλλα για τον tap controller (όταν πρόκειται για αυτομετασχηματιστές). Τα δεδομένα που αποστέλλονται και σ' αυτή την περίπτωση είναι τα απολύτως απαραίτητα ώστε να διασφαλίζεται ο έλεγχος του συστήματος μου από τον εκάστοτε διαχειριστή του.

13. LOGICAL NODES FOR FURTHER POWER SYSTEM EQUIPMENT

Σ' αυτή την κατηγορία, που είναι και η τελευταία του προτύπου, ανήκουν τα LNs που περιγράφουν οποιοδήποτε επιπλέον υποσύστημα ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει στο σύστημά μου. Έτσι υπάρχουν LNs για μπαταρίες, για βοηθητικό δίκτυο, για μετατροπείς ενέργειας (converters), για γεννήτριες, για συστήματα πυκνωτών, για μηχανές αλλά και για συσκευές ελέγχου της συχνότητας και της αέργου ισχύος με θιρίστορ.

Έχοντας περιγράψει όλες τις ομάδες με τα LNs που έχει το πρότυπο και για να γίνει πιο κατανοητό πως ακριβώς ορίζει το πρότυπο ποια δεδομένα πρέπει να αποσταλούν και ποια όχι στην Εικόνα 4.1 που ακολουθεί φαίνεται πως γίνεται ο ορισμός ενός LN. Συγκεκριμένα πρόκειται για το Logical Node Measurement (μετρήσεις) που ανήκει στην όγδοη ομάδα με LNs που περιγράψαμε προηγουμένως και που χρησιμοποιείται από εδώ και πέρα (από επόμενα πρότυπα) με το όνομα MMXU. Το MMXU μοντελοποιεί τα δεδομένα που αποστέλλονται από συσκευές τριφασικών μετρήσεων τάσης, ρεύματος, ισχύος και συχνότητας. Τα πρώτα δύο κομμάτια που ορίζει το πρότυπο που είναι και τα μόνα υποχρεωτικά είναι πληροφορίες που στέλνουν όλα τα LNs και έχουν να κάνουν με τα στοιχεία της κάθε συσκευής και την γενικότερη κατάστασή της (health). Μέσα από αυτό το παράδειγμα γίνεται φανερό ότι τα δεδομένα που αποστέλλονται στον διαχειριστή του συστήματος είναι τα απολύτως αναγκαία ώστε να μπορεί να ελέγχει επαρκώς όλο του το σύστημα.

5.10.7 LN: Measurement Name: MMXU

For a description of this LN, see IEC 61850-5. This LN shall be used for calculation of currents, voltages, powers and impedances in a three-phase system. The main use is for operative applications.

MMXU class				
Attribute Name	Attr. Type	Explanation	T	M/O
LNName		Shall be inherited from Logical-Node Class (see IEC 61850-7-2)		
Data				
<i>Common Logical Node Information</i>				
		LN shall inherit all Mandatory Data from Common Logical Node Class		M
EEHealth	INS	External equipment health (external sensor)		O
Measured values				
TotW	MV	Total Active Power (Total P)		O
TotVAr	MV	Total Reactive Power (Total Q)		O
TotVA	MV	Total Apparent Power (Total S)		O
TotPF	MV	Average Power factor (Total PF)		O
Hz	MV	Frequency		O
PPV	DEL	Phase to phase voltages (VL1VL2, ...)		O
PhV	WYE	Phase to ground voltages (VL1ER, ...)		O
A	WYE	Phase currents (IL1, IL2, IL3)		O
W	WYE	Phase active power (P)		O
VAr	WYE	Phase reactive power (Q)		O
VA	WYE	Phase apparent power (S)		O
PF	WYE	Phase power factor		O
Z	WYE	Phase Impedance		O

Εικόνα 4.1: Logical Node MMXU (measurement)

Έχοντας τώρα δει όλες τις ενότητες που περιλαμβάνει το πρότυπο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το πρότυπο IEC 61850-7-4 ορίζει τα LOGICAL NODES και τα δεδομένα που το κάθε ένα θα πρέπει να αποστέλλει στον διαχειριστή του συστήματος, ώστε αυτός να έχει τον πλήρη έλεγχο. Αυτό που δεν ορίζει αυτό το πρότυπο και που ορίζεται σε ένα βαθμό από το IEC 61850-7-420, που είναι και η συνέχειά του, είναι ποιά LNs πρέπει να συνδυάσω για να περιγράψω ένα σύστημα (πχ φωτοβολταϊκό, συμπαραγωγής κτλ). Προφανώς για να περιγράψω ένα σύστημα πρέπει να χρησιμοποιήσω LNs που έχουν να κάνουν με μετρήσεις, με αυτόματο έλεγχο, με έλεγχο διακοπών, με έλεγχο του συστήματος ασφαλείας της εγκατάστασης και ενδεχομένως και με ακόμα περισσότερα. Το πρότυπο IEC 61850-7-420 για το οποίο θα μιλήσουμε στη συνέχεια συγκεκριμενοποιεί ποιά LNs πρέπει να συνδυαστούν στην περίπτωση κάθε συστήματος ώστε να έχουμε τον πλήρη έλεγχο κάθε συσκευής και έτσι όλου του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις που δεν καλύπτονται από ήδη ορισμένα LNs, ορίζει κάποια νέα για να ελέγξει καλύτερα το σύστημα. Στη συνέχεια θα δούμε πώς το πρότυπο IEC 61850-7-420 ομαδοποιεί τα διάφορα LNs έτσι ώστε να έχει τον απόλυτο έλεγχο του κάθε υποσυστήματος του συστήματός μου.

4.3 Το πρότυπο IEC 61850-7-420

Ο σκοπός του IEC 61850-7-420 είναι ο προσδιορισμός των πληροφοριών που ανταλλάσσονται μεταξύ των στοιχείων του συστήματος διανεμημένης παραγωγής ενέργειας αλλά και των πληροφοριών που αποστέλλονται στα διάφορα κέντρα ελέγχου (Communication Systems for Distributed Energy Resources(DER) είναι ο ακριβής ορισμός του). Στην ουσία το IEC 61850-7-4 που αναλύσαμε πριν περιγράφει τα δεδομένα που διαχειρίζεται το κάθε LN, ενώ το IEC 61850-7-420 περιγράφει ποία LN χρειάζεται κάθε συσκευή/υποσύστημα του συστήματος έτσι ώστε να είναι όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον έλεγχο της στη διάθεση αυτού που έχει τον έλεγχο του συστήματος. Πρέπει να πούμε εδώ ότι μερικά LNs ορίζονται και στο IEC 61850-7-420 σε εξειδικευμένες περιπτώσεις που τα ήδη ορισμένα LNs δεν μας καλύπτουν. Το πρότυπο αυτό είναι χωρισμένο σε τρεις κατηγορίες ομάδων LNs ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν. Έτσι έχουμε:

1. Logical Nodes for DER Systems and Equipment

Σ' αυτό το πρώτο κομμάτι του προτύπου ομαδοποιούνται τα LNs που χρησιμοποιούνται στην ανταλλαγή δεδομένων με συσκευές και συστήματα που είναι κοινά στα περισσότερα συστήματα διασυνδεδεμένης παραγωγής και έτσι χρησιμοποιούνται πολύ συχνά. Έτσι τα "πακέτα" με τα LNs που ορίζονται εδώ χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως στους διακόπτες που συνδέουν οποιοδήποτε σύστημα διανεμημένης παραγωγής με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, σε inverters, σε converters και γενικά με συστήματα που υπάρχουν στα περισσότερα συστήματα. Για πιο συγκεκριμένες εφαρμογές πάμε στο επόμενο κομμάτι του προτύπου.

2. Logical Nodes for Specific Types of DER

Εδώ ομαδοποιούνται τα LNs που χρησιμοποιούνται σε κάποιες εξειδικευμένες εφαρμογές διασυνδεδεμένων συστημάτων. Έτσι σε αυτό το τμήμα του προτύπου ορίζονται τα LNs που θα χρησιμοποιήσουμε όταν έχουμε ένα φωτοβολταϊκό σταθμό, ένα έχουμε ένα εργοστάσιο συμπαραγωγής, παραγωγή ενέργειας μέσω κυψελών καυσίμου (fuel cell) ή και μέσω παλινδρομικών μηχανών (reciprocating engine). Σ' αυτά τα συστήματα γίνεται πιο εύκολα φανερό η ανάγκη συνδυασμού των LNs που ορίζει το IEC 61850-7-4 για τον έλεγχο τους. Για παράδειγμα για ένα φωτοβολταϊκό πάρκο συνδυάζονται LNs από τις ομάδες Logical Nodes for switchgear, for protection, for measuring and metering που αναφέραμε στο IEC 61850-7-4, κάποια νέα LNs που

ορίζονται σ' αυτό το πρότυπο για να καλύψουν τις επιπλέον ανάγκες αλλά και κάποια LNs που έχουν οριστεί σε άλλα πρότυπα. Στο Παράρτημα Δ φαίνεται το τμήμα του προτύπου IEC 61850-7-420 που ορίζει τα LNs που απαιτούνται για τον έλεγχο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

3. Logical Nodes for Auxiliary Systems

Σ' αυτό το τελευταίο κομμάτι ομαδοποιούνται τα LNs που έχουν να κάνουν με τα βοηθητικά/πρόσθετα συστήματα που υπάρχουν σε κάποια εγκατάσταση. Πρόκειται για εφαρμογές που έχουν να κάνουν με τις μπαταρίες που ενδεχομένως να υπάρχουν στο σύστημά, με δεξαμενές καυσίμων αλλά και με όργανα που μετρούν στοιχεία του περιβάλλοντος όπως θερμοκρασία, πίεση, εκπομπές καυσαερίων, καιρικές συνθήκες κτλ.

Έχοντας περιγράψει νωρίτερα το τι ορίζουν αυτά τα δύο πρότυπα μπορούμε να πούμε ότι το βασικό μέλημά τους είναι η ορθή λειτουργία του συστήματός και απλός έλεγχός του από τον εκάστοτε διαχειριστή του χωρίς να μπαίνει σε πολλά και πολύπλοκα δεδομένα. Ο διαχειριστής "υποχρεούται" να γνωρίζει αν το σύστημά του λειτουργεί αλλά και για ενδεχόμενες κρίσιμες και επικίνδυνες καταστάσεις που μπορεί να σταματήσουν τη λειτουργία του έτσι ώστε να τις προλάβει. Αυτό ακριβώς και τίποτα παραπάνω ορίζουν και τα πρότυπα. Αυτό είναι απόλυτα κατανοητό αφού για ένα τεράστιο σύστημα (πχ υποσταθμοί MT του δικτύου) θα ήταν αδύνατο να διαχειριστεί περισσότερα δεδομένα (πχ τάση, ρεύμα, ισχύ για τον κάθε υποσταθμό). Τι γίνεται όμως όταν θέλω να ελέγγω κάποια συστήματα μικρότερης κλίμακας όπως είναι ένα εργαστήριο ή ένας οικιακός καταναλωτής/παραγωγός; Προφανώς θα θέλω να έχω στη διάθεσή μου περισσότερα δεδομένα από απλά τη λειτουργία ή μη κάποιων συσκευών ιδιαίτερα στην περίπτωση του εργαστηρίου όπου απαιτούνται πολλές και λεπτομερείς μετρήσεις. Στεκόμαστε δηλαδή περισσότερο στο METERING AND MEASUREMENT κομμάτι του προτύπου που για το ίδιο το πρότυπο δεν είναι τόσο σημαντικό. Αυτό που έδωσαν λοιπόν αυτά τα πρότυπα στην διπλωματική αυτή, ήταν οι κατευθυντήριες γραμμές αλλά και ένας διαφορετικός τρόπος σκέψης αφού ο σκοπός της στην ουσία είναι διαφορετικός. Προσανατολίζεται σε μικρότερα συστήματα από αυτά στα οποία αναφέρεται το πρότυπο και στα οποία οι μετρούμενες τιμές είναι πολύ σημαντικές. Μέσω της διπλωματικής αυτής έγινε προσπάθεια να δημιουργηθεί κάτι σαν πρότυπο για μικρότερης κλίμακας συστήματα (όπως ένα εργαστήριο ή μια μικρή μονάδα παραγωγής) ή καλύτερα να δημιουργηθεί μια επέκταση των προτύπων που υπήρχαν έως τώρα. Ωστόσο οι δυνατότητες του προγράμματος που φτιάχτηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής είναι τέτοιες που του δίνουν τη δυνατότητα να προσαρμοστεί τόσο στις απαιτήσεις ενός μεγάλου συστήματος όσο και στις απαιτήσεις ενός εργαστηρίου ή ενός οικιακού καταναλωτή/ παραγωγού. Αυτές οι δυνατότητες του προγράμματος προκύπτουν από τη δομή αφού αποτελείται από πολλά κομμάτια ενωμένα μαζί

δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να προστεθούν νέα ή να αφαιρεθούν κάποια ήδη υπάρχοντα πολύ εύκολα. Αυτή η δυνατότητα "κόψε-ράψε" που έχει ο κώδικας του προγράμματος το κάνει πολύ ευέλικτο και ταυτόχρονα πολύ εύκολο να εξελιχθεί με την πρόσθεση νέων τμημάτων. Εξάλλου η σημερινή αγορά ενέργειας διαμορφώνεται με τις πολλές ανεξάρτητες ιδιωτικές μονάδες παραγωγής μικρής (φωτοβολταϊκά στις στέγες) ή και μεγαλύτερης κλίμακας (φωτοβολταϊκά/αιολικά πάρκα) δημιουργεί την ανάγκη περισσότερο σε αυτόν που αγοράζει (ΔΕΗ) αλλά και σε αυτόν που πουλά να μετρά και να ελέγχει πολύ περισσότερα πράγματα από απλά την ποσότητα της ενέργειας. Αυτά τα επιπλέον πράγματα έχουν να κάνουν κυρίως με την ποιότητα της ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο από τον κάθε παραγωγό. Η διπλωματική αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί μία επέκταση των δύο προτύπων αφού ασχολείται τόσο με την ποσοτική όσο και με την ποιοτική πλευρά της ενέργειας, της ισχύος και του ρεύματος. Στο Κεφάλαιο 5 που ακολουθεί θα πούμε κάποια πράγματα για τα μοντέλα του ήλιου που χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτή την διπλωματική για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πάνελ του εργαστηρίου.

5. Τα μοντέλα του ήλιου

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει να κάνει με φωτοβολταϊκά υβριδικά συστήματα και όπως γίνεται εύκολα κατανοητό ο ήλιος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο αφού είναι μία από τις κύριες πηγές ενέργειας του συστήματός μας. Στο κεφάλαιο αυτό θα πούμε δυο λόγια για κάποια από τα μοντέλα μελέτης του ήλιου. Όταν λέμε μοντέλα μελέτης του ήλιου εννοούμε κάποια μοντέλα μέσω των οποίων μπορούμε να υπολογίσουμε την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε οποιαδήποτε επιφάνεια αν γνωρίζουμε την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Εδώ θα ασχοληθούμε με τρία μοντέλα. Το ιστροπικό μοντέλο, το HDKR και το Perez. Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των μοντέλων είναι επιτακτική ανάγκη να αποσαφηνίσουμε κάποιες έννοιες που έχουν να κάνουν με την ακτινοβολία γενικά, με την κίνηση του ήλιου αλλά και με τον προσανατολισμό των επιφανειών.

5.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

Εδώ θα δούμε τα είδη της ακτινοβολίας καθώς και κάποιες άλλες έννοιες που έχουν να κάνουν με την ηλιακή ακτινοβολία και που χρησιμοποιούνται και από τα τρία μοντέλα του ήλιου που μελετούμε. Έτσι έχουμε:

- Άμεση ακτινοβολία (beam radiation) : Είναι η ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί διάχυση από την ατμόσφαιρα. Η άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας συχνά χρησιμοποιείται και με τον όρο ακτινική συνιστώσα.
- Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation) : Είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον ήλιο αφού η κατεύθυνσή της έχει αλλάξει από τη διάχυση στην ατμόσφαιρα.
- Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία (Total solar radiation) : Πρόκειται για το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια που αποτελεί την ολική ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια.
- Ένταση ακτινοβολίας (Irradiance) : Είναι η τιμή της ενέργειας λόγω ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μοναδιαία επιφάνεια προς την επιφάνεια αυτή , μετριέται σε W/m^2 ενώ το σύμβολο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της είναι το G .
- Ακτινοβολία ή ηλιακή έκθεση (Irradiation/ Radiant Exposure) : Είναι η προσπίπτουσα ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και προκύπτει από την

ολοκλήρωση της έντασης ακτινοβολίας σε ορισμένο χρονικό διάστημα, συνήθως μιας ώρας ή μέρας και μετριέται σε J/m^2 . Το σύμβολο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ακτινοβολίας σε διάστημα μιας ώρας είναι το I ενώ στο διάστημα μιας ημέρας είναι το H .

- Δείκτες των G , H , I : Ο δείκτης o αναφέρεται σε ακτινοβολία πάνω από την ατμόσφαιρα της γης (εξωγήινη ακτινοβολία). Οι δείκτες b και d αναφέρονται στην άμεση (beam) και στην διάχυτη (diffuse) ακτινοβολία αντίστοιχα. Ο δείκτης T αναφέρεται σε ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, ο n σε κάθετο επίπεδο ενώ αν δεν υπάρχει κανένας από τους δύο δείκτες, η ακτινοβολία αναφέρεται σε οριζόντιο επίπεδο.

5.2 Η "κίνηση" του ήλιου

Λόγω της συνεχούς κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο, ο ήλιος δεν έχει ποτέ μια σταθερή θέση στον ουράνιο θόλο (όπως τον παρατηρούμε από τη γη) και έτσι για την περιγραφή της κίνησής του χρησιμοποιούμε συγκεκριμένες γωνίες αλλά και κάποιες νέες έννοιες. Αυτές οι νέες έννοιες και οι γωνίες είναι απαραίτητο να περιγραφούν εδώ καθώς χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δούμε αργότερα. Έτσι έχουμε:

➤ Εξωγήινη Ακτινοβολία

Η εξωγήινη ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που δέχεται από τον ήλιο μια μοναδιαία επιφάνεια, κάθετη στην διάδοση της ακτινοβολίας, στη μονάδα του χρόνου και θεωρώντας ότι απουσιάζει η ατμόσφαιρα της γης. Αυτή η ακτινοβολία δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος που θεωρείται και αμελητέος είναι ότι η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο δεν είναι σταθερή αλλά έχει μεταβολές που έχουν να κάνουν με φαινόμενα που συμβαίνουν πάνω στον ίδιο τον πλανήτη. Ο δεύτερος παράγοντας έχει να κάνει με την κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο. Η κίνηση αυτή είναι ελαφρώς ελλειπτική και για αυτό η ακτινοβολία δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από την ημέρα του έτους. Ο τύπος που δίνει αυτή την εξάρτηση είναι ο παρακάτω:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \quad (5.2.1)$$

όπου: G_{on} η Εξωγήινη ακτινοβολία (W/m^2) σε κάθετη επιφάνεια ως προς την ακτινοβολία

n η μέρα του χρόνου στην οποία αναφερόμαστε (π.χ. $n=1$ για την 1η Ιανουαρίου)

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

G_{sc} η ηλιακή σταθερά ($G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$).

➤ Ηλιακή Ώρα

Είναι η ώρα που βασίζεται στη φαινόμενη γωνιακή κίνηση του ήλιου στον ουρανό με το ηλιακό μεσημέρι να ορίζεται με την χρονική στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του παρατηρητή. Το ηλιακό μεσημέρι (12:00 ηλιακής ώρας) βρίσκεται ακριβώς στη μέση της διάρκειας της ημέρας μίας περιοχής (ώρες από ανατολή έως ηλιακό μεσημέρι = ώρες από ηλιακό μεσημέρι έως δύση). Η ηλιακή ώρα δεν συμπίπτει με την τοπική ώρα κάθε χώρας. Είναι δηλαδή άμεσα εξαρτώμενη από το γεωγραφικό μήκος της περιοχής. Το γεωγραφικό μήκος μετράται σε μοίρες με αρχή τον πρώτο μεσημβρινό και τα θετικά προς τα δυτικά. Επειδή σε όλους τους τύπους που θα δούμε από εδώ και πέρα χρησιμοποιείται η ηλιακή ώρα θα ήταν χρήσιμο να δούμε τον υπολογισμό της. Με βάση λοιπόν την τοπική ώρα και με κάποιες διορθώσεις που έχουν να κάνουν με την διαφορά στο γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού της τοπικής ώρας από αυτόν του παρατηρητή ο τύπος 5.2.2 που ακολουθεί μας δίνει την ηλιακή ώρα σε λεπτά.

$$\text{Ηλιακή ώρα} = \text{Τοπική ώρα} + E + 4 (Lst - Loc) \quad (5.2.2)$$

όπου Lst το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού της τοπικής ζώνης ώρας
 Loc το γεωγραφικό μήκος της περιοχής που βρίσκεται ο παρατηρητής (σε μοίρες)
 E η εξίσωση ώρας (σε λεπτά)

Η εξίσωση της ώρας είναι:

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B) \quad (5.2.3)$$

και

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (5.2.4)$$

όπου $n =$ η ημέρα του χρόνου ($1 \leq n \leq 365$)

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται μετά την εαρινή ισημερία (τέλη Μαρτίου) όπου στην τοπική ώρα έχει προστεθεί άλλη μία. Πριν από οποιονδήποτε υπολογισμό με τον παραπάνω τύπο αυτή η ώρα θα πρέπει να αφαιρεθεί από την τοπική ώρα)

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

➤ Η Ωριαία Γωνία

Η ωριαία ώρα (ω) ορίζεται ως η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού, λόγω της περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της κατά 15° την ώρα. Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

➤ Ηλιακή Απόκλιση

Η ηλιακή απόκλιση που συμβολίζεται με το δ είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου και στο επίπεδο του ισημερινού. Η ηλιακή απόκλιση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους που έχει σαν αποτέλεσμα την εναλλαγή των εποχών αλλά και την διαφορά τους από το ένα ημισφαίριο στο άλλο (νότιο καλοκαίρι-βόρειο χειμώνας). Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι $+23.450$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και $-23,450$ στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισής του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στον ουρανό το καλοκαίρι, με την ανατολή νωρίτερα και την δύση αργότερα στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Η σχέση που δίνει την ηλιακή απόκλιση για κάθε μέρα του έτους είναι:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (5.2.5)$$

όπου n η ημέρα του έτους

➤ Η Ωριαία Εξωγήινη Ακτινοβολία

Έχοντας πει για την ωριαία γωνία, για την εξωγήινη ακτινοβολία και για την ηλιακή απόκλιση τώρα μπορούμε να ορίσουμε την ωριαία εξωγήινη ακτινοβολία που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια. Αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \quad (5.2.6)$$
$$\times \left[\cos \varphi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \varphi \sin \delta \right]$$

Οι γωνίες ω_1 και ω_2 στον τύπο ορίζουν διάστημα μίας ώρας ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για κάποιο άλλο χρονικό διάστημα μικρότερο ή μεγαλύτερο με κάποιες μικρές τροποποιήσεις στον τύπο (π.χ. το 3600 στον πρώτο όρο του τύπου είναι για την μία ώρα έτσι για μισή θα πρέπει να βάλουμε 1800)

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

➤ Ο Ήλιος στον Ουρανό

Για να ορίσουμε την θέση του ήλιου σε μία περιοχή χρησιμοποιούμε δύο γωνίες όπου η μία μας δείχνει το ύψος του ήλιου και η άλλη το αζιμούθιο του.

α) Η Γωνία του Ύψους του Ήλιου που συμβολίζεται με α_s είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στον ορίζοντα και την ευθεία που ενώνει τον παρατηρητή με τον ήλιο.

β) Η Ζενιθιακή Γωνία που συμβολίζεται θ_z είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και την κατακόρυφο στο σημείο παρατήρησης (ζενίθ). Η ζενιθιακή γωνία είναι συμπληρωματική της γωνίας του ύψους του ήλιου α_s ($\theta_z + \alpha_s = 90^\circ$). Ο τύπος που δίνει την ζενιθιακή γωνία για μία οριζόντια επιφάνεια είναι:

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (5.2.7)$$

όπου φ το γεωγραφικό πλάτος που θα οριστεί στη συνέχεια.

γ) Το Ηλιακό Αζιμούθιο που συμβολίζεται με γ_s ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην νοητή ευθεία του νότου και στην προβολή της άμεσης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές όταν βρισκόμαστε στα δυτικά του νότου και αρνητικές ανατολικά του με το νότο να έχει την τιμή μηδέν. Ο τύπος που δίνει το ηλιακό αζιμούθιο είναι:

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cdot \cos \varphi} \right) \right| \quad (5.2.8)$$

όπου φ το γεωγραφικό πλάτος.

5.3 Προσανατολισμός επιφανειών

Ο τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει την ακτινοβολία που πέφτει σε μία επιφάνεια και για τον οποίο θα μιλήσουμε εδώ, είναι ο προσανατολισμός της επιφάνειας. Όπως πριν έτσι και εδώ ο προσανατολισμός της επιφάνειας προσδιορίζεται μέσω κάποιων γωνιών που θα αναφέρουμε στη συνέχεια. Έτσι έχουμε:

➤ Το Γεωγραφικό Πλάτος που συμβολίζεται με το φ είναι η γωνία που σχηματίζεται από τον ισημερινό μέχρι το ζητούμενο σημείο παρατήρησης. Το γεωγραφικό πλάτος είναι βόρειο ή νότιο (ανάλογα σε ποιο ημισφαίριο βρισκόμαστε) με τιμές από 0 έως -90° για το νότιο ημισφαίριο και από 0 έως 90°

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

για το βόρειο και με το 0 να βρίσκεται στον ισημερινό. Για τα φωτοβολταϊκά που βρίσκονται στην ταράτσα της σχολής το φ είναι $\varphi=37.58^\circ$.

➤ Η Αζιμουθιακή Γωνία που συμβολίζεται με το γ είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην προβολή σε οριζόντιο επίπεδο της καθέτου στην επιφάνεια που μελετούμε και του τοπικού μεσημβρινού (νοητή γραμμή νότου-βορά). Η γωνία αυτή παίρνει τιμές από -180° μέχρι 180° . Στο βορά έχουμε τις -180° αλλά και τις 180° στην ανατολή -90° στο νότο 0° και στην δύση 90° . Προφανώς στα ενδιάμεσα διαστήματα παίρνει όλες τις δυνατές τιμές με θετικά πρόσημα για περιοχές δυτικά του νότου και αρνητικές για περιοχές ανατολικά του νότου. Η αζιμουθιακή γωνία των φωτοβολταϊκών στη ταράτσα του εργαστηρίου είναι $\gamma=23.07^\circ$.

➤ Η Κλίση της Επιφάνειας που συμβολίζεται με β είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην επιφάνεια που μελετούμε και το οριζόντιο επίπεδο. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι από 0° έως 180° . Στις 0° η επιφάνεια είναι οριζόντια και εφάπτεται με το επίπεδο, στις 90° είναι κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο ενώ όταν έχουμε γωνίες πάνω από 90° τότε η επιφάνεια που μελετούμε είναι στραμμένη προς τα κάτω. Τα φωτοβολταϊκά στην ταράτσα του εργαστηρίου έχουν κλίση $\beta=30,4^\circ$.

➤ Η Γωνία Πρόσπτωσης που συμβολίζεται με το θ είναι η γωνία μεταξύ της άμεσης ακτινοβολίας και της κάθετης στην επιφάνεια που μας ενδιαφέρει. Το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης (άρα και η γωνία πρόσπτωσης) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin^{-1} \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \quad (5.3.1)$$

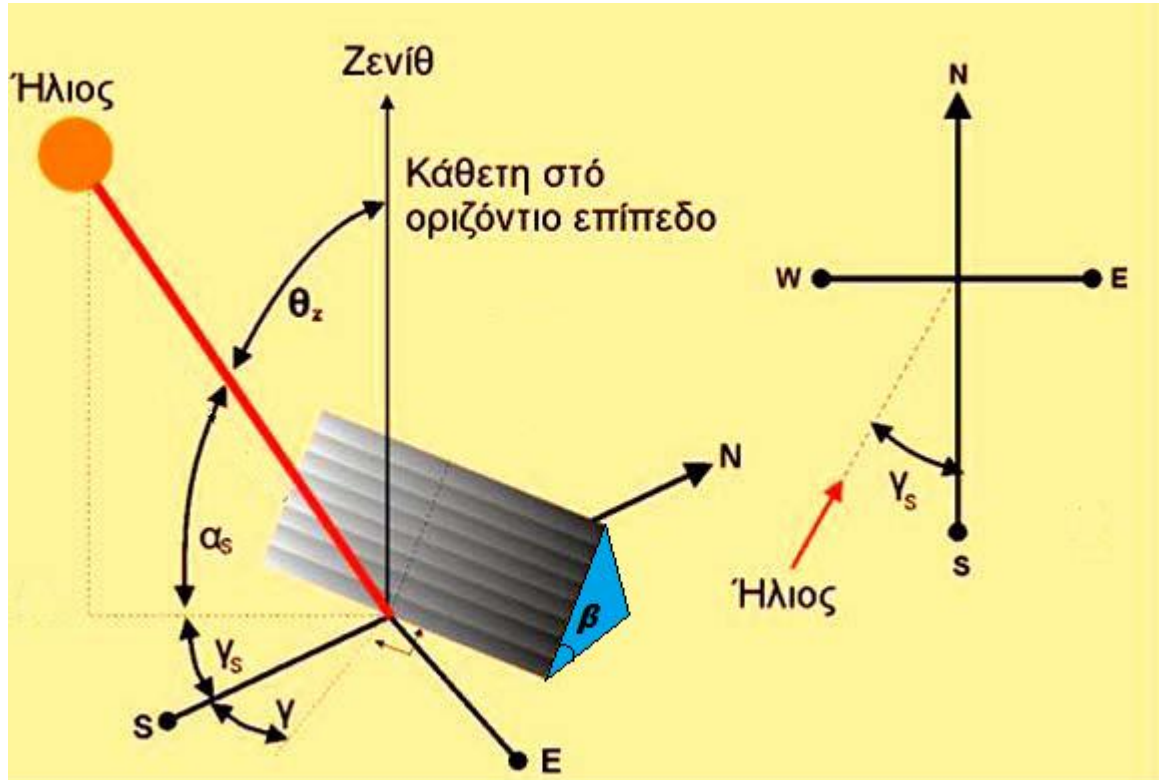
Ο παραπάνω τύπος απλοποιείται πολύ όταν έχουμε να κάνουμε με επιφάνειες που είναι κάθετες στο επίπεδο (πχ ένας τοίχος) όπου $\beta=90^\circ$. Έτσι έχουμε

$$\cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \quad (5.3.2)$$

➤ Έχοντα ορίσει το γεωγραφικό πλάτος φ και την ηλιακή απόκλιση δ μπορούμε τώρα να δούμε την σχέση που δίνει την διάρκεια της κάθε ημέρας (ώρες από την ανατολή μέχρι τη δύση του ηλίου). Η σχέση αυτή είναι:

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (5.3.3)$$

Στην Εικόνα 5.1 που ακολουθεί φαίνονται όλες οι γωνίες που περιγράψαμε προηγουμένως.



Εικόνα 5.1: Γωνίες προσανατολισμού της επιφάνειας και του ήλιου

5.4 Μοντέλα υπολογισμού της προσπίπτουσας ωριαίας ακτινοβολίας του ήλιου

Οι αισθητήρες που μετρούν την ακτινοβολία είναι συνήθως σε οριζόντιο επίπεδο. Χρειάζεται ωστόσο τις περισσότερες φορές να υπολογίσουμε την ακτινοβολία που πέφτει σε ένα κεκλιμένο επίπεδο (πχ φωτοβολταϊκά) ή σε ένα κάθετο επίπεδο (πχ τοίχος, παράθυρο). Για να μπορέσουμε να το κάνουμε αυτό χρησιμοποιούμε κάποια μοντέλα που με βάση την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο μας δίνουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε μία οποιαδήποτε επιφάνεια. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούμε εδώ είναι τρία. Το πρώτο και απλούστερο είναι το ιστροπικό, το επόμενο είναι το ανιστροπικό ή ΗDKR και το τελευταίο είναι το PEREZ. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε και τα τρία μοντέλα είναι για να μπορούμε να τα συγκρίνουμε συνεχώς μεταξύ τους και να δούμε πιο προσεγγίζει καλύτερα την μετρούμενη τιμή που έχουμε

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

από τον αισθητήρα που βρίσκεται στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών (κεκλιμένο). Θα πάρουμε επίσης μια σαφή εικόνα για το πόσο οι υπολογιζόμενες τιμές διαφέρουν από τις μετρούμενες όταν οι καιρικές συνθήκες είναι άστατες (εναλλαγή συννεφιάς, ηλιοφάνειας).

- **Κοινές έννοιες των μοντέλων**

Πριν προχωρήσουμε όμως στο κάθε μοντέλο ξεχωριστά είναι απαραίτητο να αναφέρουμε εδώ τρεις έννοιες που είναι κοινές και στα τρία μοντέλα.

- ❖ Τις περισσότερες φορές οι μετρήσεις που έχουμε για την ηλιακή ακτινοβολία αναφέρονται σε οριζόντιο επίπεδο. Για τον υπολογισμό λοιπόν τις ακτινοβολίας σε ένα κεκλιμένο επίπεδο χρησιμοποιούμε το λόγο R_b (γεωμετρικός παράγοντας) που είναι ο λόγος της ακτινικής συνιστώσας σε κεκλιμένη επιφάνεια προς την ακτινική συνιστώσα σε οριζόντια επιφάνεια και δίνεται από τη σχέση

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{G_{b,n} \cos \theta}{G_{b,n} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (5.4.1)$$

όπου $G_{b,T}$ η ακτινοβολία (W/m^2) σε κεκλιμένη επιφάνεια

G_b η ακτινοβολία (W/m^2) σε οριζόντια επιφάνεια

$G_{b,n}$ η άμεση ακτινοβολία

και τα $\cos \theta$, $\cos \theta_z$ από τις 5.3.1 , 5.2.7 αντίστοιχα

Ο παραπάνω λόγος όταν έχουμε να μελετήσουμε φωτοβολταϊκά, που για το βόρειο ημισφαίριο έχουν ιδανική αζιμουθιακή γωνία $\gamma=0^\circ$ και με κατάλληλη αντικατάσταση από τις σχέσεις 5.3.1 και 5.2.7, γίνεται:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta} \quad (5.4.2)$$

- ❖ Ο επόμενος παράγοντας που είναι κοινός και στα τρία μοντέλα είναι ο δείκτης καθαρότητας της ατμόσφαιρας. Ο δείκτης αυτός αντικατοπτρίζει τη συχνότητα με την οποία εμφανίζονται περίοδοι με διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας. Ορίζεται ωριαίος, ημερήσιος και μηνιαίος αλλά για εμείς θα ασχοληθούμε μόνο με τον ωριαίο. Η σχέση που μας δίνει το δείκτη καθαρότητα της ατμόσφαιρας είναι:

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (5.4.3)$$

όπου I η ολική ωριαία ακτινοβολία όπως την μετρούμε με τον οριζόντιο αισθητήρα και I_o η ωριαία ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια απουσία ατμόσφαιρας όπως υπολογίζεται από την σχέση 5.2.6.

- ❖ Ο υπολογισμός της διάχυτης και της άμεσης συνιστώσας της ωριαίας ακτινοβολίας είναι και αυτός κοινός και στα τρία μοντέλα. Αυτός ο διαχωρισμός είναι απαραίτητος γιατί τα μοντέλα που υπολογίζουν την απορροφούμενη ακτινοβολία σε μία κεκλιμένη επιφάνεια έχουν διαφορετική αντιμετώπιση για την κάθε μία από τις δύο αυτές συνιστώσες. Για τον υπολογισμό λοιπόν των δύο αυτών συνιστωσών υπολογίζουμε αρχικά τον λόγο της διαχεόμενης ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια ως προς την ολική προσπίπτουσα στην επιφάνεια. Ο λόγος αυτός συσχετίζεται με τον δείκτη καθαρότητας της ατμόσφαιρας μέσω της σχέσης 5.4.4 που ακολουθεί και μας δίνει την διάχυτη ακτινοβολία για τις διάφορες τιμές του.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09k_T & \text{for } k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.160k_T + 4.388k_T^2 & \text{for } 0.22 < k_T \leq 0.80 \\ -16.638k_T^3 + 12.336k_T^4 & \\ 0.165 & \text{for } k_T > 0.80 \end{cases} \quad (5.4.4)$$

Η ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της διάχυτης και της άμεσης οπότε από την σχέση 5.4.5 υπολογίζουμε και την άμεση ακτινοβολία (I_b).

$$I = I_b + I_d \quad (5.4.5)$$

• Τα μοντέλα του ήλιου

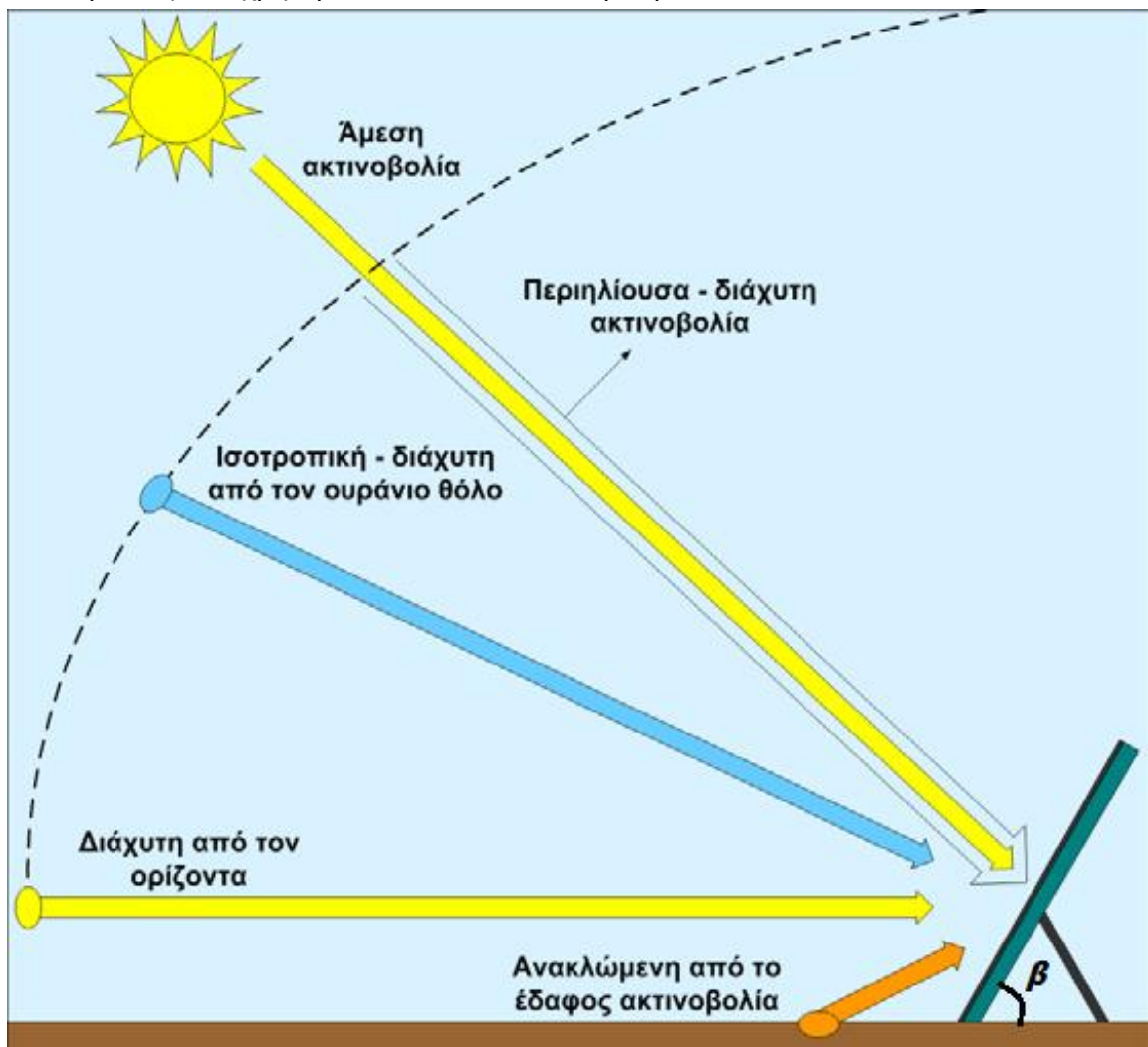
Έχοντας περιγράψει πιο πριν κάποιες έννοιες κοινές και στα τρία μοντέλα μπορούμε τώρα να αναφερθούμε πιο διεξοδικά στο κάθε ένα ξεχωριστά. Στην ουσία η διαφορά που έχουν μεταξύ τους αυτά τα μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού της ακτινοβολίας είναι στο πως χειρίζονται την διάχυτη ακτινοβολία. Για να γίνει πιο εύκολα κατανοητό αυτό θα αναφέρουμε αρχικά όλα τα είδη της διάχυτης ακτινοβολίας και θα δούμε στη συνέχεια πως το κάθε μοντέλο αντιμετωπίζει το κάθε είδος. Μπορούμε να χωρίσουμε λοιπόν την διάχυτη ακτινοβολία σε 3 είδη:

- 1) Αρχικά έχουμε την ιστροπική που διαχέεται από την ατμόσφαιρα και λαμβάνεται ομοιόμορφα από όλο τον ουράνιο θόλο (isotropic diffuse)

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

- 2) Μετά έχουμε την περιηλίουσα που οφείλεται στη σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας και είναι συγκεντρωμένη στην περιοχή γύρω από τον ήλιο (circumsolar diffuse)
- 3) Και τέλος υπάρχει και η διάχυτη από το ορίζοντα που οφείλεται στην φωτεινότητα του ορίζοντα και είναι πιο εμφανής όταν ο ουρανός είναι καθαρός (diffuse from horizon)

Επιπρόσθετα με τις συνιστώσες της διάχυτης ακτινοβολίας τα τρία μοντέλα, στη τελική ακτινοβολία, συνυπολογίζουν την άμεση ακτινοβολία και την ακτινοβολία που αντανακλάται από το έδαφος. Στην Εικόνα 5.2 φαίνονται όλες οι συνιστώσες της ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται και στα τρία μοντέλα.



Εικόνα 5.2: Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

Τώρα μπορούμε να δούμε τι περιλαμβάνει το κάθε μοντέλο.

- Ισοτροπικό μοντέλο

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

Το ισοτροπικό μοντέλο είναι το απλούστερο από τα τρία μοντέλα που θα δούμε εδώ. Θεωρεί ότι σε μία κεκλιμένη επιφάνεια εκτός από την άμεση και την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία (που υπάρχουν και στα τρία μοντέλα) προσπίπτει μόνο η ισοτροπική, αυτή δηλαδή που διαχέεται στον ουράνιο θόλο. Το μοντέλο ονομάζεται γι' αυτό ακριβώς το λόγο ισοτροπικό γιατί δεν λαμβάνονται υπόψη οι υπόλοιπες συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας. Η σχέση 5.4.6 που ακολουθεί μας δίνει την συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε μία κεκλιμένη επιφάνεια σύμφωνα με το ισοτροπικό μοντέλο.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (5.4.6)$$

Η σχέση αποτελείται από τρεις όρους. Ο πρώτος αφορά την άμεση ακτινοβολία και είναι συνάρτηση του γεωμετρικού παράγοντα που αναφέραμε παραπάνω (σχέση 5.4.1). Ο δεύτερος είναι η διάχυτη ακτινοβολία που εξαρτάται από το β (την κλίση δηλαδή της επιφάνειας). Ο τρίτος όρος αφορά την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία. Και αυτός εξαρτάται από την κλίση της επιφάνειας αλλά εξαρτάται και από τον συντελεστή ρ_g που δείχνει την ανακλαστική ικανότητα του εδάφους και θεωρητικά παίρνει τιμές από 0 έως 1. Στην πραγματικότητα παίρνει τιμές γύρω στο 0.5 (π.χ το φρέσκο χιόνι έχει συντελεστή 0.7). Τα I_b, I_d προκύπτουν από τις σχέσεις 5.4.4, 5.4.5 που αναφέραμε παραπάνω.

➤ Μοντέλο HDKR

Το μοντέλο HDKR (από τα αρχικά των Hay, Davies, Reindl, Klucher που ο καθένας πρόσθεσε κάτι στην τελική σχέση υπολογισμού) διαφέρει από το ισοτροπικό μοντέλο στον τρόπο που χειρίζεται την διάχυτη ακτινοβολία. Το HDKR λαμβάνει υπόψη του όλες τις συνιστώσες της διάχυτης ακτινοβολίας που φαίνονται στην Εικόνα 5.2. Η σχέση που δίνει την συνολική ακτινοβολία σε μία κεκλιμένη επιφάνεια σύμφωνα με το μοντέλο HDKR είναι:

$$I_T = I_b R_b + I_d A_i R_b + I_d (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left[1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (5.4.7)$$

Η σχέση αυτή αποτελείται από τέσσερις παράγοντες. Ο πρώτος και ο τελευταίος είναι ίδιοι με αυτούς του ισοτροπικού μοντέλου και αντιπροσωπεύουν τις ίδιες ακριβώς ποσότητες, δηλαδή την άμεση και την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία αντίστοιχα. Ο δεύτερος και ο τρίτος όρος της 5.4.7 αφορούν την διάχυτη ακτινοβολία. Ο δεύτερος δίνει την περιήλια (circumsolar) διάχυτη ακτινοβολία. Το A_i (που βρίσκεται και στον τρίτο όρο της σχέσης) είναι ένας

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

δείκτης ανισοτροπίας που είναι μια συνάρτηση της διαπερατότητας της ατμόσφαιρας για την άμεση ακτινοβολία και υπολογίζεται από τη σχέση 5.4.8 που ακολουθεί. Στην ουσία το A_i μας δίνει το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας που κατέχει η περιήλια ενώ αυτό που μένει είναι η ιστροπική και η διάχυτη από τον ορίζοντα.

$$A_i = \frac{I_b}{I_o} \quad (5.4.8)$$

Ο τρίτος όρος της σχέσης μας δίνει την διάχυτη ακτινοβολία από τον ουράνιο θόλο (ιστροπική) και την διάχυτη ακτινοβολία από τον ορίζοντα. Ο συντελεστής $(1 - A_i)$ δίνει το ποσοστό της συνολικής διάχυτης που κατέχουν η ιστροπική και η διάχυτη από τον ορίζοντα, ενώ ο συντελεστής $[1 + f \sin^3(b/2)]$ είναι ένας διορθωτικός συντελεστής ώστε να υπολογίζεται και η διάχυτη ακτινοβολία από τον ορίζοντα. Το f αυτού του συντελεστή δίνεται από τον τύπο:

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (5.4.9)$$

Έτσι μέσω των συντελεστών A_i και $[1 + f \sin^3(b/2)]$ που είναι η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στις σχέσεις υπολογισμού της ολικής ακτινοβολίας ανάμεσα στο ιστροπικό και το HDKR λαμβάνονται υπόψη η περιήλια ακτινοβολία και η διάχυτη από τον ορίζοντα.

➤ Μοντέλο Perez

Το μοντέλο Perez λαμβάνει υπόψη του ακριβώς τις ίδιες συνιστώσες της διάχυτης ακτινοβολίας με το HDKR, που αναλύσαμε παραπάνω, αλλά κάνει μια πολύ πιο πολύπλοκη ανάλυση αυτών των συνιστωσών. Ας δούμε αρχικά την σχέση που χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και στη συνέχεια θα πούμε δυο λόγια για το πως υπολογίζεται και τι αντικατοπτρίζει ο κάθε όρος της σχέσης αυτής. Η σχέση υπολογισμού της ακτινοβολίας κατά το μοντέλο Perez είναι:

$$I_T = I_b R_b + I_d (1 - F_1) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_d F_1 \frac{a}{b} + I_d F_2 \sin \beta + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (5.4.10)$$

Εδώ όπως και στην σχέση υπολογισμού του HDKR και του ιστροπικού ο πρώτος όρος μας δίνει την άμεση ακτινοβολία και ο τελευταίος την ανακλώμενη από το έδαφος. Οι τρεις ενδιάμεση όροι είναι για τις συνιστώσες της διάχυτης

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

ακτινοβολίας. Οι συντελεστές F_1 και F_2 είναι για την περιήλια και την διάχυτη από τον ορίζοντα αντίστοιχα ενώ τα α και b είναι κάποιοι όροι που συνυπολογίζουν την γωνία πρόσπτωσης της περιήλιας ακτινοβολίας σε κεκλιμένες και οριζόντιες επιφάνειες. Οι όροι α και b υπολογίζονται από τις σχέσεις 5.4.11 και 5.4.12 αντίστοιχα.

$$\alpha = \max[0, \cos \theta] \quad (5.4.11)$$

$$b = \max[\cos 85, \cos \theta_z] \quad (5.4.12)$$

Οι συντελεστές F_1 και F_2 είναι συνάρτηση τριών παραγόντων που περιγράφουν τις συνθήκες του ουρανού, την ζενιθιακή γωνία θ_z , ένα συντελεστή καθαρότητας (ε) και ένα συντελεστή λάμψης (Δ). Για τον υπολογισμό αυτών των συντελεστών έχουμε τις σχέσεις 5.4.13 και 5.4.14 που ακολουθούν. Για τον συντελεστή καθαρότητας (ε) έχουμε:

$$\varepsilon = \frac{\frac{I_d + I_n}{I_d} + 5.535 \cdot 10^{-6} \theta_z^3}{1 + 5.535 \cdot 10^{-6} \theta_z^3} \quad (5.4.13)$$

όπου I_n είναι η άμεση ακτινοβολία σε κάθετη επιφάνεια (η μετρούμενη από τον αισθητήρα), I_d η διάχυτη ακτινοβολία και θ_z η ζενιθιακή γωνία σε μοίρες. Για τον συντελεστή λάμψης (Δ) έχουμε:

$$\Delta = m \frac{I_d}{I_{on}} \quad (5.4.14)$$

όπου m είναι η αέρια μάζα που δίνεται από τον τύπο 5.4.15, και I_{on} είναι η εξωγήινη ακτινοβολία σε κάθετη επιφάνεια

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (5.4.15)$$

Οι συντελεστές λαμπρότητας F_1 και F_2 υπολογίζονται από τις σχέσεις 5.4.16 και 5.4.17 αντίστοιχα.

$$F_1 = \max \left[0, \left(f_{11} + f_{12} \Delta + \frac{\pi \theta_z}{180} f_{13} \right) \right] \quad (5.4.16)$$

Κεφάλαιο 5 ■ Τα μοντέλα του ήλιου

$$F_2 = \left(f_{21} + f_{22}\Delta + \frac{\pi\theta_z}{180} f_{23} \right) \quad (5.4.17)$$

όπου οι συντελεστές f δίνονται από τον Πίνακα 1 που ακολουθεί ανάλογα με την τιμή του συντελεστή καθαρότητας (ε).

Range of ε	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{21}	f_{22}	f_{23}
0 - 1.065	-0.196	1.084	-0.006	-0.114	0.180	-0.019
1.065 - 1.230	0.236	0.519	-0.180	-0.011	0.020	-0.038
1.230 - 1.500	0.454	0.321	-0.255	0.072	-0.098	-0.046
1.500 - 1.950	0.866	-0.381	-0.375	0.203	-0.403	-0.049
1.950 - 2.800	1.026	-0.711	-0.426	0.273	-0.602	-0.061
2.800 - 4.500	0.978	-0.986	-0.350	0.280	-0.915	-0.024
4.500 - 6.200	0.748	-0.913	-0.236	0.173	-1.045	0.065
6.200 - †	0.318	-0.757	0.103	0.062	-1.698	0.236

Πίνακας 5.1: Συντελεστές f

Μέσω λοιπόν του υπολογισμού της ακτινοβολίας μέσω και των τριών μοντέλων, μας δίνεται η δυνατότητα να συγκρίνουμε τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν από τα μοντέλα με την πραγματική τιμή που μας δίνει ο αισθητήρας ακτινοβολίας που βρίσκεται στο κεκλιμένο επίπεδο και να έτσι να συγκρίνουμε σε πραγματικό χρόνο τα τρία μοντέλα. Αυτή βέβαια η δυνατότητα του προγράμματος ενδιαφέρει περισσότερο σε εργαστηριακό επίπεδο, ωστόσο οι μετρήσεις της ακτινοβολίας χρειάζονται και στον υπολογισμό των συντελεστών απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου όπως θα δούμε στην συνέχεια. Έχοντας λοιπόν περιγράψει πλήρως τα μοντέλα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούμε τώρα να προχωρήσουμε στην ανάλυση των συντελεστών απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

6. Απόδοση Φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος

Η αποτίμηση της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για να υπάρχει μια συνεχόμενη ανάπτυξη τέτοιου είδους εφαρμογών. Για τους κατασκευαστές η απόδοση των συστημάτων που παράγουν είναι ένα δείκτης της ποιότητάς τους. Για επιστημονικές και ερευνητικές ομάδες η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σημαντική στην βελτίωσή του ίδιου του συστήματος ώστε να καλύπτει τις παρούσες αλλά και τις μελλοντικές ανάγκες. Τέλος για τον μικρό παραγωγό / επιχειρηματία που έχει επενδύσει σε ένα τέτοιο σύστημα είναι απαραίτητο να γνωρίζει την απόδοσή του, έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμήσει τα προϊόντα που αγόρασε και να μπορεί να έχει κάποιο μέτρο σε παρόμοιες μελλοντικές επενδύσεις. Γεννιέται λοιπόν η ανάγκη να υπάρχει κάποιο κοινό μέτρο της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλους τους εμπλεκόμενους που αναφέραμε νωρίτερα. Αυτό το μέτρο της απόδοσης έγκειται στον υπολογισμό κάποιων δεικτών απόδοσης. Αυτοί οι δείκτες μας δίνουν την δυνατότητα να διαγνώσουμε προβλήματα στην λειτουργία του συστήματός μας αλλά και να συγκρίνουμε συστήματα διαφορετικού μεγέθους, παλαιότητας ή ακόμα και συστήματα σε διαφορετικές περιοχές. Οι δείκτες που θα αναφέρουμε παρακάτω αφορούν μικρά υβριδικά δίκτυα (όπως είναι του εργαστηρίου που μελετούμε) αλλά μπορεί να επεκταθεί και σε μεγαλύτερα συστήματα κάνοντας κάποιες παραδοχές. Αφού αρχικά δούμε τους δείκτες και πούμε δύο λόγια γι' αυτούς στη συνέχεια θα δούμε και ένα πείραμα για να τους υπολογίσουμε και στην πράξη.

6.1 Δείκτες απόδοσης φωτοβολταϊκού υβριδικού συστήματος

Οι δείκτες που χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι 5. Έτσι έχουμε:

- *The Solar Fraction (ηλιακό κλάσμα) F_{Sol}*

Το ηλιακό κλάσμα είναι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά προς την ολική ενέργεια που καταναλώνει το σύστημά μου και δίνεται από την σχέση 6.1.1.

$$F_{Sol} = \frac{E_{PV,AC}}{E_{TOTAL}} \quad (6.1.1)$$

όπου, $E_{PV,AC}$ είναι η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στην έξοδο του αντιστροφέα και που μετριέται σε κιλοβατώρες ανά ημέρα (kWh/d)
 E_{TOTAL} είναι συνολική ενέργεια που καταναλώνει το σύστημά μου και μετριέται και αυτή σε κιλοβατώρες ανά ημέρα (kWh/d)

Ο δείκτης αυτός αποτελεί πολύ σημαντικό κριτήριο στην σωστή διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μέσα σε ένα υβριδικό σύστημα με ένα συγκεκριμένο προφίλ κατανάλωσης αφού στην ουσία μας δίνει ποιο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώθηκε, είχε παραχθεί από τα φωτοβολταϊκά. Για ένα φωτοβολταϊκό πάρκο τώρα που η καταναλισκόμενη ενέργεια για της ανάγκες του πάρκου είναι πολύ μικρή ο δείκτης αυτός μπορεί να πάρει τιμές κοντά στο 100%.

➤ *The Array Yield (απόδοση σειράς) Y_A*

Η απόδοση σειράς είναι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά (μετά τον αντιστροφέα) προς την ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ του φωτοβολταϊκού μου συστήματος και υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης 6.1.2 που ακολουθεί.

$$Y_A = \frac{E_{PV,AC}}{P_{nominal}} \quad (6.1.2)$$

όπου, $E_{PV,AC}$ η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στην έξοδο του αντιστροφέα σε κιλοβατώρες ανά ημέρα (kWh/d)
 $P_{nominal}$ η ονομαστική ισχύς του φωτοβολταϊκού μου συστήματος (kW_p)

Η απόδοση σειράς πρακτικά μας δίνει πόσες ώρες την ημέρα θα έπρεπε να λειτουργήσει το σύστημά μας στην ονομαστική του ισχύ (μέγιστη) για να παραχθεί ή ποσότητα ενέργειας που έχουμε μετρήσει. Είναι ένας πολύ σημαντικός δείκτης της απόδοσης του συστήματός μας και μας ενδιαφέρει να παίρνει όσο το δυνατόν υψηλότερες τιμές. Χαμηλές τιμές αυτού του δείκτη μπορεί να σημαίνουν κακό προσανατολισμό ή λάθος κλίση των πανέλων, κάποια σκίαση των πανέλων ή ακόμα και κάποιο πρόβλημα με τον αντιστροφέα.

➤ *The Reference Yield (απόδοση αναφοράς) Y_R*

Η απόδοση αναφοράς είναι ο λόγος της μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια προς την ακτινοβολία σε ιδανικές συνθήκες (ακτινοβολία αναφοράς $G_{STC}=1000W/m^2$). Η σχέση 6.1.3 μας δίνει την απόδοση αναφοράς.

$$Y_R = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (6.1.3)$$

όπου, H_i η συνολική ημερήσια ακτινοβολία ανά τετραγωνικό μέτρο που προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά πλαίσια (kWh/m^2d)

G_{STC} η ακτινοβολία αναφοράς ($1kW/m^2$)

Η απόδοση αναφοράς μας δείχνει πόσες ώρες με την ιδανική ακτινοβολία (G_{STC}) θα χρειαζόνταν για να ώστε να έχουμε την ίδια συνολική ακτινοβολία (H_i) στη διάρκεια μιας ημέρας. Η συνολική ακτινοβολία μπορεί να μετριέται άμεσα με έναν αισθητήρα στην κλίση των πλαισίων ή έμμεσα μέσω ενός από τα μοντέλα που περιγράψαμε στο κεφάλαιο 5.

➤ *The Final Yield (τελική απόδοση) Y_f*

Η τελική απόδοση είναι ένας δείκτης που θέλει διαφορετική αντιμετώπιση αν πρόκειται για ένα υβριδικό σύστημα μικρής κλίμακας και διαφορετική όταν πρόκειται για ένα φωτοβολταϊκό πάρκο στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Η τελική απόδοση μας δίνει πόσες ώρες ανά ημέρα θα έπρεπε να παράγει στη μέγιστη ισχύ το συγκεκριμένο σύστημα ώστε να παραχθεί η ίδια ποσότητα ενέργειας προς χρήση και δίνεται από την σχέση 6.1.4 που ακολουθεί.

$$Y_f = \frac{E_{PV,use}}{P_{nominal}} \quad (6.1.4)$$

όπου, $P_{nominal}$ η ονομαστική ισχύς του φωτοβολταϊκού μου συστήματος (kW_p)

Κεφάλαιο 6 ■ Απόδοση φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος

$E_{PV,use}$ η AC ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε και που είχε παραχθεί από τα φωτοβολταϊκά (kWh/d)

Η $E_{PV,use}$ προκύπτει με την βοήθεια του δείκτη F_{Sol} περιγράψαμε παραπάνω και δίνεται από την σχέση 6.1.5 που ακολουθεί

$$E_{PV,use} = E_{LOAD} \cdot F_{Sol} \quad (6.1.5)$$

όπου, E_{LOAD} είναι η ενέργεια που καταναλώνουν τα φορτία (kWh/d)

F_{Sol} ο δείκτης ηλιακό κλάσμα που περιγράψαμε παραπάνω

Η $E_{PV,use}$ για ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα είναι η ενέργεια που καταναλώνεται από τα φορτία και έχει παραχθεί από τα φωτοβολταϊκά ενώ για ένα φωτοβολταϊκό πάρκο του διασυνδεδεμένου συστήματος είναι η ενέργεια που δίνει στο δίκτυο. Στο φωτοβολταϊκό πάρκο του διασυνδεδεμένου συστήματος η τιμή του $E_{PV,use}$ είναι πολύ κοντά στην τιμή του $E_{PV,AC}$ που αναφέραμε παραπάνω καθώς μόνο οι απώλειες των καλωδιώσεων (που είναι σχετικά μικρές) κάνουν την διαφορά. Σε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα η διαφορά του $E_{PV,use}$ από το $E_{PV,AC}$ μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη καθώς εν γνώση μας μέρος της ενέργειας που παράγουν τα φωτοβολταϊκά μας έχει σαν σκοπό την αποθήκευση στις μπαταρίες για μετέπειτα χρήση. Ο δείκτης αυτός πάντως είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στη σύγκριση συστημάτων μεταξύ τους ανεξάρτητα από το μέγεθός τους.

➤ The Performance Ratio (λόγος απόδοσης) PR

Ο λόγος απόδοσης ορίζεται σαν ο λόγος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά, προς την ονομαστική ενέργεια και δίνεται από τη σχέση 6.1.6 που ακολουθεί

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} \quad (6.1.6)$$

όπου, Y_f η τελική απόδοση και

Y_R η απόδοση αναφοράς

Ο λόγος απόδοσης μας δείχνει πώς χρησιμοποιείται η ενέργεια του συστήματός μου και είναι χαρακτηριστικό του συστήματος που έχω οποιασδήποτε μορφής και αν είναι αυτό. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή αυτού του αδιάστατου δείκτη τόσο καλύτερη και η λειτουργία του συστήματός μου αφού χρησιμοποιεί με τον καλύτερο τρόπο το δυναμικό του, ενώ χαμηλές τιμές του δείχνουν απώλειες ενέργεια εξαιτίας τεχνικών ή κατασκευαστικών προβλημάτων. Πρακτικά ο λόγος απόδοσης μου δείχνει αν το σύστημα που με ενδιαφέρει λειτουργεί στο αναμενόμενο επίπεδο. Συνήθως υπολογίζεται σε μηνιαία ή ετήσια βάση ωστόσο ορισμένες φορές και σε ημερήσια. Σταδιακή μείωση του λόγου απόδοσης (φαίνεται καλύτερα στις μακροχρόνιες μετρήσεις) μπορεί να σημαίνει ότι τα πλαίσιά μου είναι λερωμένα ή απλά ότι το σύστημά μου είναι παλιό (τέτοιου είδους μείωση δεν μπορεί να διορθωθεί). Απότομες μεταβολές όμως του λόγου απόδοσης μπορεί να σημαίνουν πρόβλημα με κάποιον αντιστροφέα του συστήματος, σκίαση, χιόνια στα πλαίσια, πρόβλημα με κάποιο πλαίσιο ή με κάποια δίοδο και άλλα πολλά. Γενικά είναι ένας πολύ χρήσιμος δείκτης στο να μας επισημάνει πρόβλημα στο σύστημά μας και επειδή για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται μια κανονικοποιημένη, μέσω της ακτινοβολίας, μορφή της ονομαστικής ενέργειας (εξαιτίας της χρήσης του δείκτη Y_R στον υπολογισμό του) ποσοτικοποιεί τις συνολικές απώλειες λόγω της απόδοσης του μετατροπέα, των καλωδιώσεων, της μετατροπής από DC σε AC, της θερμοκρασία των πλαισίων, της μη σωστής χρήσης της ακτινοβολίας από αντανάκλαση, της φθοράς του συστήματος κ.α που έχει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα .

6.2 Υπολογισμός δεικτών απόδοσης συστήματος εργαστηρίου

Ο υπολογισμός των δεικτών απόδοσης, που είπαμε παραπάνω πόσο χρήσιμοι είναι, γίνεται αυτόματα σε ημερήσια βάση από τον κώδικα που έχει δημιουργηθεί στο LabView και περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3. Πιο συγκεκριμένα οι δείκτες απόδοσης του φωτοβολταϊκού μας συστήματος βρίσκονται στο μενού ΦΩΤΟ/ΚΑ στην καρτέλα με τίτλο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ. Στον κώδικα έχει ληφθεί ειδική μέριμνα έτσι ώστε αν σταματήσει το πρόγραμμα (ηθελμένα ή μη) ,να εμφανίζει τους δείκτες με τα μέχρι τότε δεδομένα που υπάρχουν. Παρακάτω θα δούμε δύο περιπτώσεις υπολογισμού των δεικτών μέσω LabView. Η πρώτη θα μας δώσει τους δείκτες για το βασικό πείραμα για το οποίο θα μιλήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο. Το πείραμα αυτό είχε τρεις ώρες διάρκεια και κατά την εκτέλεσή του δεν υπήρχαν μετρήσεις ακτινοβολίας λόγω κάποιου τεχνικού προβλήματος. Η δεύτερη περίπτωση έχει να κάνει με τις μετρήσεις για ένα εικοσιτετράωρο πείραμα με πραγματικά φορτία (δεν υπήρχε δυνατότητα χρήσης τους κατά το πρώτο πείραμα), που εξομοιώνει πλήρως την λειτουργία ενός αυτόνομου

Κεφάλαιο 6 ■ Απόδοση φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος

υβριδικού συστήματος. Οι τιμές που παίρνουν οι δείκτες για το πρώτο πείραμα φαίνονται στην Εικόνα 6.1 που ακολουθεί.

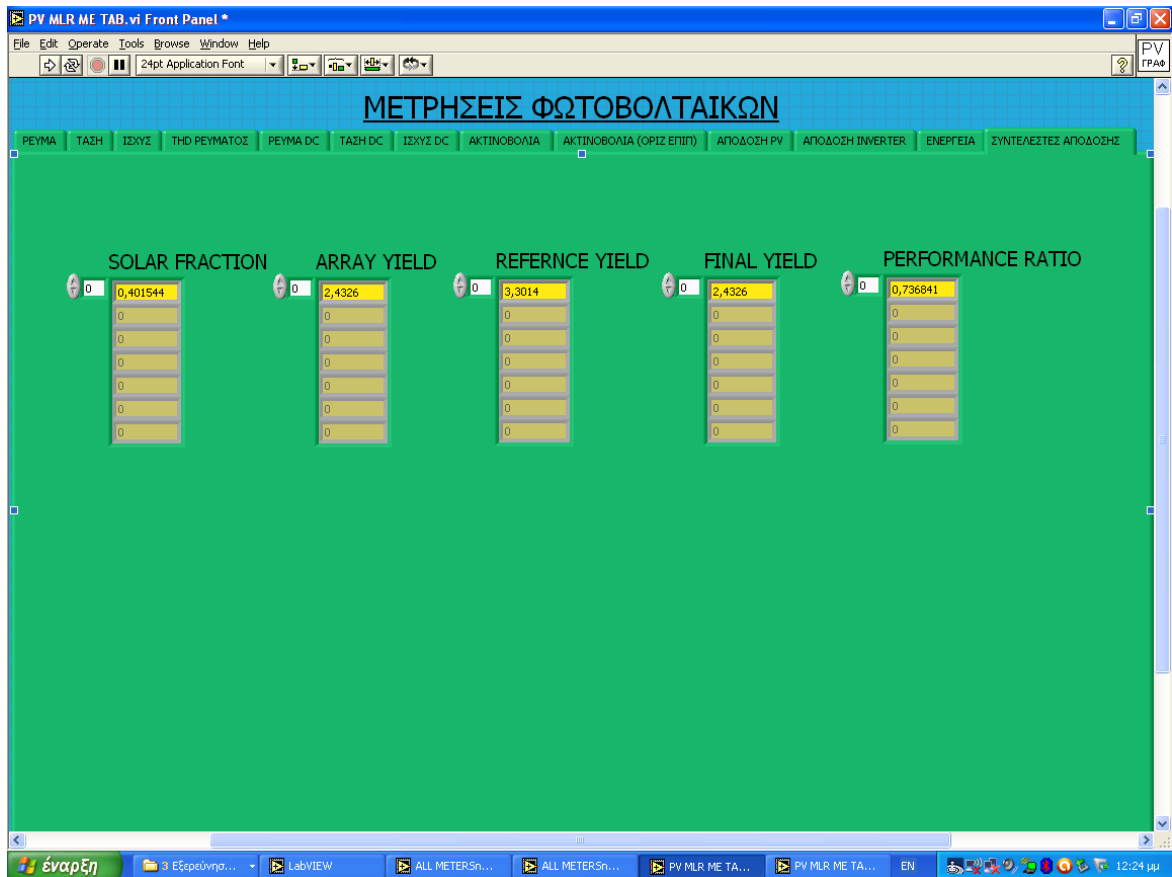


Εικόνα 6.1: Δείκτες απόδοσης φ/β συστήματος κατά το κύριο πείραμα

Οι τιμές των δεικτών όπως φαίνονται από την Εικόνα 6.1 είναι: $F_{Sol} = 0,95238$, $Y_A = 1,65289$, $Y_R = 0$, $Y_f = 1,65289$, $PR = inf$. Οι τιμές που προκύπτουν είναι πάρα πολύ καλές. Το ηλιακό κλάσμα είναι κοντά στο 100% ενώ και οι απόδοση σειράς και η τελική απόδοση έχουν πολύ μικρές τιμές, πράγμα πολύ θετικό. Το ότι η τιμή τους είναι ίδια δείχνει ότι όλη η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιείται στα φορτία. Η μεγάλη τιμή βέβαια του ηλιακού κλάσματος και η μικρές τιμές των άλλων δύο δεικτών οφείλεται στο γεγονός ότι τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ήταν πολύ μικρά (θα περιγραφούν στο επόμενο κεφάλαιο). Η απόδοση αναφοράς είναι 0 γιατί δεν υπάρχουν τιμές ακτινοβολίας και έτσι και ο λόγος απόδοσης μας δίνει σαν τιμή το άπειρο (έχει σαν παρονομαστή στον υπολογισμό του την απόδοση αναφοράς). Το δεύτερο πείραμα ,που δεν έγινε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, έλαβε χώρα στο εργαστήριο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας του ΕΜΠ με τον ίδιο εξοπλισμό και με τα ίδια όργανα μετρήσεων και έλεγχου. Η μόνη διαφορά έγκειται στα φορτία. Τα φορτία αυτού του πειράματος είναι μεγαλύτερα και έτσι προσομοιάζουν καλύτερα τα φορτία που μπορεί να έχει ένα υβριδικό σύστημα. Εκτός αυτού στη διάρκεια αυτού του πειράματος υπήρχαν και μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας. Σ' αυτό το πείραμα δεν θα

Κεφάλαιο 6 ■ Απόδοση φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος

σταθούμε ιδιαίτερα ούτε θα περιγραφεί στη συνέχεια αφού παίρνουμε μόνο τις μετρήσεις που προέκυψαν και τις βάζουμε σαν είσοδο στον υπάρχοντα κώδικα του LabView για να έχουμε ένα ορθότερο παράδειγμα υπολογισμού των δεικτών απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η Εικόνα 6.2 που ακολουθεί μας δείχνει αυτό το δεύτερο παράδειγμα υπολογισμού των δεικτών απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 6.2: Δείκτες απόδοσης φ/β συστήματος κατά το δεύτερο πείραμα

Οι τιμές που προέκυψαν με τα δεδομένα του δεύτερου πειράματος που όπως είπαμε είναι ημερήσια και πιο κοντά σε πραγματικές συνθήκες είναι: $F_{Sol} = 0,401544$, $Y_A = 2,4326$, $Y_R = 3,3014$, $Y_f = 2,4326$, $PR = 0,736841$. Οι τιμές αυτές είναι σίγουρα πιο κοντά στις τιμές που θα αναμένονταν από ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα. Το ηλιακό κλάσμα είναι λίγο πάνω από το 40% που σημαίνει ότι το 40% της ενέργειας που καταναλώθηκε από τα φορτία προήλθε από το φωτοβολταϊκό που σημαίνει ότι ίσως το σύστημά μας είναι μικρό για να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες καθώς περίπου το 60% της ενέργειας που χρησιμοποιήσαμε ήταν από την μπαταρία. Οι επόμενη τρεις δείκτες απόδοσης μας δείχνουν ότι το φωτοβολταϊκό μου σύστημα λειτουργεί σε ικανοποιητικό επίπεδο. Ο πέμπτος δείκτης, ο λόγος απόδοσης, έχει μια πολύ ικανοποιητική τιμή που δείχνει μια καλή λειτουργία του συστήματός μου.

Έχοντας περιγράψει όλες τις έννοιες που έχουν χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής μπορούμε τώρα να προχωρήσουμε στην περιγραφή του

Κεφάλαιο 6 ■ Απόδοση φωτοβολταϊκού Υβριδικού Συστήματος

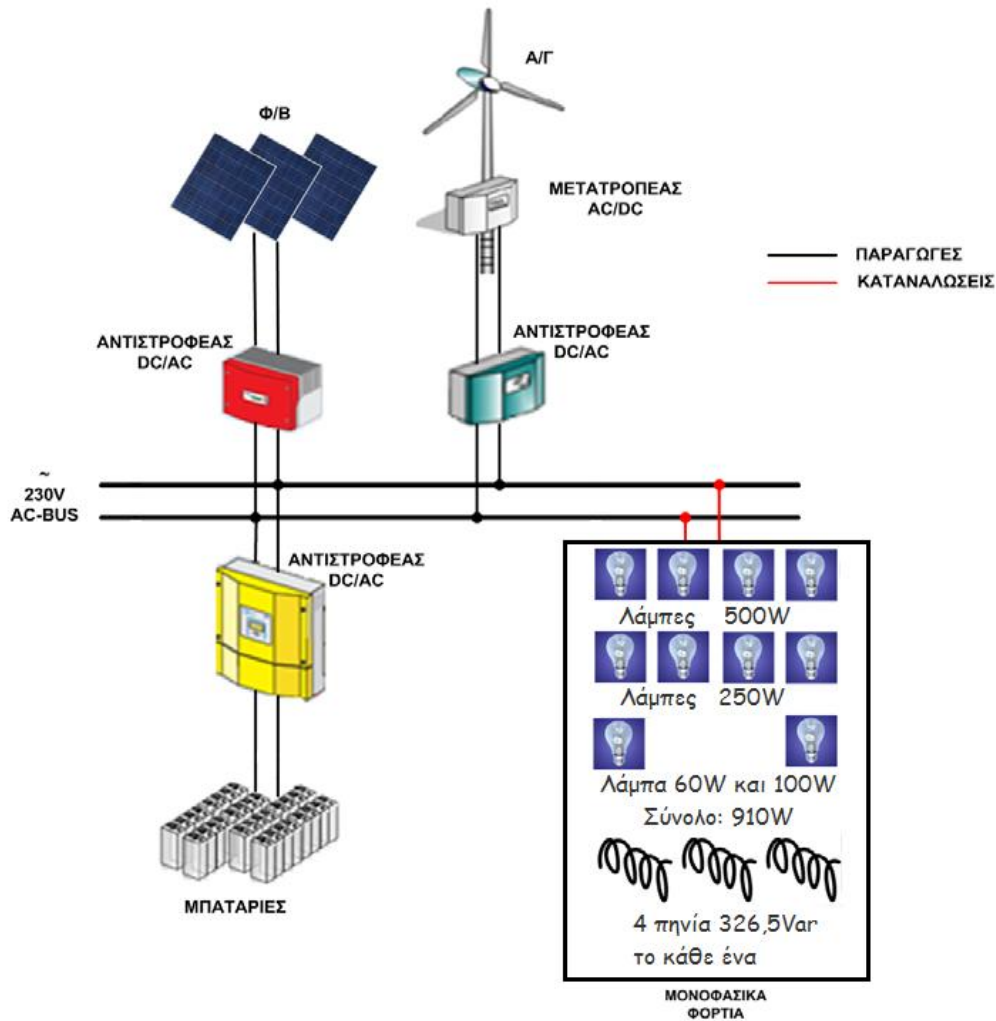
πειράματος που έγινε για να ελέγξουμε την ορθή λειτουργία του κώδικα που έχει κατασκευαστεί στο LabView για τον έλεγχο και την εποπτεία του συστήματος του εργαστηρίου. Πέρα από την περιγραφή του πειράματος θα προχωρήσουμε και σε μια περεταίρω επεξεργασία των τιμών που παίρνουμε για να επαληθεύσουμε τόσο την ορθή λειτουργία σε πρώτο επίπεδο όσο και την ορθή λειτουργία του συστήματος του εργαστηρίου σε δεύτερο επίπεδο.

7. Το τελικό πείραμα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε το τελικό πείραμα που έγινε στην διάταξη του εργαστηρίου και θα κάνουμε και μία ανάλυση στα αποτελέσματα του. Το τελικό πείραμα έχει σαν σκοπό να ελέγξει την ορθή λειτουργία του όλου κώδικα και όχι κάποια συγκεκριμένη συσκευή, αφού ο σκοπός δημιουργίας του κώδικα είναι να τρέχει συνεχώς ώστε να ελέγχουμε και να εποπτεύουμε το σύστημά μας. Έτσι εδώ θα ελέγξουμε τις τιμές που μας έχει δώσει το interface του εργαστηρίου μέσω του LabView για να επαληθεύσουμε την ορθή του λειτουργία.

7.1 Η πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες αυτού του πειράματος δεν είναι διασυνδεδεμένη με την ΔΕΗ. Έτσι μιλάμε για ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα που καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες από τις μπαταρίες, τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια. Το δίκτυο που απαιτείται για την σύνδεση των αντιστροφών της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών το δημιουργεί ο αντιστροφέας των μπαταριών. Τα φορτία που χρησιμοποιήσαμε είναι ωμικά και επαγωγικά. Το ωμικό φορτίο αποτελείται από λαμπτήρες συνολικής ισχύος 910 W που είναι χωρισμένο σε μία ομάδα των 500 W, μία ομάδα των 250 W και άλλους δύο λαμπτήρες ο ένας 100 W και ο άλλος 60 W. Το επαγωγικό φορτίο αποτελείται από 4 πηνία 326,5 Var το κάθε ένα (συνολικής ισχύς 1306 Var). Η Εικόνα 7.1 που ακολουθεί δείχνει την ακριβή πειραματική διάταξη.



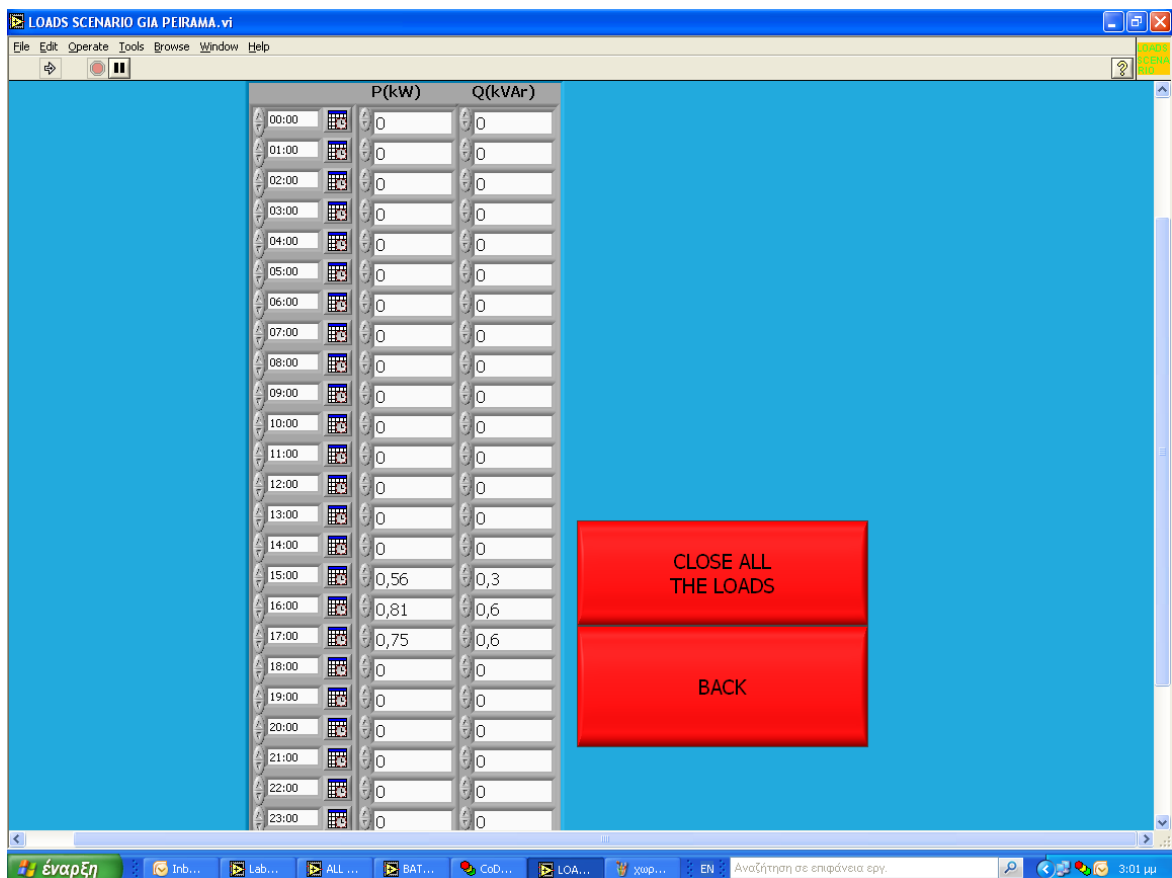
Εικόνα 7.1: Πειραματική διάταξη

7.2 Διεξαγωγή του πειράματος

Η διεξαγωγή και ο έλεγχος του πειράματος έγιναν όπως είπαμε και πριν μέσω του LabView. Το όλο πείραμα κράτησε 3 ώρες (από τις 15:00 έως τις 18:00). Στη διάρκεια του πειράματος παίρναμε μετρήσεις από όλα τα πολυόργανα και αυτές τις μετρήσεις θα επεξεργαστούμε στη συνέχεια. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο χειρισμός των φορτίων που έγινε μέσω του μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" για το οποίο μιλήσαμε στο τρίτο κεφάλαιο. Για τις ανάγκες του πειράματος είχε τροποποιηθεί το συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα καθώς δεν ήταν διαθέσιμες οι 15 αντιστάσεις του 1KW η κάθε μία για τις οποίες είχε φτιαχτεί αρχικά ο κώδικας. Το φορτίο που υπήρχε και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ήταν κάποιοι λαμπτήρες συνολικής ισχύος 910W και 4 πηνία συνολικής ισχύος 1306Var. Το ωμικό φορτίο ήταν χωρισμένο σε τέσσερα κομμάτια (ελεγχόταν από 4 ρελέ), ένα των

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

500W, ένα των 250W, ένα των 100W και ένα των 60W, ενώ το επαγωγικό σε τέσσερα κομμάτια που το καθένα είχε ισχύ 326,5 Var. Ο κώδικας πίσω από το μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" φρόντιζε ώστε ανάλογα με την τιμή ισχύος που έμπαινε σαν είσοδος, να συνδυάζει κατάλληλα τα διάφορα ωμικά και επαγωγικά φορτία ώστε να πετύχει το πλησιέστερο αποτέλεσμα σε αυτό που ζητήθηκε και μέσω όλων των δυνατών συνδυασμών των φορτίων πάντα υπήρχε μια τιμή πολύ κοντά, αν όχι ακριβώς ίση, στη ζητούμενη. Στα πλαίσια του πειράματος υπήρχε το όριο των 910W και των 1306 Var που όμως με την σύνδεση των 15 αντιστάσεων του 1KW και τη διασύνδεση των υπόλοιπων πηνίων θα έχουμε τη δυνατότητα της πλήρους προσομοίωσης ενός μικρού καταναλωτή. Στην Εικόνα 7.2 που ακολουθεί φαίνεται η επιλογή των φορτίων που έγινε για τις 3 ώρες του πειράματος. Όπως φαίνεται στην εικόνα η ισχύς του φορτίου από τις 15:00 έως τις 16:00 είναι 0,56 kW και 0,3 kVar, από τις 16:00 μέχρι τις 17:00 είναι 0,81 kW και 0,6 kVar, από τις 17:00 μέχρι τις 18:00 είναι 0,75 kW και 0,6 kVar ενώ μετά μηδενίζεται. Όλοι αυτοί οι συνδυασμοί φορτίων επιτυγχάνονται ακριβώς με κατάλληλο συνδυασμό των 4 ομάδων των ωμικών και των 4 επαγωγικών φορτίων. Εμείς έχοντας αρχικά ρυθμίσει τα φορτία που θέλουμε κατά την εκκίνηση του πειράματος στη συνέχεια απλά παρακολουθούμε την εξέλιξη του καθώς οι εναλλαγές μεταξύ των φορτίων γίνονται την προκαθορισμένη ώρα αυτόματα από το πρόγραμμα.



Εικόνα 7.2: Επιλογή φορτίων πειράματος

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

Το πρόγραμμα δίνει βέβαια την δυνατότητα να παρακολουθεί ο διαχειριστής του συστήματος όλες τις βασικές του παραμέτρους την ώρα μάλιστα που το σύστημα είναι σε πλήρη λειτουργία, ωστόσο δίνει και την δυνατότητα μετέπειτα ανάλυσης των στοιχείων του συστήματος με την περαιτέρω επεξεργασία όλων των μετρήσεων που έχουν αποθηκευτεί κατά την διάρκεια λειτουργίας του. Μία τέτοια ανάλυση μέσω των αποθηκευμένων τιμών που πήραμε κατά την λειτουργία του συστήματός θα επιχειρήσουμε να κάνουμε στην συνέχεια, για να επαληθεύσουμε την ορθή λειτουργία τόσο του προγράμματός μας (σε πρώτη φάση) όσο και του συστήματός μας (σε δεύτερη).

7.3 Έλεγχος και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος

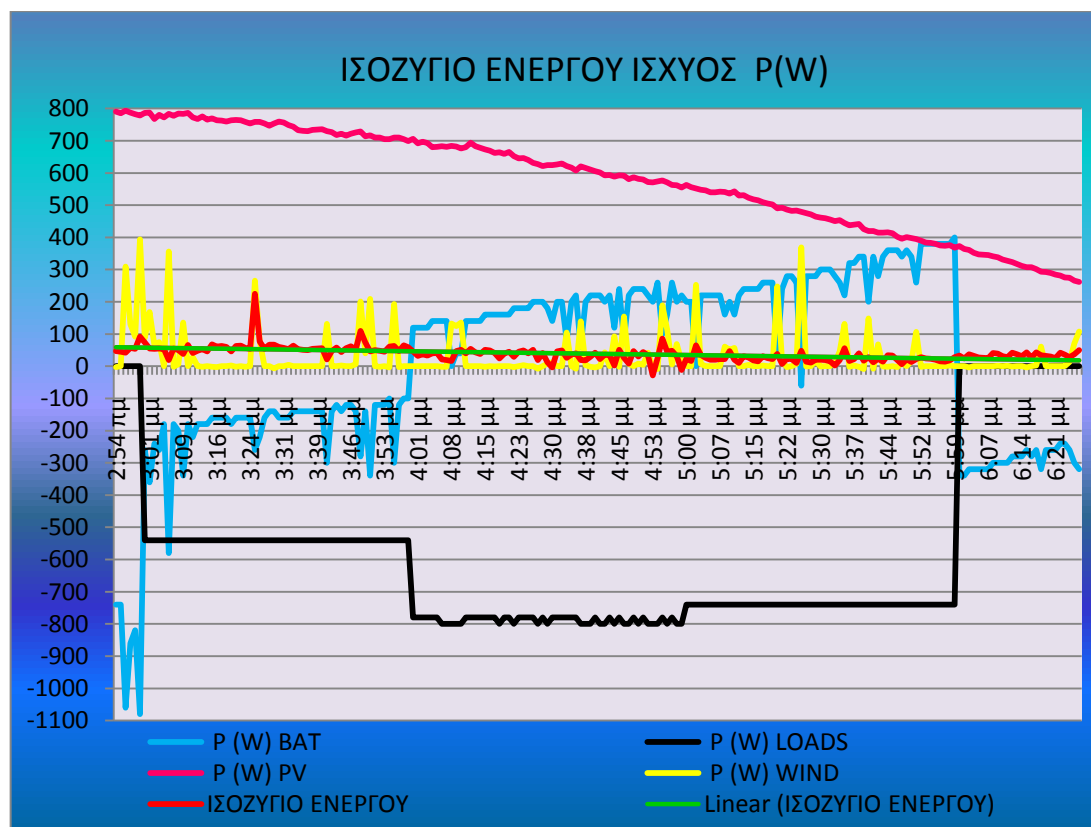
Ο έλεγχος του συστήματός μας θα γίνει μέσω του ελέγχου κάποιων τιμών του. Οι τιμές που θα ελέγξουμε έχουν να κάνουν με τις ροές ισχύος και με τις ροές ενέργειας του συστήματός μας. Έτσι ο έλεγχος του συστήματος θα πραγματοποιηθεί μέσω του ελέγχου των ισοζυγίων ισχύος (ενεργού και αέργου) και των ισοζυγίων ενέργειας. Επίσης για να ελεγχθεί η σύγκριση των μοντέλων του ήλιου που κάνει το πρόγραμμα. Θα δούμε δηλαδή το σφάλμα ανάμεσα στις μετρούμενες τιμές και τις υπολογιζόμενες από τα μοντέλα για να αποφανθούμε για το ποιο κάνει την καλύτερη προσέγγιση. Ας αρχίσουμε λοιπόν με τα ισοζύγια ισχύος.

➤ *Ισοζύγιο Ενεργού Ισχύος*

Το ισοζύγιο ενεργού ισχύος όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 7.3 που ακολουθεί αποτελείται από 6 καμπύλες. Οι ισχείς που είναι θετικές είναι αυτές που δίνονται (εξερχόμενες) ενώ οι αρνητικές είναι αυτές που απορροφώνται (εισερχόμενες). Η ροζ καμπύλη που βρίσκεται και ψηλότερα από όλες είναι η ισχύς που δίνουν τα φωτοβολταϊκά. Στην αρχή του πειράματος έχει μια τιμή κοντά στα 800 W και στο τέλος μια τιμή γύρω στα 250 W. Η καμπύλη ακολουθεί ακριβώς την αναμενόμενη πορεία της καθώς κατά την διάρκεια του πειράματος (15:00-18:00) ο ήλιος έχει αρχίσει να πέφτει που έχει σαν συνέπεια λιγότερη ακτινοβολία στα πάνελ και άρα και μικρότερη ισχύ εξόδου του φωτοβολταϊκού μας συστήματος. Η κίτρινη καμπύλη η οποία έχει έντονες διακυμάνσεις και η οποία την περισσότερη ώρα του πειράματος έχει μηδενικές τιμές είναι της ανεμογεννήτριας. Οι έντονες διακυμάνσεις και οι πολλές μηδενικές τιμές οφείλονται στην κακή επιλογή των αντιστροφών της ανεμογεννήτριας που έχουν σαν συνέπεια να συνδέεται σε πολύ λίγες περιπτώσεις στο δίκτυο του εργαστηρίου. Με το γαλάζιο χρώμα είναι η ισχύς της μπαταρίας. Όπως φαίνεται

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

από το Διάγραμμα 7.3 από τις 3:00μμ που ξεκινάει το πείραμα μέχρι τις 4:00μμ η ισχύς έχει αρνητικές τιμές. Αυτό συμβαίνει διότι η ισχύς που απαιτείται από το φορτίο εκείνη την ώρα είναι 560 W και καλύπτεται εξολοκλήρου από την ισχύ του φωτοβολταϊκού. Οι αρνητικές τιμές οφείλονται στην περίσσεια ισχύος του φωτοβολταϊκού και της ανεμογεννήτριας που αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Στις 4:00μμ η ισχύς που απαιτεί το φορτίο γίνεται 810 W και επειδή δεν μπορεί να καλυφθεί από την διαρκώς μειούμενη ισχύ του φωτοβολταϊκού και από την ασταθή ισχύ της ανεμογεννήτριας, τότε το σύστημα χρησιμοποιεί ισχύ από τις μπαταρίες. Αυτό συμβαίνει μέχρι τις 6:00μμ που τελειώνει το πείραμα και κλείνουν τα φορτία οπότε η μικρή ισχύς που δίνουν τα φωτοβολταϊκά και η ανεμογεννήτρια αποθηκεύονται στις μπαταρίες δίνοντας έτσι πάλι αρνητικές τιμές στο διάγραμμα.



Διάγραμμα 7.3: Ισοζύγιο ενεργού ισχύος

Η μαύρη καμπύλη στο διάγραμμα είναι η ισχύς που μετρείται στη είσοδο του φορτίου και ταυτίζεται ακριβώς με τις τιμές του φορτίου που είχαμε βάλει σαν είσοδο στο μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" εκτός από μια μικρή διακύμανση μεταξύ 4:00μμ και 5:00 όταν η ισχύς του φορτίου έχει μια μικρή διακύμανση και οφείλεται σε μια ελαττωματική λάμπα από αυτές που απαρτίζουν το φορτίο.

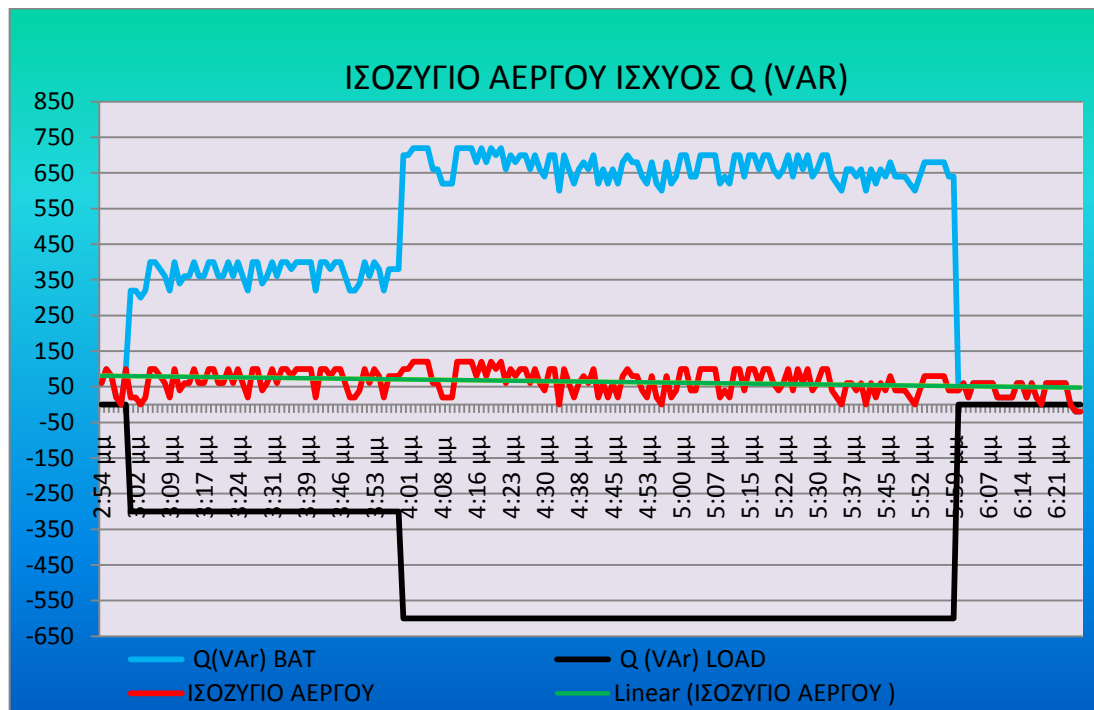
Αυτή η διακύμανση ωστόσο δεν έχει καμία συνέπεια στο πείραμα αφού παίρνουμε και επεξεργαζόμαστε τις τιμές που προκύπτουν από τα πολυόργανα και δεν θεωρούμε ότι το φορτίο ταυτίζεται με αυτό που βάλουμε στο "ΦΟΡΤΙΑ scenario". Οι δύο καμπύλες που μένουν ,η πράσινη και η κόκκινη δηλαδή, αφορούν το ισοζύγιο ενεργού ισχύος. Η κόκκινη είναι ακριβώς το ισοζύγιο ενεργού ισχύος και η πράσινη είναι μια γραμμική προσέγγιση αυτού για να μπορούμε να βγάλουμε ένα συμπέρασμα για την γενικότερη τάση του. Για το ισοζύγιο της ενεργού ισχύος προσθέτουμε όποια ισχύ δίνεται στο σύστημα από τα φωτοβολταϊκά, την ανεμογεννήτρια και τις μπαταρίες και αφαιρούμε την ισχύ που απορροφά το φορτίο και αυτή που ενδεχομένως αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα από το Διάγραμμα 7.3 το ισοζύγιο ισχύος είναι πάρα πολύ καλό. Οι τιμές του είναι λίγο πάνω από το μηδέν και σχεδόν πάντα κάτω από τα 50 W. Οι λίγες φορές που περνάει τα 50 W οφείλονται στην προβληματική ανεμογεννήτρια που δίνει μια πολύ ασταθή ισχύ με μεγάλες διακυμάνσεις και στη μικρή χρονική διαφορά που υπάρχει στους χρόνους που αποθηκεύονται οι μετρήσεις από τα διάφορα πολυόργανα. Στην πραγματικότητα η μέση τιμή του ισοζυγίου με αυτά τα σκαμπανεβάσματα από την ανεμογεννήτρια είναι γύρω στα 38 W (38,32 W). Αυτά τα 38 W που φαίνεται να χάνονται είναι οι απώλειες στις καλωδιώσεις του συστήματός αλλά και στις διάφορες μετατροπές στους αντιστροφείς. Πάντως όπως φαίνεται από την πράσινη καμπύλη, που είναι η γραμμική προσέγγιση του ισοζυγίου ενεργού ισχύος, το ισοζύγιο όσο περνάει η ώρα του πειράματος τείνει να κινηθεί πτωτικά. Είναι σίγουρο ότι ποτέ δεν θα γίνει μηδέν καθώς πάντα θα υπάρχουν απώλειες ωστόσο σίγουρα μετά από αρκετή ώρα θα έχει μια πιο σταθερή τιμή που θα κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από τα 38 W.

➤ *Ισοζύγιο Αέργου Ισχύος*

Το ισοζύγιο αέργου ισχύος όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.4 που ακολουθεί αποτελείται από 4 καμπύλες καθώς τα φωτοβολταϊκά και η ανεμογεννήτρια δεν δίνουν άεργο ισχύ στο δίκτυό μας. Με μαύρο χρώμα είναι η άεργος ισχύς όπως μετριέται στην είσοδο των φορτίων και ταιριάζει απόλυτα με το προφίλ των φορτίων που έχουμε απαιτήσει από το μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario". Με γαλάζιο χρώμα είναι η άεργος ισχύς που δίνουν κάθε στιγμή οι μπαταρίες στο φορτίο μας. Η καμπύλη αυτή δεν είναι απόλυτα σταθερή αλλά κάθε φορά έχει μικρές διακυμάνσεις γύρω από την τιμή που απαιτείται από το φορτίο. Αυτές οι διακυμάνσεις οφείλονται αφενός στο ότι ο αντιστροφέας των μπαταριών είναι αυτός που φτιάχνει το δίκτυο και ρυθμίζει όλες τις παραμέτρους του και έτσι έχει συνεχείς διακυμάνσεις στην προσπάθειά του να δημιουργήσει τις απαιτούμενες συνθήκες λειτουργίας και αφετέρου στο ότι τα πολυόργανα των φωτοβολταϊκά

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

και της ανεμογεννήτριας δίνουν μια μικρή τιμή αέργου ισχύος στην έξοδό τους. Η κόκκινη γραμμή είναι το ισοζύγιο αέργου ισχύος του συστήματός μας. Παρά τις διακυμάνσεις του έχει μια σχετικά σταθερή τιμή γύρω στα 50 VAR και μάλιστα όπως φαίνεται και από την γραμμική προσέγγιση της καμπύλης, την πράσινη γραμμή, έχει και μια πτωτική τάση που δείχνει να ομαλοποιείται λίγο κάτω από τα 50 VAR. Αυτή η τιμή είναι λογική σαν απώλειες του συστήματός μας. Το ισοζύγιο της αέργου ισχύος φαίνεται στο Διάγραμμα 7.4 που ακολουθεί.

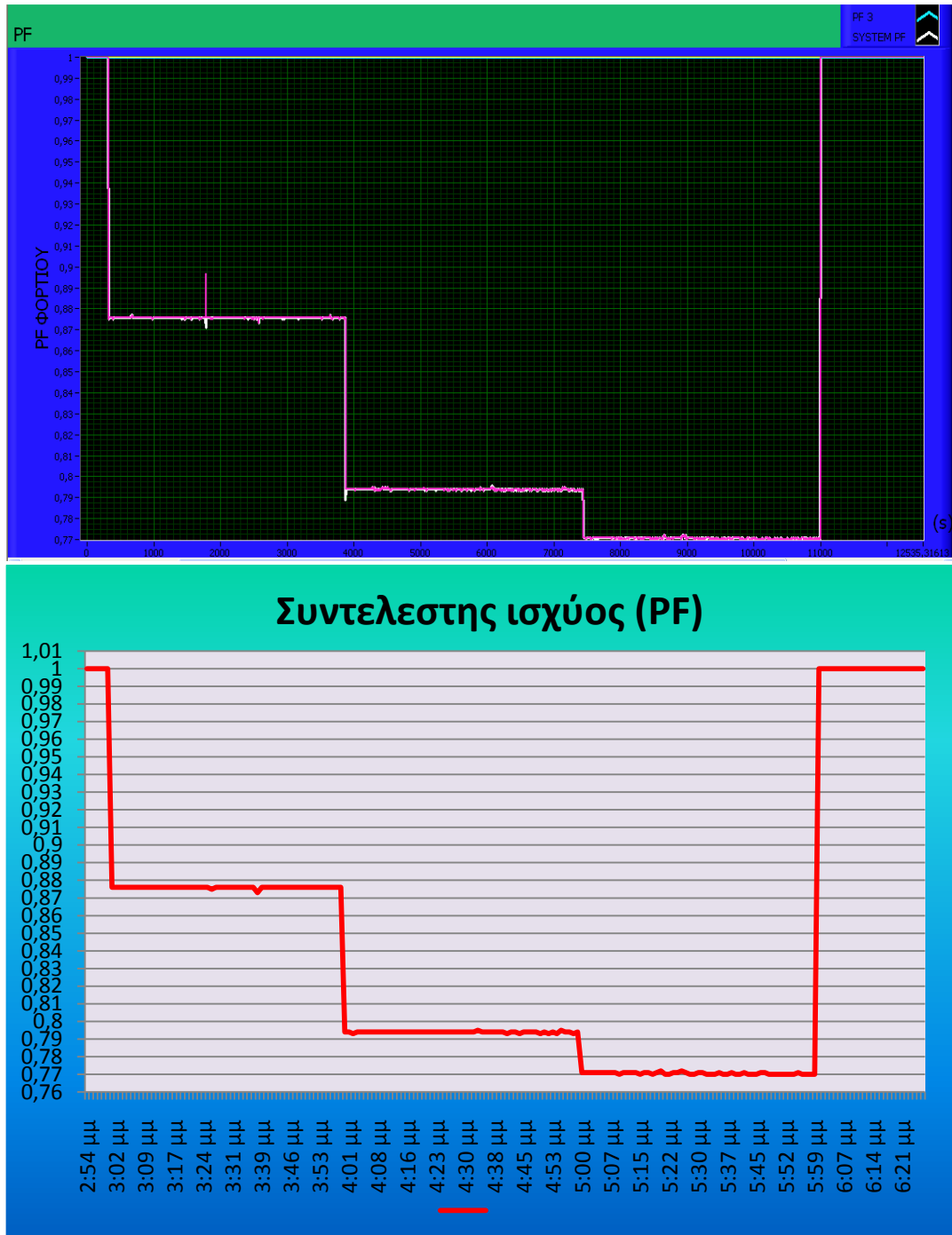


Διάγραμμα 7.4: Ισοζύγιο αέργου ισχύος

➤ Συντελεστής Ισχύος (PF)

Ο συντελεστής ισχύος του συστήματός μας είναι άλλος ένας δείκτης που θα χρησιμοποιήσουμε για να επαληθεύσουμε την ορθή λειτουργία του. Εδώ έχουμε τη δυνατότητα τριπλού ελέγχου. Μπορούμε να συγκρίνουμε το διάγραμμα των μετρούμενων τιμών, με το διάγραμμα κατά το πείραμα και με τις υπολογιζόμενες τιμές του συντελεστή ισχύος με το χέρι. Για τον υπολογισμό με το χέρι θα πάρουμε για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις φορτίων (μία περίπτωση κάθε ώρα) τον γνωστό τύπο 7.3.1 που ακολουθεί. Τα P, Q, S είναι η ενεργός, η αεργή και η φαινόμενη ισχύς αντίστοιχα. Με βάση λοιπόν των παρακάτω τύπο και τις τιμές των φορτίων για την κάθε ώρα από το μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" έχουμε τους παρακάτω συντελεστές ισχύος. Από τις 3μμ έως τις 4μμ $S_I = 0,881$, από τις 4μμ έως τις 5μμ $S_I = 0,804$ και από τις 5μμ έως τις 6μμ $S_I = 0,781$.

$$\Sigma I = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (7.3.1)$$



Διάγραμμα 7.5: Συντελεστής ισχύος

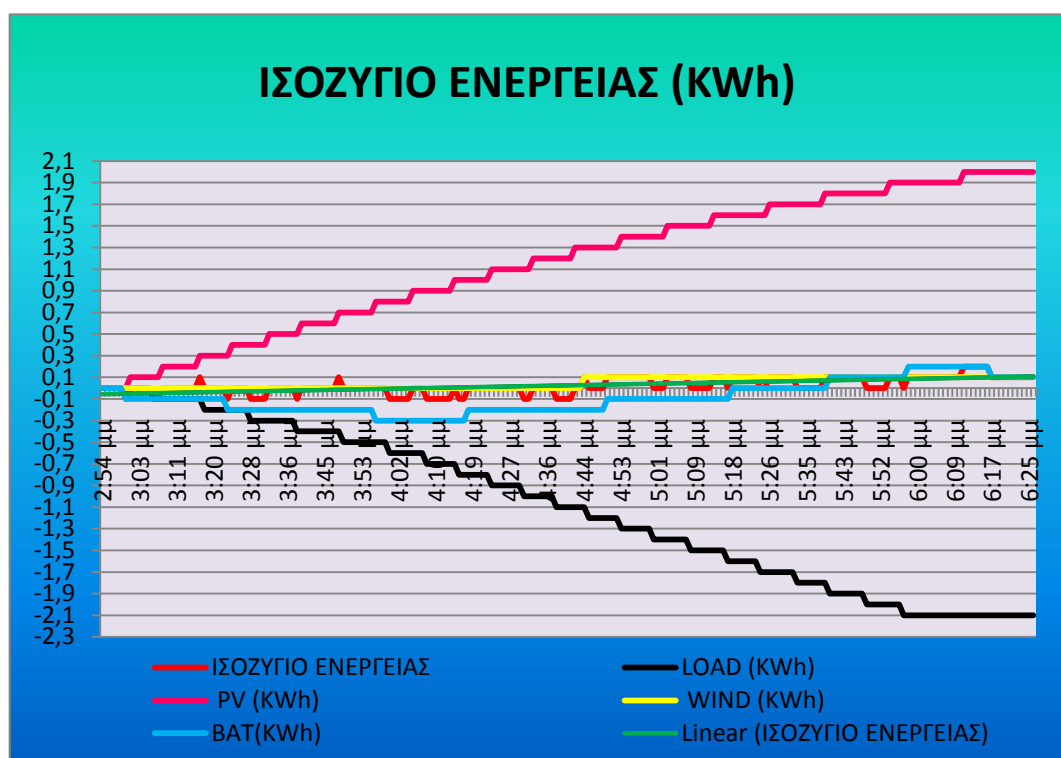
Το πρώτο από τα δύο διαγράμματα του συντελεστή ισχύος είναι αυτό που έχουμε την δυνατότητα να δούμε μέσω του LabView κατά την εξέλιξη του πειράματος ενώ το δεύτερο είναι αυτό που προέκυψε από την επεξεργασία των αποθηκευμένων μετρήσεων. Τα δύο αυτά διαγράμματα ταυτίζονται απόλυτα ενώ και οι τιμές του συντελεστή ισχύος είναι πάρα πολύ κοντά σε αυτές που υπολογίσαμε με το χέρι με την βοήθεια του τύπου 7.3.1.. Έχοντας καλύψει επαρκώς το θέμα της ισχύος θα προχωρήσουμε στην συνέχεια στον έλεγχο των ενεργειακών μας μετρήσεων.

➤ *Ενεργειακό ισοζύγιο*

Το ισοζύγιο ενέργειας αποτελείται και αυτό από 6 καμπύλες, όπως αυτό της ενεργού ισχύος, και φαίνεται στο Διάγραμμα 7.6 που ακολουθεί. Οι θετικές τιμές της ενέργειας έχουν να κάνουν με ενέργεια που προσφέρεται ενώ οι αρνητικές με ενέργεια που απορροφάται (καταναλώνεται ή αποθηκεύεται). Η αντιστοιχία των χρωμάτων των καμπυλών είναι και αυτή όπως στο διάγραμμα της ενεργού ισχύος. Έτσι με ροζ είναι η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, με κίτρινο η ενέργεια από την ανεμογεννήτρια, με γαλάζιο η ενέργεια της μπαταρίας, με μαύρο η ενέργεια στα φορτία μου, με κόκκινο είναι το ισοζύγιο της ενέργειας και με πράσινο μια γραμμική προσέγγιση του ισοζυγίου ενέργειας. Η καμπύλη των φωτοβολταϊκών (ροζ) μοιάζει με μια σκάλα που καθώς περνά η ώρα τα 'σκαλοπάτια' της γίνονται όλο και μεγαλύτερα σε μήκος. Καταρχήν η μορφή της σκάλας (σε όλα τα ενεργειακά διαγράμματα) που έχουν οι καμπύλες οφείλεται στο γεγονός ότι τα πολυόργανα έχουν σαν ελάχιστη μονάδα μέτρησης την 0,1 KWh και έτσι μόνο όταν συμπληρωθεί αυτή η ποσότητα αυξάνεται και η τιμή της ενέργειας δημιουργώντας έτσι αυτή την μορφή της καμπύλης. Τα 'σκαλοπάτια', που όσο περνά η ώρα αυξάνουν σε μήκος, έχουν να κάνουν με την ώρα που απαιτείται να παραχθεί η 0,1 KWh από τα φωτοβολταϊκά. Επειδή όσο περνά η ώρα του πειράματος μειώνεται η ενέργεια από τον ήλιο και έτσι χρειάζεται περισσότερη ώρα σε σχέση με πριν για να παραχθεί η ίδια ποσότητα ενέργειας (0,1 KWh). Προφανώς, σε όλες τις καμπύλες, το μήκος του κάθε 'σκαλοπατιού' είναι ανάλογο του χρόνου που χρειάζεται για να παραχθεί ή καταναλωθεί 0,1 KWh. Η καμπύλη της ανεμογεννήτριας (κίτρινη) τώρα μένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα και φτάνει μέχρι 0,1 KWh πράγμα που επιβεβαιώνει την προβληματική λειτουργία της ανεμογεννήτριας που αναφέραμε και πριν. Η καμπύλη της μπαταρίας (γαλάζια) λίγο μετά την εκκίνηση του πειράματος ξεκινά να παίρνει αρνητικές τιμές και να έχει μια πτωτική τάση μέχρι της 4:00 μμ. Αυτό μας δείχνει ότι στην παρούσα φάση αποθηκεύεται στις μπαταρίες το πλεόνασμα ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά. Λίγο μετά τις 4:00 μμ και για όλη την συνέχεια του πειράματος η καμπύλη έχει ανοδική πορεία και παρόλο που για κάποιο χρόνο είναι σε αρνητικές τιμές σε όλη αυτή την φάση έχουμε προσφορά ενέργειας από

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

τις μπαταρίες στο σύστημά μας. Η μελέτη του Διαγράμματος 7.6 μαζί με το 7.5 της ισχύος βοηθά πολύ καλύτερα στην κατανόηση της συμπεριφοράς των διαφόρων καμπυλών. Με μαύρο είναι η καμπύλη του φορτίου που όπως ήταν αναμενόμενο κινείται μόνο σε αρνητικές τιμές καθώς τα φορτία μόνο απορροφούν ενέργεια. Έχει και αυτή κλιμακωτή μορφή με διακυμάνσεις στο μήκος των διάφορων 'σκαλοπατιών' της ανάλογα με την τιμή του φορτίου. Έτσι από 4:00 μμ μέχρι τις 5:00 μμ όπου το φορτίο είναι το μέγιστο (0,81 KW) τα σκαλοπάτια έχουν το μικρότερο μήκος, από τις 5:00μμ μέχρι της 6:00μμ έχουν λίγο μεγαλύτερο μήκος (φορτίο 0,75 KW) ενώ από τις 4:00 μμ μέχρι τις 5:00 μμ όπου το φορτίο είναι 0,56 KW τα σκαλοπάτια έχουν το μέγιστο μήκος.



Διάγραμμα 7.6: Ισοζύγιο ενέργειας

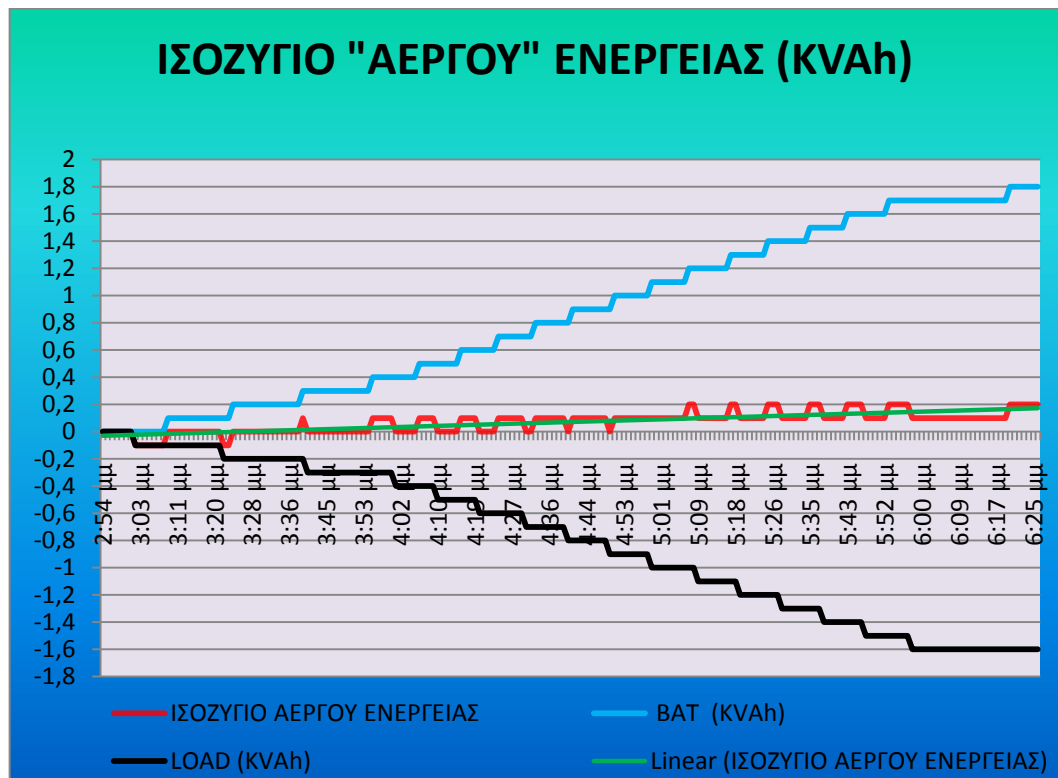
Το ισοζύγιο της ενέργειας είναι η κόκκινη καμπύλη στο Διάγραμμα 7.6. Η θεωρητική του τιμή είναι το μηδέν, ωστόσο επειδή σε κάθε σύστημα πάντα υπάρχουν απώλειες δεν έχει ποτέ αυτή την τιμή. Εδώ η καμπύλη μας φαίνεται να κάνει κάποια σκαμπανεβάσματα γύρω από το μηδέν που οφείλονται κυρίως στην μικρή χρονική διαφορά των λήψεων μετρήσεων (λόγω περιορισμών του συστήματος είναι γύρω στα 7 sec), ωστόσο έχει μια αυξητική τάση όπως φαίνεται και από την γραμμική προσέγγιση του ενεργειακού ισοζυγίου (πράσινη καμπύλη). Αυτή η αυξητική τάση του ισοζυγίου είναι φυσιολογική και απολύτως αναμενόμενη αφού όσο συνεχίζει να εξελίσσεται το πείραμα, οι απώλειες

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

αυξάνουν και αυτές. Αν πάντως παραβλέψουμε τα μικρά скаμπανεβάσματα οι συνολικές απώλειες του συστήματος μου είναι και για τις τρεις ώρες του πειράματος περίπου 0,1 KWh, μια τιμή που είναι αρκετά ικανοποιητική.

➤ Ισοζύγιο αέργου ενέργειας

Το ισοζύγιο αέργου ενέργειας δεν είναι μια συνηθισμένη έννοια. Από την στιγμή πάντως που έχουμε την άεργο ισχύ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και την έννοια της αέργου ενέργειας. Στο Διάγραμμα 7.7 που ακολουθεί φαίνεται το ισοζύγιο της αέργου ενέργειας.



Διάγραμμα 7.7: Ισοζύγιο αέργου ενέργειας

Το διάγραμμα αυτό αποτελείται από τέσσερις καμπύλες καθώς τα φωτοβολταϊκά και η ανεμογεννήτρια δεν έχουν καμία συνεισφορά σε ότι έχει να κάνει με την άεργο ισχύ άρα και την άεργο ενέργεια. Η γαλάζια καμπύλη είναι όπως και πριν αυτή του inverter των μπαταριών. Είναι η μοναδική πηγή αέργου ισχύος του συστήματος μας και έχει πάντα θετικές τιμές αφού πάντα προσφέρει άεργο ενέργεια. Η κλιμακωτή μορφή και τα 'σκαλοπάτια' έχουν ακριβώς την ίδια αιτία αλλά και την ίδια συμπεριφορά με τις καμπύλες του ενεργειακού ισοζυγίου που περιγράψαμε παραπάνω γι' αυτό δεν θα ξανααναλυθούν εδώ. Η μαύρη καμπύλη είναι αυτή των φορτίων. Έχει και αυτή κλιμακωτή μορφή αλλά κινείται, όπως

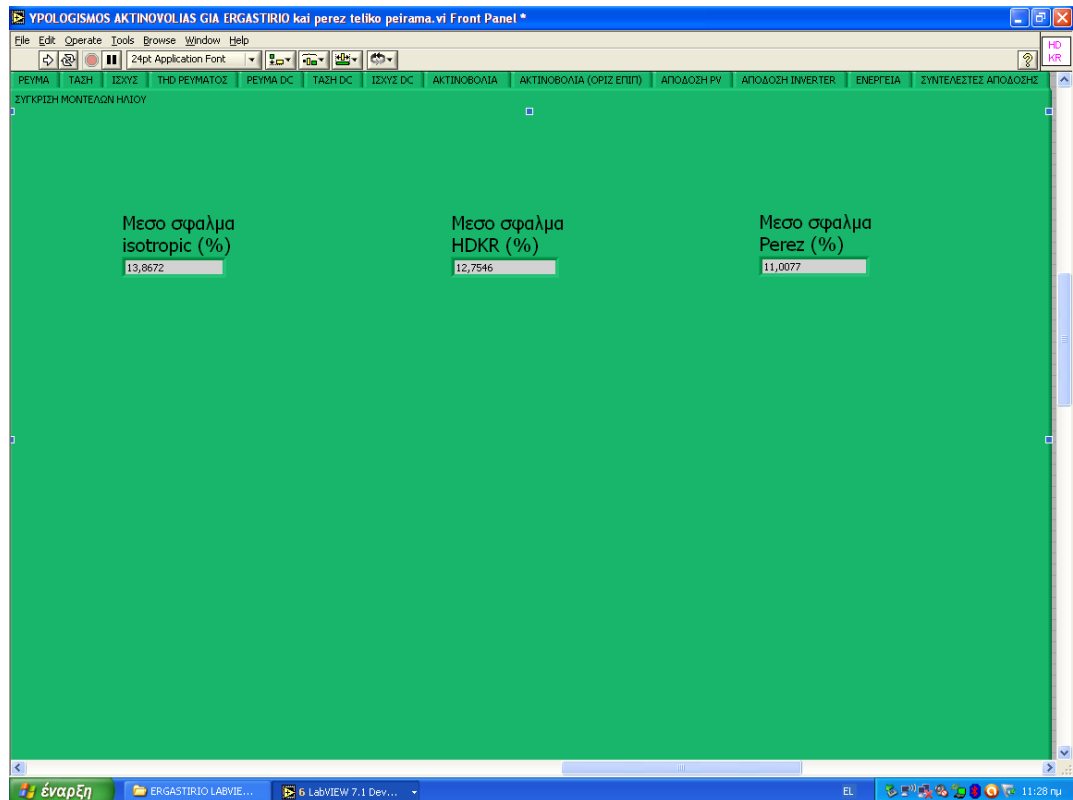
ήταν αναμενόμενο, μόνο σε αρνητικές τιμές τις ενέργειας αφού δαπανάται από το φορτίο μας. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.7 η καμπύλη αυτή είναι σχεδόν συμμετρική με αυτή της μπαταρίας. Το ότι δεν είναι ακριβώς συμμετρικές οι δύο καμπύλες οφείλεται αφενός στην χρονική διαφορά λήψης των μετρήσεων αλλά και στις απώλειες που έχει το σύστημά μας. Αυτή η έλλειψη συμμετρίας φαίνεται ακριβώς με την καμπύλη του ισοζυγίου (κόκκινη). Η καμπύλη του ισοζυγίου έχει κάποια σκαμπανεβάσματα στην αρχή γύρω από το μηδέν και στην συνέχεια γύρω από την 0,1 KVAh που οφείλεται όπως και στο ενεργειακό ισοζύγιο στην χρονική διαφορά λήψης των μετρήσεων. Υπάρχει πάντως μια ανοδική τάση του ισοζυγίου που φαίνεται πολύ πιο καθαρά με την γραμμική του προσέγγιση (πράσινη καμπύλη) που είναι όμως αναμενόμενη αφού όσο προχωρά το πείραμα τόσο αυξάνονται και οι απώλειες ενέργειας. Έχοντας δει τόσο την συμπεριφορά του συστήματός μας αλλά και του κώδικα στα θέματα τις ενέργειας και της ισχύος μπορούμε τώρα να δούμε και την σύγκριση των μοντέλων του ήλιου που κάνει το πρόγραμμα καθώς τρέχει και να πούμε δυο λόγια πάνω σε αυτή.

➤ Σύγκριση των μοντέλων του ήλιου

Όπως είχε αναφερθεί και πιο πάνω ο κώδικας αυτός που φτιάχτηκε για να ελέγχει και να εποπτεύει το εργαστήριο αλλά και οποιοδήποτε άλλο ανάλογο σύστημα εργαστηριακό ή μη. Μια από τις δυνατότητες που έχει αυτό το πρόγραμμα είναι να συγκρίνει τα τρία μοντέλα του ήλιου που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 5 σε πραγματικό χρόνο με βάση τις μετρήσεις που παίρνουμε από τους αισθητήρες στην ταράτσα. Η σύγκριση των μοντέλων έγκειται στην σύγκριση της υπολογιζόμενης τιμής για το επίπεδο των φωτοβολταϊκών από το κάθε μοντέλο με τη μετρούμενη τιμή από τον αισθητήρα που βρίσκεται στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών. Η σύγκριση των μοντέλων μας δίνει το επί της εκατό σφάλμα της υπολογιζόμενης τιμής από το κάθε μοντέλο από την μετρούμενη του αισθητήρα. Στην Εικόνα 7.8 φαίνεται το επί της εκατό σφάλμα μετά από μετρήσεις μιας ημέρας. Όπως βλέπουμε το μικρότερο σφάλμα προκύπτει μέσω του μοντέλου Perez (11,01%), ακολουθεί το μοντέλο HDKR (12,75%) ενώ μεγαλύτερο σφάλμα έχει το ισοτροπικό μοντέλο (13,87%). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ποσοστά σφάλματος επηρεάζονται πάρα πολύ από τις τιμές της κλίσης των φωτοβολταϊκών (γωνία β), από την αζιμουθιακή γωνία (γ), από τον συντελεστή ανάκλασης του εδάφους (ρ_g). Οι γωνίες των φωτοβολταϊκών του εργαστηρίου έχουν μετρηθεί με όργανα και μεθόδους που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ακριβείς ενώ η τιμή του συντελεστή ανάκλασης του εδάφους είναι προσεγγιστική και βάση πείρας. Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι για να ελέγξουμε την επάρκεια των μοντέλων στην μελέτη του ήλιου πρέπει να είμαστε απολύτως ακριβείς για τις γωνίες που χρησιμοποιούμε. Ωστόσο από την στιγμή

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

που τα δεδομένα είναι κοινά και για τα τρία μοντέλα σίγουρα μπορούμε να τα συγκρίνουμε μεταξύ τους. Πρέπει επίσης να πούμε ότι η ημέρα που υπολογίσαμε το σφάλμα των μοντέλων δεν ήταν η ημέρα που έγινε και το κύριο πείραμα αλλά μια άλλη μέρα. Επειδή αυτή η ημέρα είναι κατά την διάρκεια του χειμώνα όπου ο καιρός είναι άστατος με εναλλαγές ηλιοφάνειας και συννεφιάς αυτό σίγουρα επηρεάζει την αποτελεσματικότητα των υπολογισμών των μοντέλων του ήλιου και τα σφάλματα της τάξης του 10% οφείλονται και σε ένα βαθμό και σε αυτόν τον παράγοντα.



Εικόνα 7.8: Σύγκριση μοντέλων του ήλιου

Έχοντας δει τώρα τις βασικές παραμέτρους του προγράμματος κατά το πείραμα μπορούμε τώρα να αξιολογήσουμε την λειτουργία του αλλά και την λειτουργία του εργαστηρίου γενικότερα. Καταρχήν είδαμε τον επιτυχή έλεγχο των φορτίων μέσω του μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario". Στη συνέχεια από τον έλεγχο των ισοζυγίων παρατηρήσαμε μια πολύ καλή συμπεριφορά του προγράμματος ως προς την αποθήκευση και χρήση των δεδομένων με πολλά και ευανάγνωστα διαγράμματα κατά την περίοδο λειτουργίας αλλά και δυνατότητα μετέπειτα επεξεργασίας των αποθηκευμένων δεδομένων. Από τον έλεγχο επίσης των ισοζυγίων (ενέργειας και ισχύος) διαπιστώνουμε και μια πολύ καλή λειτουργία του συστήματος του εργαστηρίου ΣΗΕ του ΕΜΠ. Επίσης μέσω του ισοζυγίου ισχύος και ενέργειας της ανεμογεννήτριας μας δόθηκε η δυνατότητα να δούμε την

Κεφάλαιο 7 ■ Το τελικό πείραμα

προβληματική της λειτουργία. Βλέπουμε δηλαδή ότι μέσω το 'προγράμματος' αυτού δίνεται η δυνατότητα στον διαχειριστή του συστήματος, έκτος από το να παρακολουθεί και να ελέγχει το όλο σύστημα, να εντοπίζει και σφάλματα σε αυτό. Το τελευταίο πράγμα που είδαμε ήταν η σύγκριση των μοντέλων του ήλιου που και αυτή μπορεί να θεωρηθεί επιτυχής αφού μας δίνει μια σύγκριση των μοντέλων μεταξύ τους αλλά και με τις μετρούμενες τιμές ενώ μας εμφάνισε και την μεγάλη ευαισθησία των μοντέλων στις παραμέτρους που εισάγουμε. Συνολικά δηλαδή μέσω του πειράματος αυτού επαληθεύτηκε η ορθή λειτουργία του όλου προγράμματος ως προς τον έλεγχο των φορτίων, την αποθήκευση των δεδομένων, την αναπαράσταση τους κατά την εκτέλεση του 'προγράμματος' και την σύγκριση των μοντέλων του ήλιου. Ελέγξαμε δηλαδή όλες τις λειτουργίες για τις οποίες είναι φτιαγμένο το 'πρόγραμμα' αυτό που αποτελεί το SCADA του εργαστηρίου αλλά θα μπορούσε να καλύψει τις απαιτήσεις οποιουδήποτε συστήματος. Μία από τις απαιτήσεις αυτές θα μπορούσε να είναι και ο έλεγχος για την πιστή τήρηση όσων ορίζει σαν πρότυπο ο ίδιος ο κώδικας. Θα μπορούσε να είναι δηλαδή εγκατεστημένο σε κάθε επιμέρους παραγωγή δίνοντας στην διάθεση του διαχειριστή του δικτύου όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες που μπορεί να χρειαστεί για την ποσότητα αλλά κυρίως για την ποιότητα της ισχύος ανά πάσα στιγμή. Η λέξη πρόγραμμα εμφανίζεται εσκεμμένα σε εισαγωγικά όπου συναντάται γιατί ο κώδικας στο LabView διαφέρει πολύ από έναν κώδικα ενός συνηθισμένου προγράμματος και μοιάζει περισσότερο με έναν Block διάγραμμα (Παράρτημα Β). Στη συνέχεια θα δούμε τα βασικά συμπεράσματα που βγήκαν από αυτή την διπλωματική αλλά και ορισμένες προτάσεις για εξέλιξη του κώδικα αλλά και του εργαστηρίου στο μέλλον.

8. Συμπεράσματα και Προοπτικές

Έχοντας δει όλες τις βασικές παραμέτρους αυτής της διπλωματικής και το τελικό πείραμα που έγινε για να επαληθεύσουμε την ορθή λειτουργία του 'κώδικα' μπορούμε τελειώνοντας να δούμε κάποια βασικά συμπεράσματα που βγήκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας αλλά και κάποιες προοπτικές για περεταίρω μελέτη στο μέλλον που ανοίχτηκαν από αυτή την διπλωματική.

8.1 Συμπεράσματα

Σε αυτή την αναφορά είδαμε την διαδικασία δημιουργίας ενός συστήματος ελέγχου και εποπτείας ενός φωτοβολταϊκού υβριδικού συστήματος όπως είναι και το εργαστήριο ΣΗΕ του ΕΜΠ που μπορεί ωστόσο να επεκταθεί και σε άλλα συστήματα που έχουν στόχο είτε την διεξαγωγή πειραμάτων είτε για συστήματα γενικής χρήσης, ενώ είδαμε και την δυνατότητά του να χρησιμοποιηθεί σαν επέκταση κάποιων υαρχόντων προτύπων . Τα συμπεράσματα που βγήκαν από αυτή την προσπάθεια είναι συνοπτικά τα παρακάτω:

1. Μπορούμε να πούμε ότι αυτή η διπλωματική δημιουργεί ένα νέο πρότυπο SCADA για εργαστηριακούς αλλά και επαγγελματικούς σκοπούς με απεριόριστες δυνατότητες. Οι απεριόριστες δυνατότητες προκύπτουν από την δυνατότητα του 'κώδικα' να αλλάζει πολύ εύκολα και να προσθέτουμε ή να αφαιρούμε κάποιες εφαρμογές ώστε κάθε φορά να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις μας (κόψε-ράψε κώδικα) αλλά και από το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του ελέγχου από απόσταση μέσω του διαδικτύου. Τα παραπάνω μας δείχνουν ότι αυτό το πρότυπο SCADA μπορεί, με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μικρά όσο και σε μεγάλα συστήματα.
2. Η διπλωματική αυτή εργασία ξεκίνησε με βάση της τα πρότυπα IEC 61850-7-4 και IEC 61850-7-420 που αφορούν υποσταθμούς και συστήματα στη μέση τάση. Στην πορεία της εργασίας διαπιστώθηκε ότι αυτά τα πρότυπα επειδή προορίζονται για πολύ μεγάλα συστήματα περιόριζαν τις πληροφορίες που έδιναν στον διαχειριστή του συστήματος στις απολύτως απαραίτητες για να γνωρίζει απλά την κατάσταση λειτουργίας τους ή ενδεχομένως και κάποιο σφάλμα που μπορεί να έχει προκύψει. Στην περίπτωση μας ωστόσο (εργαστήριο ΣΗΕ) ,που η χρήση του εργαστηρίου είναι κυρίως για πειράματα και που δεν αποτελείται και από τόσα πολλά συστήματα, το να έχουμε μόνο τις πληροφορίες που ορίζει το πρότυπο δεν επαρκούσε ενώ ορισμένες φορές δεν υπήρχε και ο απαραίτητος

- εξοπλισμός. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι αυτή η διπλωματική αυτή δημιουργεί ένα νέο "πρότυπο" στα χνάρια των άλλων δύο προτύπων και συνέχεια τους. Αυτό το νέο πρότυπο αφορά εργαστήρια αλλά και μικρότερα συστήματα δίνοντας πολύ περισσότερη έμφαση στις μετρήσεις που τα αρχικά πρότυπα (δικαιολογημένα αν σκεφτεί κάποιος το μέγεθος του συστήματος για το οποίο προορίζονται) τις θεωρούσαν σαν μη απαραίτητες. Με τις κατάλληλες ωστόσο τροποποιήσεις και τον κατάλληλο εξοπλισμό μπορεί ο υπάρχων 'κώδικας' να επεκταθεί και σε τέτοια συστήματα και να εναρμονιστεί πλήρως με τις απαιτήσεις των προτύπων.
3. Μία πολύ σημαντική δυνατότητα που προσφέρει αυτή η διπλωματική, και που ήταν και ένας από τους σκοπούς της, είναι η διασύνδεση όλων των υποσυστημάτων που αποτελούν ένα υβριδικό σύστημα (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια, μπαταρίες, φορτία κτλ.) με τον υπολογιστή και έτσι να γίνεται ο έλεγχος και η εποπτεία τους μέσω αυτού. Έτσι έχω τον απόλυτο έλεγχο ενός συστήματος που αποτελείται από διάφορες πηγές και φορτία σε έναν υπολογιστή. Μάλιστα εξαιτίας ακριβώς αυτής της σύνδεσης μπορεί και ο έλεγχος, όπως αναφέραμε και πριν, να γίνεται και μέσω του διαδικτύου από απόσταση.
 4. Πολύ σημαντικό είναι επίσης ότι χρησιμοποιήθηκε από κοινού εξοπλισμός από διαφορετικές εταιρείες με μεγάλη επιτυχία. Η απεξάρτηση από τα υλικά μιας μόνο εταιρείας προσφέρει πολύ περισσότερες δυνατότητες αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το κάθε λειτουργία το υλικό με τον καλύτερο συνδυασμό δυνατοτήτων-τιμής αυξάνοντας έτσι τις συνολικές δυνατότητες του εργαστηρίου και μειώνοντας ταυτόχρονα το συνολικό κόστος.
 5. Μια ξεχωριστή δυνατότητα που έχει όμως να κάνει με τον έλεγχο που αναφέραμε πριν, είναι η δυνατότητα προσομοίωσης φορτίων. Συγκεκριμένα μέσω του μενού "ΦΟΡΤΙΑ scenario" μπορούμε πλέον στο εργαστήριο των ΣΗΕ να δημιουργήσουμε οποιοδήποτε προφίλ φορτίου θέλουμε. Εμείς απλά ρυθμίζουμε την ισχύ του φορτίου μας ανά ώρα για μια ολόκληρη ημέρα και τα υπόλοιπα γίνονται αυτόματα. Αυτή είναι μια πολύ σημαντική δυνατότητα που ανεβάζει το επίπεδο του εργαστηρίου τουλάχιστον στον πειραματικό τομέα αφού μπορεί πλέον να προσομοιωθεί οποιαδήποτε κατανάλωση και να μελετηθεί για όλες τις παραμέτρους
 6. Μέσω των συντελεστών απόδοσης ενός υβριδικού συστήματος που είδαμε στο Κεφάλαιο 6 και των δύο παραδειγμάτων υπολογισμών για τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις φορτίων διαπιστώσαμε ότι το υβριδικό σύστημα του εργαστηρίου είναι πολύ μικρό και δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών μιας οικίας.

Κεφάλαιο 8 ■ Συμπεράσματα και Προοπτικές

Αντίθετα για τα φορτία του πειράματος που ήταν αρκετά μικρά οι συντελεστές είχαν πολύ καλές τιμές.

7. Τόσο από τα διαγράμματα που είχαμε κατά την διάρκεια του πειράματος όσο και από αυτά που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποθηκευμένων μετρήσεων του προγράμματος φάνηκε η καλή, σε γενικές γραμμές, λειτουργία του εργαστηρίου των ΣΗΕ αλλά και το σοβαρό πρόβλημα που υπάρχει με την ανεμογεννήτρια η οποία σπάνια συνδέεται στο δίκτυο και προκαλεί έτσι πολλές αναταραχές. Η συνεχής εποπτεία του συστήματος με τα διαγράμματα από το πρόγραμμα δίνει πάντα την δυνατότητα να ελέγχονται πολύ εύκολα όλα τα υποσυστήματα του εργαστηρίου.
8. Τα δύο τελευταία συμπεράσματα που βγάλαμε έχουν να κάνουν με τα μοντέλα του ήλιου. Μέσα από την σύγκριση των μοντέλων που κάνει συνεχώς ο 'κώδικας' μας, διαπιστώθηκε ότι η τιμή που προσέγγιζε καλύτερα την μετρούμενη ήταν αυτή που προέκυπτε από το μοντέλο Perez, ακολουθούσε αυτή από το HDKR ενώ πιο μακρινή ήταν η τιμή που προέκυπτε από το ιστροπικό μοντέλο. Και τα τρία σφάλματα πάντως δεν είχαν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους.
9. Τέλος από την σύγκριση της τιμής της ακτινοβολίας μέσω των μοντέλων του ήλιου με την μετρούμενη ακτινοβολία στα πλαίσια διαπιστώσαμε την μεγάλη ευαισθησία των μοντέλων σε παραμέτρους που έχουν να κάνουν με τις γωνίες που χαρακτηρίζουν τα φωτοβολταϊκά όπως είναι η γωνία κλίσης και η αζιμουθιακή γωνία. Για να χρησιμοποιηθεί λοιπόν σωστά κάποιο από τα μοντέλα του ήλιου θα πρέπει να είμαστε πολύ σίγουροι για τις τιμές που βάζουμε σε όλες τις παραμέτρους των μοντέλων.

8.2 Προοπτικές

Οι προοπτικές που ανοίγονται μέσα από αυτή την διπλωματική εργασία έχουν δύο παραμέτρους. Καταρχήν οι περισσότερες προοπτικές έχουν να κάνουν με θέματα επιπλέον εξοπλισμού που θα βελτιώσει το επίπεδο του εργαστηρίου μαζί με τον 'κώδικα' βέβαια που θα ελέγχει και θα συντονίζει την λειτουργία του. Ωστόσο μπορούν να γίνουν και βελτιώσεις στον υπάρχων 'κώδικα' ώστε να αυξηθούν οι λειτουργίες του ή να βελτιωθούν οι υπάρχουσες. Αντικείμενο μελλοντικών προσπαθειών θα μπορούσε λοιπόν να είναι:

Κεφάλαιο 8 ■ Συμπεράσματα και Προοπτικές

1. Η επέκταση του όλου 'κώδικα' ώστε να γίνεται μια πλήρης ενεργειακή διαχείριση του συστήματος το οποίο θα είναι συνδεδεμένο με την ΔΕΗ. Αυτή η ενεργειακή διαχείριση θα έχει σαν σκοπό να πουλά ρεύμα όταν η τιμή του είναι υψηλή (ώρες αιχμής) και να αγοράζει ρεύμα της υπόλοιπες ώρες μεγιστοποιώντας το όφελος για τον ιδιόκτητη του συστήματος.
2. Ο έλεγχος του ανοίγματος και του κλεισίματος των παραγωγών αφού στην παρούσα φάση δεν υπάρχει ο εξοπλισμός που να μπορούσε να κάνει κάτι τέτοιο. Σε περίπτωση που βρεθεί ο κατάλληλος εξοπλισμός απαιτούνται βέβαια και οι κατάλληλες τροποποιήσεις στον 'κώδικα'.
3. Η χρήση επιπλέον μονάδων αποθήκευσης όπως οι super capacitors (υπερ-πυκνωτές) που μπορούν να εξυπηρετήσουν τις γρήγορες και απότομες μεταβολές του φορτίου ή και κυψελών καυσίμου όπως είναι το υδρογόνο.
4. Η εισαγωγή της τεχνολογίας EIB στο εργαστήριο. Αυτή η τεχνολογία εισάγει νέους αυτοματισμούς στο εργαστήριο και σε συνδυασμό με τους ήδη υπάρχοντες μπορεί να προσφέρει καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά και κατ' επέκταση εξοικονόμηση ενέργειας.
5. Η περεταίρω μελέτη των μοντέλων του ήλιου και της ευαισθησίας τους στις διάφορες παραμέτρους μιας και είναι πολύ χρήσιμα στην σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Παράρτημα Α Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

Στο παράρτημα αυτό θα δούμε λεπτομερέστερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά ορισμένων συσκευών του εργαστηρίου που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.

➤ Αντιστροφέας φωτοβολταϊκών Sunny Boy 1100 E

Input Values

	Sunny Boy 700			Sunny Boy 850	Sunny Boy 1100 E	Sunny Boy 2500	Sunny Boy 3000
input voltage range U_{PV}	75 ... 150 V DC	100 ... 200 V DC	125 ... 250 V DC	125 ... 250 V DC	150 ... 400 V DC	250 ... 600 V DC	290 ... 600 V DC
recommended peak power of the PV-panels P_{PV}	640 Wp	840 Wp (configuration with jumpers)	1000 Wp	1250 Wp	1500 Wp	3450 Wp	4100 Wp
maximum input current I_{Vmax}	7 A	7 A	7 A	8 A	8.5 A	11 A	11.2 A

DC-disconnection facility

SB 700, SB 850 : all pole disconnection
SB 1100 E, SB 2500,
SB 3000 : safe to touch MC[®] snap cable connectors

surge voltage protection: thermally monitored varistors on DC-side

voltage ripple U_{pp} . . . : < 10 %

earth fault monitoring . . . : standard feature

pole interchanging

protection : short circuit diode

Output Values

	Sunny Boy 700			Sunny Boy 850	Sunny Boy 1100 E	Sunny Boy 2500	Sunny Boy 3000
nominal output power P_{ACnom}	460 W	600 W	700 W	850 W	1000 W	2200 W	2600 W
peak power				900 W	1100 W	2500 W	3000 W
Total Harmonic Distortion of output current (with $K_{uAC} < 2\%$, $P_{AC} > 0.5 P_{ACnom}$)	THD < 3 %	THD < 3 %	THD < 3 %	THD < 3 %	THD < 4 %	THD < 4 %	THD < 4 %

short circuit proof . . . : grid side with current control

grid voltage U_{AC} . . . : 196 ... 253 V AC

grid frequency f_{AC} . . . : 49.8 ... 50.2 Hz (60 Hz option.)

phase shift φ
(based on fundamental wave of the current) . . . : 0°

General Data

	Sunny Boy 700			Sunny Boy 850	Sunny Boy 1100 E	Sunny Boy 2500	Sunny Boy 3000
maximum efficiency	≥ 93 %	≥ 93 %	≥ 93 %	≥ 93 %	≥ 93 %	≥ 93 %	≥ 95 %
internal consumption in operation	≤ 4 W	≤ 4 W	≤ 4 W	≤ 4 W	≤ 4 W	≤ 7 W	≤ 7 W
internal consumption in stand by	≤ 0.1 W	≤ 0.1 W	≤ 0.1 W	≤ 0.1 W	≤ 0.1 W	≤ 0.25 W	≤ 0.25 W
size (w x h x d)	322 x 290 x 180 mm	322 x 290 x 180 mm	322 x 290 x 180 mm	322 x 290 x 180 mm	322 x 320 x 180 mm	434 x 295 x 214 mm	434 x 295 x 214 mm
weight (approx.)	16 kg	16 kg	16 kg	18 kg	21 kg	30 kg	32 kg

Πίνακας Α.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Boy 1100 E

Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

➤ Αντιστροφέας Ανεμογεννήτριας Windy Boy (SB) 1700

Max. input open circuit voltage	U_{DC0}	400 V
Input voltage, MPP range	U_{DC}	139 V ... 400 V DC
Nominal DC operating voltage	U_{DCnom}	180 V
Max. input current	I_{DCmax}	12.6 A
Max. input power	P_{DCmax}	1850 W
Recommended generator power at 5000 full-load hours / year	$P_{turbmax}$	1240 W
Recommended generator power at 2500 full-load hours / year	$P_{turbmax}$	1395 W
All-pole isolator on the DC input side		DC plug connector
Overvoltage protection		Thermally monitored varistors
Voltage ripple	U_{PP}	< 4 % of the input voltage
Personal protection		Insulation monitoring (Riso > 1 MΩ)
Operating consumption		< 4 W
Reverse polarity protection		Short circuit diode

Nominal output power	P_{ACnom}	1550 W
Peak output power	P_{ACmax}	1700 W
Nominal output current	I_{ACnom}	6.5 A
Harmonic distortion of output current (at $K_{U_{nom}} < 2\%$, $P_{AC} > 0.5 P_{ACnom}$)	THD_{IAC}	< 4 %
Operating range, grid voltage	V_{AC}	198 ... 260 V AC (180 ... 265 V programmable)
Operating range, grid frequency	f_{AC}	49.8 ... 50.2 Hz / 59.8 ... 60.2 Hz (45.5 ... 54.5 Hz / 55.5 ... 64.5 Hz programmable)
All-pole isolator grid side		Independent disconnection device (SMA grid guard)
Phase shift angle (relative to the fundamental wave of the current)	$\cos \varphi$	1
Overvoltage category		III
Test voltage (50 Hz)		1.4 kV (1 s routine testing / 5 s type testing)
Test surge voltage		4 kV (1.2/50 ms) (serial interface: 6 kV)
Own consumption in standby mode		0.1 W

Πίνακας Α.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Windy Boy (SB) 1700

Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

➤ Αντιστροφέας συσσωρευτών Sunny Island 4500

Technical data			
		SI 4500	
Output data			
Rated AC voltage (adjustable)	U_{AC}	230 V (200 - 260 V)	
Grid frequency (adjustable)	f	50 or 60 Hz (40 - 70 Hz)	
Continuous AC output at 25 °C / 45 °C	P_{nom}	3700 / 3300 W	
Continuous AC output at 25 °C for 30 / 5 / 1 min	P30 / 5 / 1	4500 / 5200 / 6000 W	
Rated AC current	$I_{AC, nom}$	16 A	
Max. current (peak value) for 5 s		70 A	
Output voltage harmonic distortion factor	K_{VAC}	< 3 %	
Power factor	$\cos \varphi$	- 1 to +1	
Input data			
Input voltage	$U_{AC, ext}$	230 V (150 - 260 V)	
Input frequency	f_{ext}	50 or 60 Hz (40 - 70 Hz)	
Max. AC input current	$I_{AC, ext}$	0 - 500 A (depends on external wiring)	
Max. input power	$P_{AC, ext}$	depends on external wiring	
Battery data			
Battery voltage (range)	U_{bat}	48 - 60 V (41 - 81 V)	
Max. battery charging current	$I_{bat, max}$	125 A	
Continuous charging current	$I_{bat, nom}$	60 A	
Battery capacity	C_{bat}	100 - 10000 Ah	
Charge control		IU _{GU} with automatic full charge and equalization charge	
Efficiency/power consumption			
Max. efficiency (typical)	η	> 91 %	
Own consumption (no load/standby)		60 W (< 9 W)	
Protection type acc. to DIN EN 60529		IP30	
Device protection		Short-circuit, overload, overtemperature	
Interfaces		6 buttons, 8-line display, 8 multifunction relays, 1 service interface (COM3), RS485/RS232 electrically separated (optional)	
Mechanical data			
Width / Height / Depth		510 / 560 / 270 mm	
Weight		45 kg	
Ambient conditions			
Ambient temperature		from -25 °C to +45 °C	
Guarantee (EU)		2 years	
Accessories			
Ext. Battery temperature sensor		optional	
Generator management *GenMan*		integrated	

Πίνακας Α.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Island 4500

➤ Μετασχηματιστές ρεύματος και τάσης (LEM)

Οι μετασχηματιστές αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί για να πάρουμε τις DC μετρήσεις από την είσοδο των inverter των φωτοβολταϊκών, της ανεμογεννήτριας και από τις μπαταρίες και να μπορέσουμε στην συνέχεια τις έχουμε σαν είσοδο στα PLC. Έτσι έχουμε ένα είδος LEM που μετρά την τάση και για τις τρεις περιπτώσεις και δύο είδη LEM για το ρεύμα. Ένα για το ρεύμα των μπαταριών και ένα για το ρεύμα των φωτοβολταϊκών και της ανεμογεννήτριας.

Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

$I_{PN} = 50..400A$

➔ **DC Current transducer DK-B3/5/10**

Electrical data			
Primary Nominal Current	Analogue Output Signal ¹⁾	Type	
I_{PN} (A)	V_{OUT} (V)		
50,75,100	0-3	DK 100 B3	
100,150,200	0-3	DK 200 B3	
150,225,300	0-3	DK 300 B3	
200,300,400	0-3	DK 400 B3	
50,75,100	0-5	DK 100 B5	
100,150,200	0-5	DK 200 B5	
150,225,300	0-5	DK 300 B5	
200,300,400	0-5	DK 400 B5	
50,75,100	0-10	DK 100 B10	
100,150,200	0-10	DK 200 B10	
150,225,300	0-10	DK 300 B10	
200,300,400	0-10	DK 400 B10	
V_C	Supply voltage	20-50 VDC or 22-38 VAC	
R_L	Load resistance (max)	250	kΩ
V_i	Isolation voltage	3000	V AC
f	Frequency	DC	
I_c	Current consumption (max)	100	mA

Accuracy - Dynamic performance data			
X	Accuracy of reading @ $T_A = 25^\circ C$	± 1	%
ϵ_L	Linearity	± 0.75	%
t_r	Response time @ 90% of I_{PN}	< 300	ms

Πίνακας Α.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά LEM μέτρησης ρεύματος στις μπαταρίες

$I_{PN} = 10 mA$
 $V_{PN} = 10..500V$

➔ **Voltage Transducer LV 25-P**

Electrical data			
I_{PN}	Primary nominal current rms	10	mA
I_{PN}	Primary current, measuring range	0 .. ± 14	mA
R_M	Measuring resistance	$R_{M \text{ min}}$	$R_{M \text{ max}}$
	with $\pm 12 V$	@ $\pm 10 mA_{max}$	30 190 Ω
		@ $\pm 14 mA_{max}$	30 100 Ω
	with $\pm 15 V$	@ $\pm 10 mA_{max}$	100 350 Ω
		@ $\pm 14 mA_{max}$	100 190 Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA
K_U	Conversion ratio	2500 : 1000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 .. 15$	V
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15V$) + I_S	mA

Accuracy - Dynamic performance data			
X_S	Overall Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ C$	@ $\pm 12 .. 15 V$	± 0.9 %
		@ $\pm 15 V (\pm 5\%)$	± 0.8 %
ϵ_L	Linearity error		< 0.2 %
I_0	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ C$	Typ	Maxi
I_{0T}	Temperature variation of I_0	0°C .. + 25°C	± 0.05 ± 0.25 mA
		+ 25°C .. + 70°C	± 0.10 ± 0.35 mA
t_r	Response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN} step	40	μs

General data			
T_A	Ambient operating temperature	0 .. + 70	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	°C
R_p	Primary coil resistance @ $T_A = 70^\circ C$	250	Ω
R_s	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ C$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178: 1997	

Πίνακας Α.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά LEM μέτρησης τάσης

$$I_{PN} = 100 \text{ A}$$

➔ **Current Transducer LA 100-P/SP13**



Electrical data					
I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	100	A		
I_p	Primary current, measuring range	0 .. ± 160	A		
R_M	Measuring resistance	$R_{U, min}$	$R_{M, max}$		
		with ± 12 V	@ ± 100 A _{max}	10	65
		@ ± 160 A _{max}	10	30	Ω
	with ± 15 V	@ ± 100 A _{max}	40	95	Ω
	@ ± 160 A _{max}	40	50	Ω	
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current	100	mA		
K_N	Conversion ratio	1 : 1000			
V_C	Supply voltage (± 5 %)	± 12 .. 15	V		
I_C	Current consumption	10 (@ ± 15 V) + I_S	mA		
V_C	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV		
Accuracy - Dynamic performance data					
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ ± 15 V (± 5 %)	± 0.45	%	
		@ ± 12 .. 15 V (± 5 %)	± 0.70	%	
ϵ_L	Linearity		< 0.15	%	
I_0	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max	mA	
I_{0N}	Residual current ¹⁾ @ $I_p = 0$, after an overload of $3 \times I_{PN}$		± 0.2	mA	
I_{0T}	Thermal drift of I_0 - 25°C .. + 70°C		± 0.3	mA	
			± 0.1	± 0.5	mA
t_{20}	Reaction time @ 10 % of I_{PN}		< 500	ns	
t_r	Response time ²⁾ @ 90 % of I_{PN}		< 1	μs	
di/dt	di/dt accurately followed		> 200	A/μs	
f	Frequency bandwidth (- 1 dB)		DC .. 200	kHz	
General data					
T_A	Ambient operating temperature	- 25 .. + 70	°C		
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 85	°C		
R_G	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	25	Ω		
m	Mass	18	g		
	Standards ³⁾	EN 50178			

Πίνακας Α.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά LEM μέτρησης ρεύματος στα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια

- Πολυόργανα μετρήσεων και μετασχηματιστές ρεύματος.

Τα πολυόργανα που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο για την λήψη των μετρήσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι της DEIF και οι βασικές μετρήσεις που παίρνουν φαίνονται στον Πίνακα Α.7. Επειδή το εύρος του ρεύματος που έχουν σαν είσοδο είναι πολύ μικρό, χρησιμοποιήθηκαν και κάποιοι μετασχηματιστές ρεύματος. Η επιλογή των μετασχηματιστών έγινε προσωπικά από εμένα μετά από μεγάλη αναζήτηση με γνώμονα το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών αυτών φαίνονται στον Πίνακα Α.8

Μετρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές πολυοργάνου

Στοιχεία Τάσης - Έντασης

Φασική Τάση (V_{ϕ})	τρέχουσα και μέση τιμή για κάθε φάση
Πολική Τάση (V_{π})	τρέχουσα και μέση τιμή για κάθε φάση
Ρεύμα (I)	τρέχουσα και μέση τιμή για κάθε φάση
Ρεύμα Ουδετέρου (I_N)	τρέχουσα τιμή

Στοιχεία Ισχύος

Ενεργό Ισχύ (P)	τρέχουσα και συνολική τιμή για κάθε φάση
Άεργο Ισχύ (Q)	τρέχουσα και συνολική τιμή για κάθε φάση
Φαινόμενη Ισχύ (S)	τρέχουσα και συνολική τιμή για κάθε φάση
Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$)	τρέχουσα τιμή για κάθε φάση και μέση τιμή συστήματος
Παραγωγή Ισχύος	συνολική παραγωγή ισχύος συστήματος- P,Q,S
Συχνότητα (f)	τρέχουσα και μέση τιμή

Στοιχεία Ποιότητας Ισχύος

THD τάσης (THD_V)	τρέχουσα και μέση τιμή για κάθε φάση
THD ρεύματος (THD_V π)	τρέχουσα και μέση τιμή για κάθε φάση

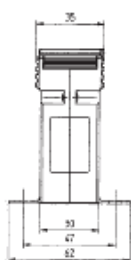
Στοιχεία Ενέργειας

Εισερχόμενη ενέργεια (E _{p_imp})	συνολική τιμή σε kWh
Εξερχόμενη ενέργεια (E _{p_exp})	συνολική τιμή σε kWh
Απόλυτο/Αλγεβρικό άθροισμα ενεργειών (E _{p_total})	τιμή σε kWh
Εισερχόμενη ενέργεια (E _{q_imp})	συνολική τιμή σε kVarh
Εξερχόμενη ενέργεια (E _{q_exp})	συνολική τιμή σε kVarh
Απόλυτο/Αλγεβρικό άθροισμα ενεργειών (E _{q_total})	τιμή σε kWh

Πίνακας Α.7: Μετρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές πολυοργάνου

Measuring current transformers

EASR 22.3



Approved current transformer for tariff applications						
Secondary current ¹⁾		5A			1A	
Primary current A	Burden VA	Accuracy class			Accuracy class	
		0.5 Art.-no.	0.5s Art.-no.	0.2 Art.-no.	0.5 Art.-no.	0.2 Art.-no.
100	1.5	✓	✓	✓	✓	✓
	2.5	✓	✓		✓	✓
150	1.5	✓	✓	✓	✓	✓
	2.5	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓		✓	✓
200	1.5	✓	✓	✓	✓	✓
	2.5	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓
250	2.5	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓		✓	✓
300	2.5	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓
	10	✓	✓			
400	2.5	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓
	10	✓	✓	✓	✓	✓
500	2.5	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓
	10	✓	✓	✓	✓	✓
600	2.5	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓
	10	✓	✓	✓	✓	✓

Πίνακας Α.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών ρεύματος των πολυοργάνων.

- Αισθητήρας ηλιοφάνειας και απαραίτητοι μετατροπείς

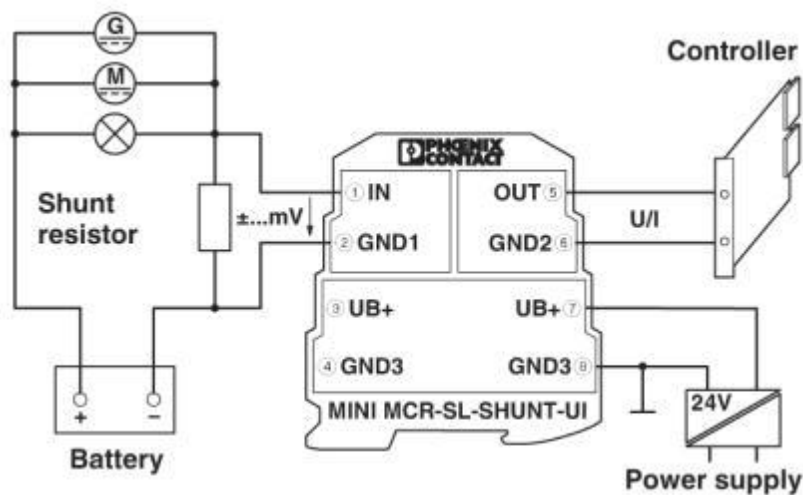
Για να ληφθούν οι μετρήσεις ηλιοφάνειας από τους αισθητήρες ήταν απαραίτητοι δύο μετατροπείς. Ο ένας της PHOENIX CONTACT μετατρέπει το σήμα της ακτινοβολίας σε ρεύμα 0..20mA και ο δεύτερο της ABB μετατρέπει το σήμα από το PT1000 που έχει ο αισθητήρας ακτινοβολίας για να μετρά την θερμοκρασία του και να μπορεί να καλυμπράρει την μέτρηση της ακτινοβολίας ανάλογα με την θερμοκρασία του αισθητήρα και σύμφωνα με μια συνάρτηση που δίνει ο κατασκευαστής του αισθητήρα. Αυτή η συνάρτηση είναι μοναδική για κάθε αισθητήρα. Οι αισθητήρες αυτοί επιλέχτηκαν και εγκαταστάθηκαν μαζί με όλο το πίνακα που βρίσκεται στην ταράτσα για τους αισθητήρες ακτινοβολίας από εμένα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετατροπέα της PHOENIX CONTACT φαίνονται στον Πίνακα Α.9 και του μετατροπέα της ABB στους Πίνακες Α.10 και Α.11. Στον Εικόνα Α.1 έχουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα ακτινοβολίας.

Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

Voltage input signal

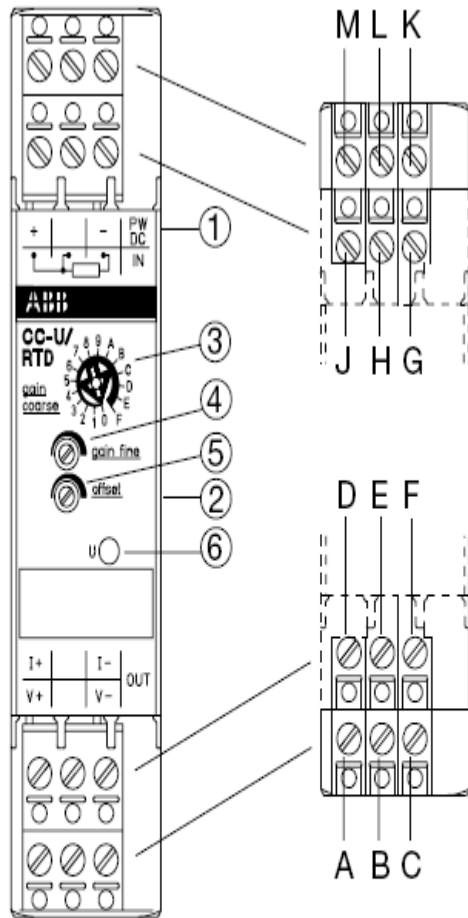
-50 mV ... 50 mV
-60 mV ... 60 mV
-75 mV ... 75 mV
-80 mV ... 80 mV
-100 mV ... 100 mV
-120 mV ... 120 mV
-150 mV ... 150 mV
-200 mV ... 200 mV
-240 mV ... 240 mV
-300 mV ... 300 mV
-500 mV ... 500 mV
-600 mV ... 600 mV
-750 mV ... 750 mV
-800 mV ... 800 mV
-1 V ... 1 V
-1.2 V ... 1.2 V
-1.5 V ... 1.5 V
-2 V ... 2 V
-2.4 V ... 2.4 V
-3 V ... 3 V
0 mV ... 50 mV
0 mV ... 60 mV
0 mV ... 75 mV
0 mV ... 80 mV
0 mV ... 100 mV
0 mV ... 120 mV
0 mV ... 150 mV
0 mV ... 200 mV
0 mV ... 240 mV
0 mV ... 300 mV
0 mV ... 500 mV
0 mV ... 600 mV
0 mV ... 750 mV
0 mV ... 800 mV
0 V ... 1 V
0 V ... 1.2 V
0 V ... 1.5 V
0 V ... 2 V
0 V ... 2.4 V
0 V ... 3 V

Max. input voltage	Approx. 30 V DC
Input resistance of voltage input	Approx. 10 kΩ
Output data	
Configurable/programmable	Yes, unconfigured
Voltage output signal	0 V ... 10 V
	2 V ... 10 V
	0 V ... 5 V
	1 V ... 5 V
	-10 V ... 10 V (The bi-polar output can be used only for bi-polar input signals.)
	-5 V ... 5 V (The bi-polar output can be used only for bi-polar input signals.)
Current output signal	0 mA ... 20 mA
	4 mA ... 20 mA
Max. output voltage	12.5 V
Max. output current	28 mA
Load/output load voltage output	≥ 10 kΩ
Load/output load current output	< 500 Ω (at 20 mA)
Power supply	
Nominal supply voltage	24 V DC
Supply voltage range	19.2 V DC ... 30 V DC
Power consumption	< 450 mW (Current output)
Connection data	
Connection method	Screw connection
Conductor cross section solid min.	0.14 mm ²
Conductor cross section solid max.	2.5 mm ²
Conductor cross section stranded min.	0.2 mm ²
Conductor cross section stranded max.	2.5 mm ²
Conductor cross section AWG/kcmil min.	26
Conductor cross section AWG/kcmil max.	12
Stripping length	12 mm
Screw thread	M3
Connection method	2-wire



Πίνακας Α.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα PHOENIX CONTACT

I Front view with operating controls English



① 12 lateral DIP switches, SW 1.1 ... 1.6 and SW 2.1 ... SW 2.6, for input configuration
With the 12 lateral switches it is possible to configure temperature ranges for 3 different resistance thermometers according to tab. 1.

SW1.1	SW1.2	SW1.3	Selection of the resistance thermometer	
on	off	off	PT 10	
off	on	off	PT 100	
off	off	on	PT 1000	
SW1.4 ... SW1.6	not used			
SW2.1	SW2.2	SW2.3	SW2.4	Selection of the linearization
off	on	off	on	PT 10 T < 650 °C
off	on	off	off	PT 10 T > 650 °C
on	off	on	off	PT 100
off	off	off	off	PT 1000
SW2.5	Detection of input signal interruption (see table 1)			
SW2.6	not used			

Detection of input signal interruption:
In case of an input signal interruption, the output signal goes to max. (high fail safe) or to min. (low fail safe).

② 6 lateral DIP switches, SW 3.1 ... 3.6, for output configuration
With the 6 lateral switches it is possible to configure 8 standard output signals as shown in table 2a, as well as 33 non-standard signals as shown in table 2b.

③ Rotary switch for the preselection of the gain
0 = min; F = max

④ Potentiometer for the fine adjustment of the gain

⑤ Potentiometer for the offset adjustment ± 5 %

⑥ U: green LED - Indication of supply voltage

II Electrical connection



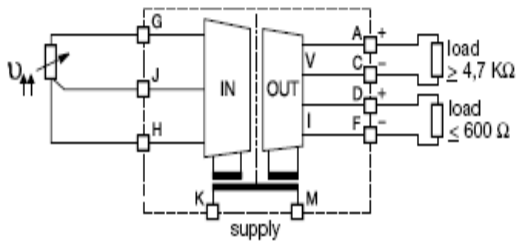
For the rated supply voltage and the circuit diagram, see label at the side of the unit.

K - M Supply voltage

Input signal:
G(+) - H(-) Resistance thermometer for PT 10, PT 100, PT 1000

Output signals:
A(+) - C(-) Voltage
D(+) - F(-) Current

When connecting a two-wire sensor, jumper the terminals J and H!



Πίνακας Α.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα ABB(α)

Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

Tab. 1 Input							Tab. 2 Output						
	SW1						SW2						Gain
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
PT 10:													
0...500 °C	■						■		■				F
0...550 °C	■						■		■				E
0...600 °C	■						■		■				D
0...650 °C	■						■						C
0...700 °C	■						■						B
0...750 °C	■						■						A
0...800 °C	■						■						9
0...850 °C	■						■						8
PT 100:													
0...50 °C		■						■		■			F
0...60 °C		■						■		■			E
0...70 °C		■						■		■			B
0...80 °C		■						■		■			A
0...90 °C		■						■		■			9
0...100 °C		■						■		■			8
0...200 °C		■						■		■			3
0...300 °C		■						■		■			2
0...400 °C		■						■		■			1
0...500 °C		■						■		■			0
PT 1000:													
0...10 °C			■										8
0...20 °C			■										3
0...30 °C			■										2
0...40 °C			■										1
0...50 °C			■										0
0...60 °C			■										0
High fail safe													
Low fail safe												■	

	SW3					
	1	2	3	4	5	6
a) standard						
0 ... 5 V			■			
0 ... 10 V					■	
1 ... 5 V	■	■	■			
2 ... 10 V	■	■	■			
-10 ... 10 V				■		
0 ... 1 mA					■	
0 ... 20 mA					■	■
4 ... 20 mA	■	■	■			
b) non standard						
-5 ... 5 V				■	■	
-10 ... 0 V			■	■		
-5 ... 0 V			■	■	■	
0 ... 6,66 V		■				■
-10 ... 3,33 V		■		■		
-5 ... 1,66 V		■		■	■	
0 ... 8 V		■	■			
0 ... 4 V		■	■			■
-10 ... -2 V		■	■	■		
-5 ... -1 V		■	■	■	■	
1,25 ... 6,25 V	■		■			■
-7,5 ... 2,5 V	■		■	■		
-3,75 ... 1,25 V	■		■	■	■	
1,66 ... 8,33 V	■	■				■
-6,66 ... 6,66 V	■	■		■		
-3,33 ... 3,33 V	■	■		■	■	
-8 ... 0 V	■	■	■	■		
-4 ... 0 V	■	■	■	■	■	
0 ... 10 mA			■		■	■
0 ... 0,5 mA			■		■	■
0 ... 13,33 mA		■				■
0 ... 666 μA		■			■	
0 ... 16 mA		■	■			■
0 ... 800 μA		■	■			■
0 ... 8 mA		■	■		■	■
0 ... 400 μA		■	■		■	■
2,5 ... 12,5 mA	■		■		■	■
125 ... 625 μA	■		■		■	■
3,33 ... 16,66 mA	■	■			■	■
166 ... 833 μA	■	■			■	
0,2 ... 1 mA	■	■	■			
2 ... 10 mA	■	■	■		■	■
100 ... 500 μA	■	■	■		■	

Legend:

■	ON
	OFF

Πίνακας Α.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα ABB (β)

Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

Technical data ISET Sensor

Housing

- Aluminum, powder coating in facade quality, color is silvery grey *
- Mounting with two nuts M 5 backside
- Housing pressure balance by means of a special membran.

Connecting cable

AWG 26, shielded, black, length 3m *
Plug connected

Available solar cell sensors *

- monocrystalline
- polycrystalline
- EFG
- amorphously
- CdTe**
- CIS**

Embedded under clear glass hardened thermally or embedded like solar module

Measuring voltage

- about 100 mV (cal.val.) /1000 W/m², 25°C
- Specific shunt resistance coupled thermally to the case.

Calibration

The calibration of every ISET Sensor occurs with a reference element (quality grade A, constructed in an identical fashion) from an accredited test laborator in W/m² by ISET/Kassel.

A calibrating printout according to EN 45001 documents the product specific parameters.

The relative measurement uncertainty is ±4% (cryst.mat.) / ±5% (am. mat.) The measurement uncertainty refer to a confidence level of 1-alpha =95%.

Temperature sensor

Pt 1000, embedded or bond axially under the cell

Operating temperature range

-25° to +80° C

* other versions according to customer preference (minimum quantity)

Subjekt to alteration. State: 09/2006

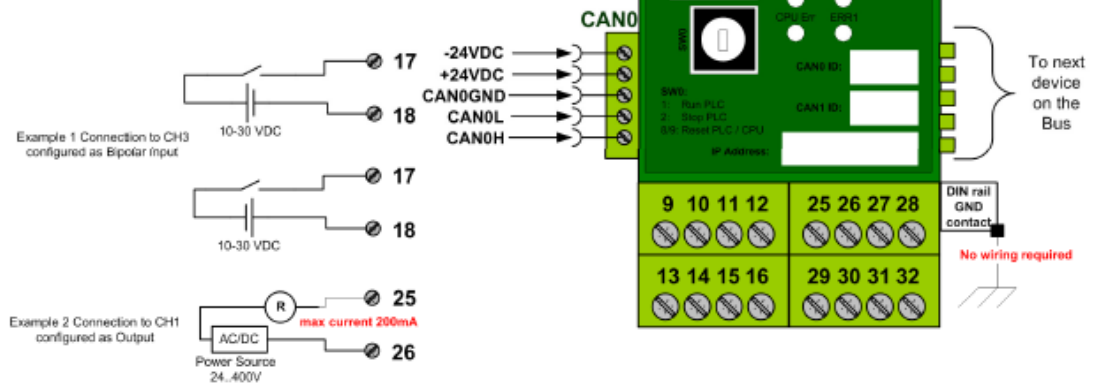
Εικόνα Α.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα ακτινοβολίας

- PLC και κάρτες AICan και DIOCan

Στο εργαστήριο για να μπορέσουμε να πάρουμε τις DC τιμές αλλά και να ελέγξουμε τα φορτία χρησιμοποιήσαμε PLC της εταιρείας GOLDEN AS. Το όλο σύστημα αποτελείται από έναν κεντρικό επεξεργαστή που συνδέεται με τον υπολογιστή του εργαστηρίου και από κάρτες AICan και DIOCan για αναλογικές και ψηφιακές μετρήσεις αντίστοιχα που συνδέονται μέσω canbus. Στις Εικόνες Α.2, Α.3 και Α.4 βλέπουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά της CPU του PLC, της κάρτας AICan και της κάρτας DIOCan αντίστοιχα.

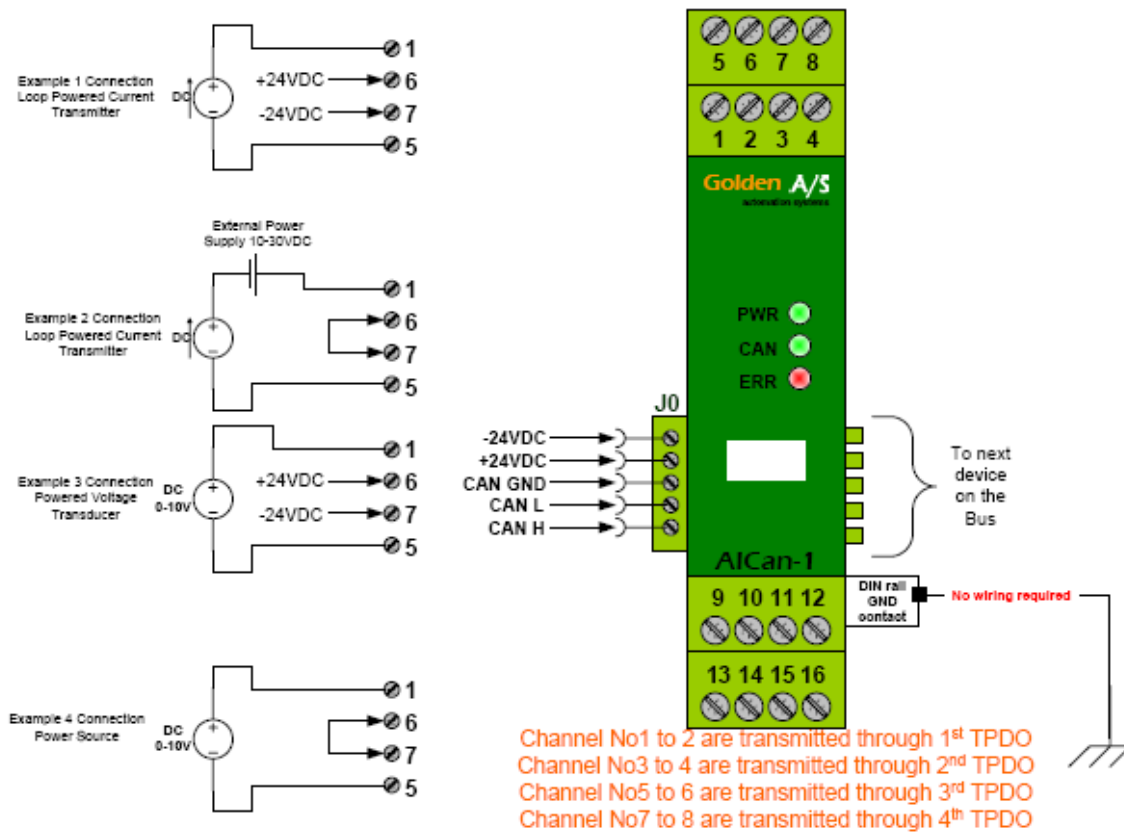
Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού

Channel No	Terminal	Type	Description
Con0	1	GNDD	CPU ERROR TRANSISTOR OUTPUT
	2	N.C.	
	3	CPUERR	
	4	GNDD	
Con1	5	TXD	RS232
	6	RXD	
	7	RTS	
	8	CTS	
Con2	9	CAN0TER	CAN0 AND CAN1 TERMINATION BRIDGES
	10	CAN0TER	
	11	CAN1TER	
	12	CAN1TER	
Con3	13	CAN1H	CAN1 PORT
	14	CAN1L	
	15	CAN1GND	
	16	CAN1GND	
Con4	17	CH3IN	DIGITAL INPUT 3/4
	18	CH3IN	
	19	CH4IN	
	20	CH4IN	
Con5	21	CH1IN	DIGITAL INPUT 1/2
	22	CH1IN	
	23	CH2IN	
	24	CH2IN	
Con6	25	CH1OUT	DIGITAL OUTPUT 1/2
	26	CH1OUT	
	27	CH2OUT	
	28	CH2OUT	
Con7	29	CH3OUT	DIGITAL OUTPUT3/4
	30	CH3OUT	
	31	CH4OUT	
	32	CH4OUT	



Εικόνα Α.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά της CPU του PLC

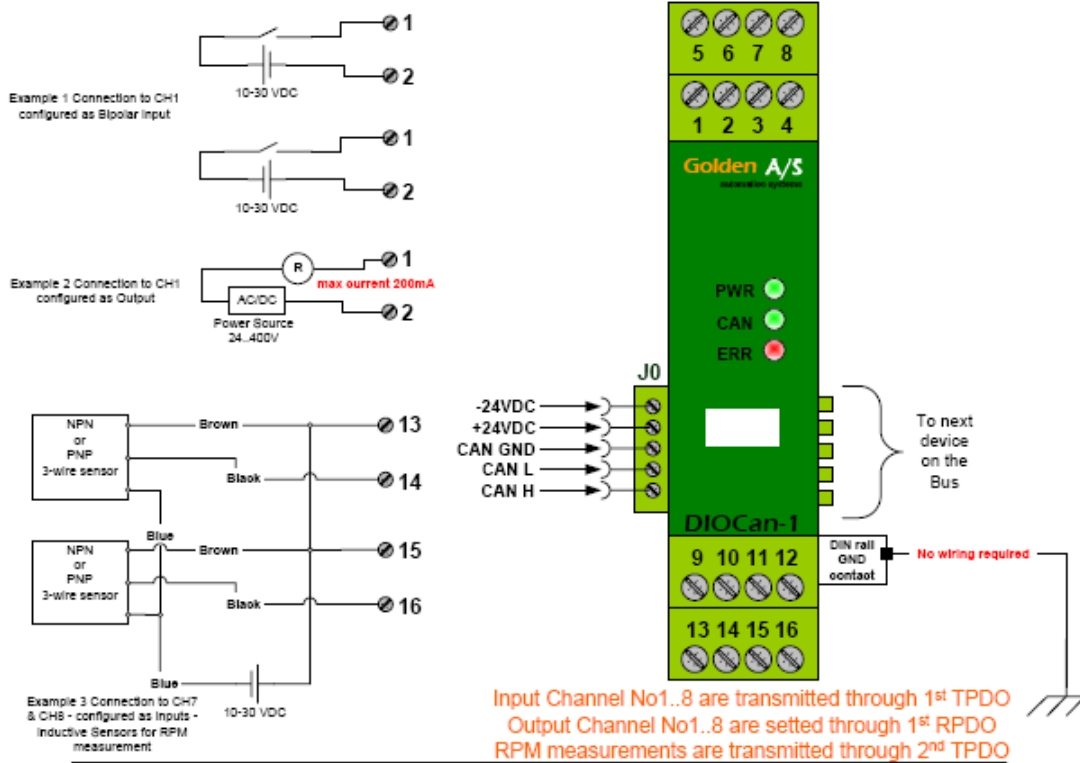
Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού



Channel No	Terminal	Type	Description
CH1	1	IN(+)	Current or Voltage Input
CH2	2	IN(+)	Current or Voltage Input
CH3	3	IN(+)	Current or Voltage Input
CH4	4	IN(+)	Current or Voltage Input
COM CH1,2	5	IN(-)	Current or Voltage Input
(+)24VDC	6	SUP(+)	Power Supply for Loop Powered Transmitters
(-)24VDC	7	SUP(-)	Power Supply for Loop Powered Transmitters
COM CH3,4	8	IN(-)	Current or Voltage Input
CH5	9	IN(+)	Current or Voltage Input
CH6	10	IN(+)	Current or Voltage Input
CH7	11	IN(+)	Current or Voltage Input
CH8	12	IN(+)	Current or Voltage Input
COM CH5,6	13	IN(-)	Current or Voltage Input
(+)24VDC	14	SUP(+)	Power Supply for Loop Powered Transmitters
(-)24VDC	15	SUP(-)	Power Supply for Loop Powered Transmitters
COM CH7,8	16	IN(-)	Current or Voltage Input

Εικόνα Α.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά της AICan

Παράρτημα Α ■ Τεχνικά χαρακτηριστικά εξοπλισμού



Channel No	Terminal	Type	Description
CH1	1	IN(+)/IN(-)/OUT1	Digital Input / Relay SPST output
	2	IN(-)/IN(+)/OUT1	
CH2	3	IN(+)/IN(-)/OUT2	Digital Input / Relay SPST output
	4	IN(-)/IN(+)/OUT2	
CH3	5	IN(+)/IN(-)/OUT3	Digital Input / Relay SPST output
	6	IN(-)/IN(+)/OUT3	
CH4	7	IN(+)/IN(-)/OUT4	Digital Input / Relay SPST output
	8	IN(-)/IN(+)/OUT4	
CH5	9	IN(+)/IN(-)/OUT5	Digital Input / Relay SPST output
	10	IN(-)/IN(+)/OUT5	
CH6	11	IN(+)/IN(-)/OUT6	Digital Input / Relay SPST output
	12	IN(-)/IN(+)/OUT6	
CH7	13	IN(+)/IN(-)/OUT7	Digital Input (RPM CH1) / Relay SPST output
	14	IN(-)/IN(+)/OUT7	
CH8	15	IN(+)/IN(-)/OUT8	Digital Input (RPM CH2) / Relay SPST output
	16	IN(-)/IN(+)/OUT8	

Εικόνα Α.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά της DIOCan

Παράρτημα Β

Ο κώδικας στο LabVIEW και το Codesys

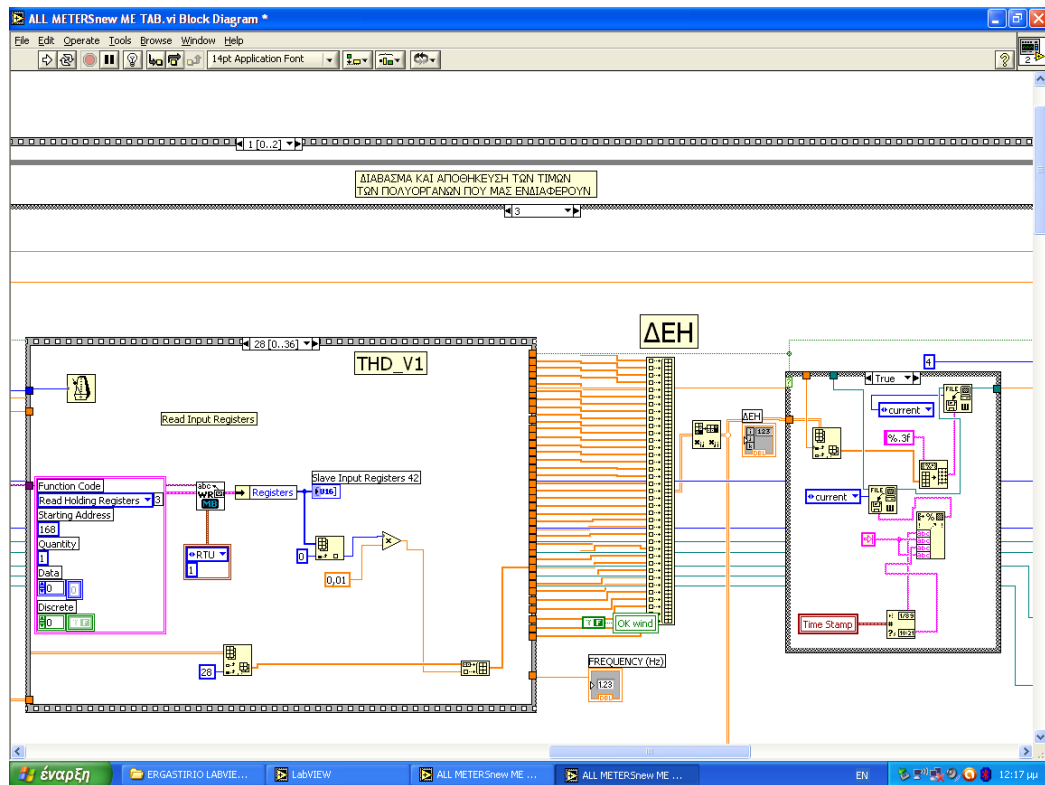
Σε αυτό το παράρτημα θα δούμε περισσότερες εικόνες από τον κώδικα στο LabVIEW αλλά και από τις ρυθμίσεις στο Codesys . Επειδή στο κυρίως σώμα της διπλωματικής είδαμε με μία μόνο εξαίρεση εικόνες μόνο από το Front panel. Σε αυτό το παράρτημα θα δούμε εικόνες από το Block Diagram. Το Block Diagram μπορεί να χωριστεί σε κάποια βασικά μέρη ανάλογα με τις λειτουργία που επιτελεί. Έτσι έχουμε το κομμάτι που διαβάζει και αποθηκεύει της τιμές από τα πολυόργανα, το κομμάτι που επικοινωνεί με τα PLC ώστε να παίρνουμε της DC τιμές, της τιμές της ακτινοβολίας αλλά και να ελέγχουμε τα φορτία, το κομμάτι που υπολογίζει τους συντελεστές απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος, το κομμάτι που συγκρίνει τα μοντέλα του ήλιου, το κομμάτι που ελέγχει την εμφάνιση των διαγραμμάτων και έχουμε και το κομμάτι που αρχικοποιεί τους πίνακες που θα αποθηκευτούν στην συνέχεια όλες οι τιμές που παίρνουμε από τα πολυόργανα και τους αισθητήρες. Καθένα από αυτά τα κομμάτια μπορεί να χωριστεί σε άλλα τόσα και να περιγραφεί ωστόσο κάτι τέτοιο δεν θα εξυπηρετούσε στην βασική κατανόηση των λειτουργιών του κώδικα και μάλλον θα μπερδεύε περισσότερο τον αναγνώστη γι' αυτό παραλείπεται.

LabVIEW

Βλέποντας τώρα ένα τα μέρη του κώδικα έχουμε.

➤ Επικοινωνία με τα πολυόργανα

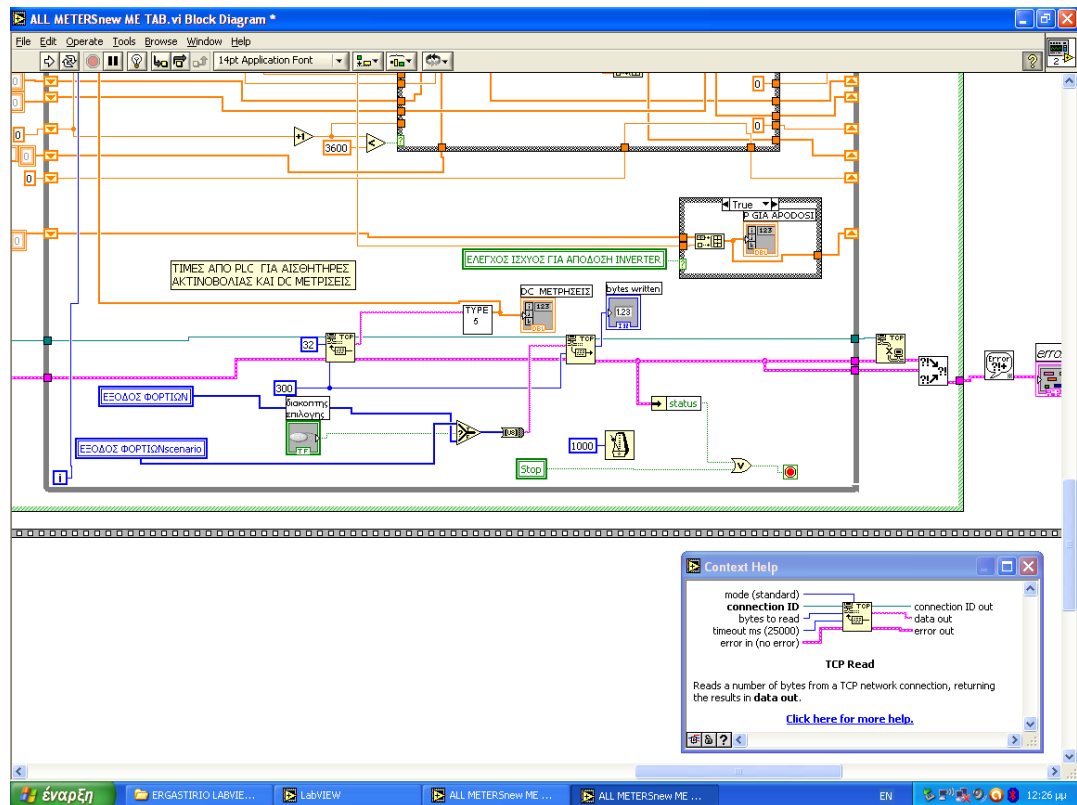
Αυτό το κομμάτι του κώδικα αναλαμβάνει την επικοινωνία με τα πολυόργανα. Συγκεκριμένα μέσω της επικοινωνίας μέσω του Modbus ρυθμίζουμε στον κώδικα ποιές από της μετρήσεις που δίνει το πολυόργανο θα πάρουμε. Στην Εικόνα Β.1 βλέπουμε το κομμάτι του κώδικα που μας δίνει το THD τάσης της πρώτης φάσης της ΔΕΗ. Το μεγαλύτερο από τα δύο "κουτιά" (στην πραγματικότητα είναι δομή επανάληψης) είναι αυτό που παίρνει της μετρήσεις από τα πολυόργανα και το μικρότερο (δομή της εντολής if) είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση των τιμών. Από το πολυόργανο της ΔΕΗ παίρνουμε συνολικά 37 μετρήσεις ενώ για παράδειγμα από το πολυόργανο των φωτοβολταϊκών μόνο 5 αφού για την κάθε περίπτωση παίρνουμε μόνο αυτές που θεωρούμε απαραίτητες.



Εικόνα Β.1: Τμήμα του Block Diagram για επικοινωνία με πολυόργανα

➤ Επικοινωνία με τα PLC

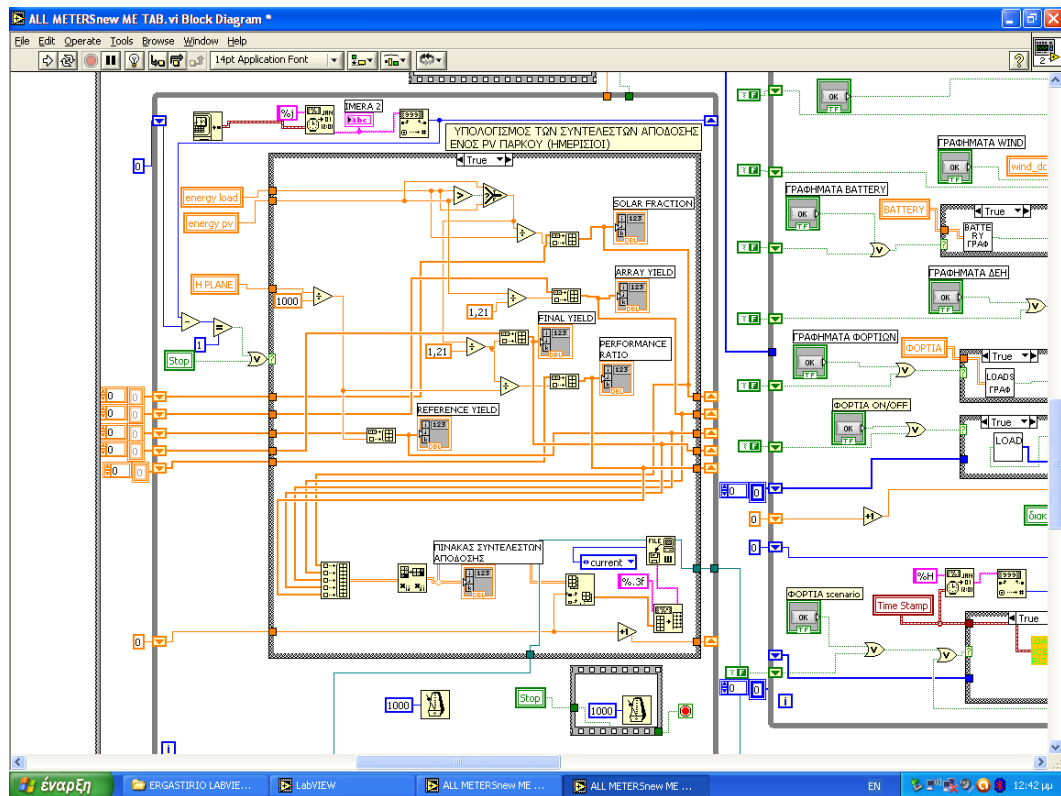
Την επικοινωνία με τα PLC του εργαστηρίου έπρεπε αν την αναλάβει αναγκαστικά άλλο μέρος του κώδικα καθώς έχουν διαφορετικό πρωτόκολλο επικοινωνίας από τα πολυόργανα. Στην Εικόνα Β.2 βλέπουμε το κομμάτι του κώδικα που επικοινωνεί με τα PLC και μας δίνει της DC τιμές, της τιμές της ακτινοβολίας αλλά και τον έλεγχο των φορτίων.



Εικόνα Β.2: Τμήμα του Block Diagram για επικοινωνία με PLC

➤ Συντελεστές απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος

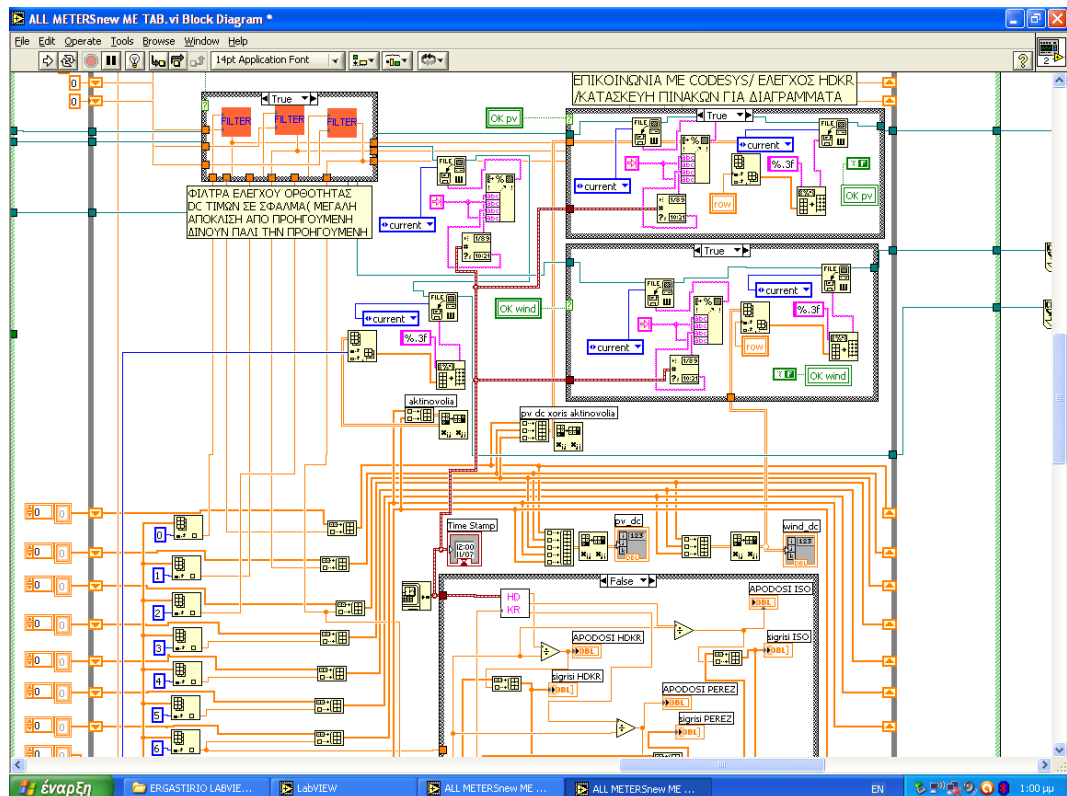
Αυτό το κομμάτι του κώδικα παίρνει σαν εισόδους την ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, την ενέργεια του φορτίου και την οριζόντια ακτινοβολία και υπολογίζει τους συντελεστές απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού υβριδικού συστήματος όπως έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 6. Στην Εικόνα Β.3 φαίνεται το τμήμα από το Block Diagram που έχει σαν σκοπό τον υπολογισμό αυτών των συντελεστών.



Εικόνα Β.3: Τμήμα του Block Diagram για υπολογισμό των συντελεστών απόδοσης φ/β υβριδικού συστήματος

➤ Σύγκριση μοντέλων του ήλιου

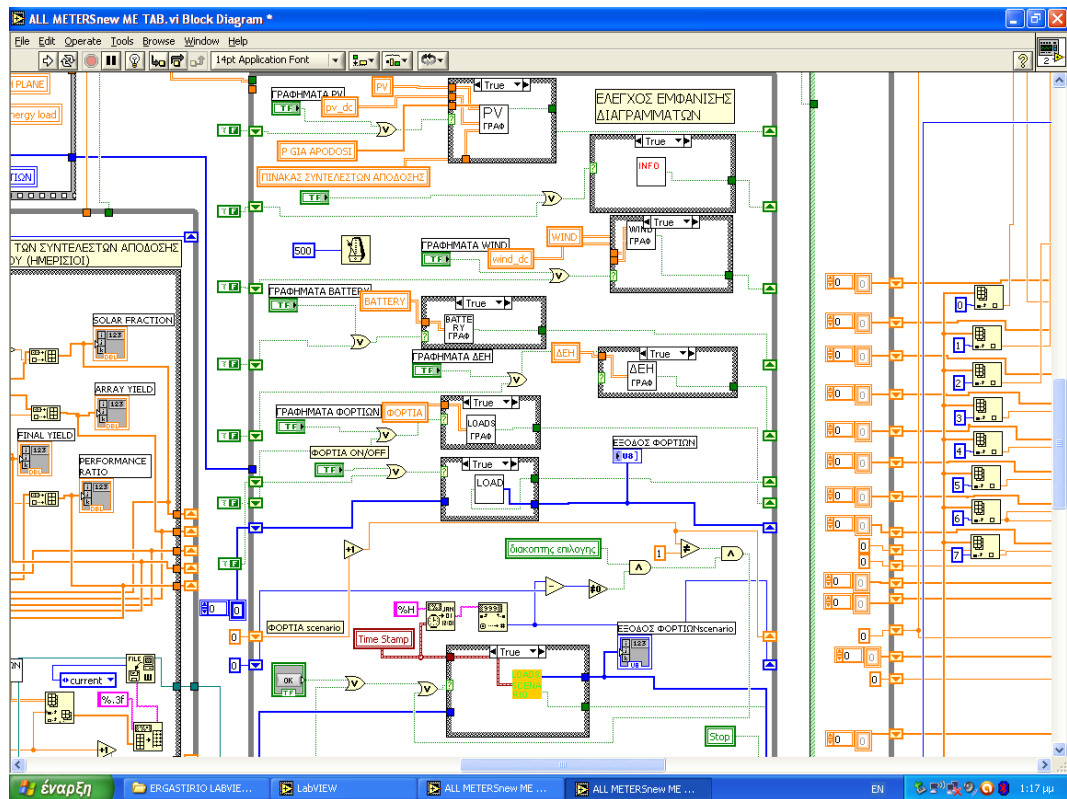
Στην Εικόνα Β.4 που ακολουθεί φαίνεται το τμήμα του κώδικα που συγκρίνει τα μοντέλα του ήλιου αλλά διαχειρίζεται και όλες τις DC μετρήσεις που λαμβάνονται από τα PLC. Ειδικά για τις μετρήσεις της ακτινοβολίας γίνεται και ένα 'φιλτράρισμα' των τιμών ώστε να διορθώνονται τυχόν ανωμαλίες που εισάγονται από σφάλματα στις μετρήσεις.



Εικόνα Β.4: Τμήμα του Block Diagram για σύγκριση μοντέλων του ήλιου και επεξεργασία DC τιμών

➤ Εμφάνιση διαγραμμάτων

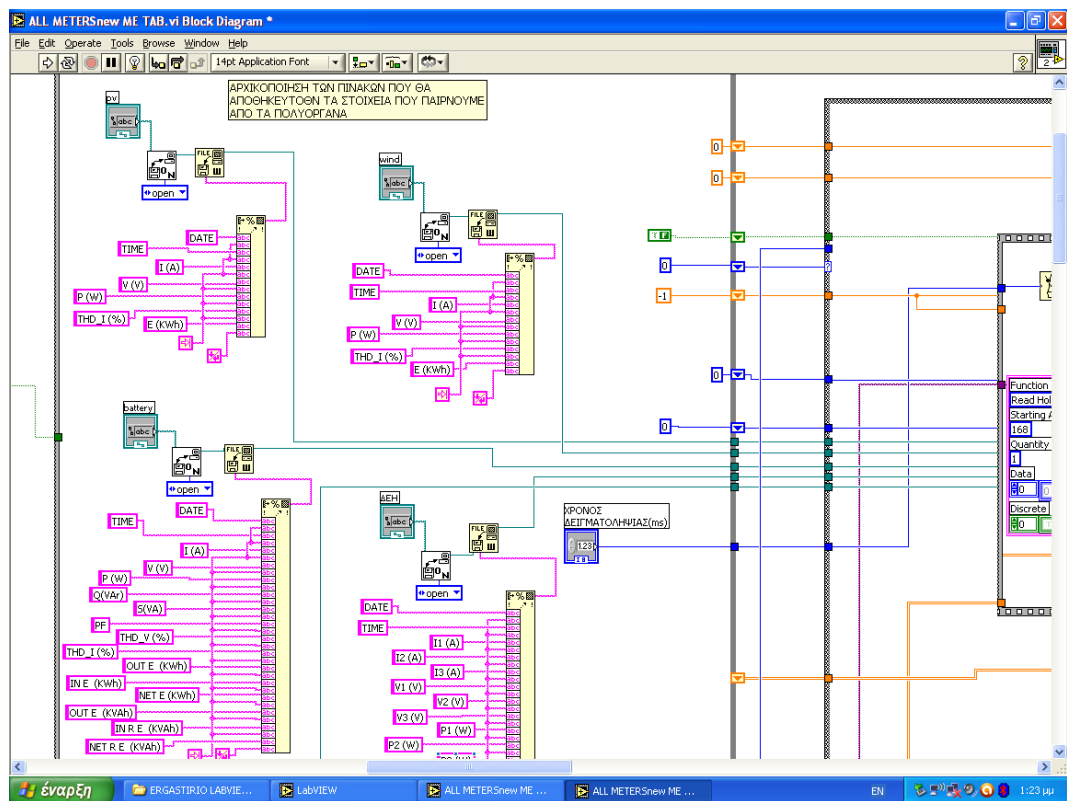
Το τμήμα αυτό του κώδικα είναι αυτό που δίνει την δυνατότητα το χρήστη να εμφανίζει τα διάφορα διαγράμματα. Δεν διαχειρίζεται καθόλου τα δεδομένα απλά τα εμφανίζει μετά την απαίτηση του χρήστη. Παρόλο που δεν επεξεργάζεται καθόλου δεδομένα αυτό το κομμάτι του κώδικα είναι πολύ σημαντικό αφού ρυθμίζει τον τρόπο που ο χρήστης έρχεται σε επαφή με το πρόγραμμα. Στην Εικόνα Β.5 είναι το κομμάτι του κώδικα που ελέγχει την εμφάνιση των διαγραμμάτων.



Εικόνα Β.5: Τμήμα του Block Diagram για την εμφάνιση των διαγραμμάτων

➤ Αρχικοποίηση πινάκων

Στην Εικόνα Β.6 φαίνεται το τμήμα του κώδικα που αρχικοποιεί τους πίνακες που στη αποθηκεύονται τα δεδομένα κατά την εκτέλεση. Οι αρχικοποίηση των πινάκων είναι πολύ σημαντική διαδικασία καθώς μας δίνει την δυνατότητα να βρίσκουμε εύκολα τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί σε περίπτωση που θέλουμε να τα επεξεργαστούμε στην συνέχεια.



Εικόνα Β.6: Τμήμα του Block Diagram για την αρχικοποίηση των πινάκων αποθήκευσης

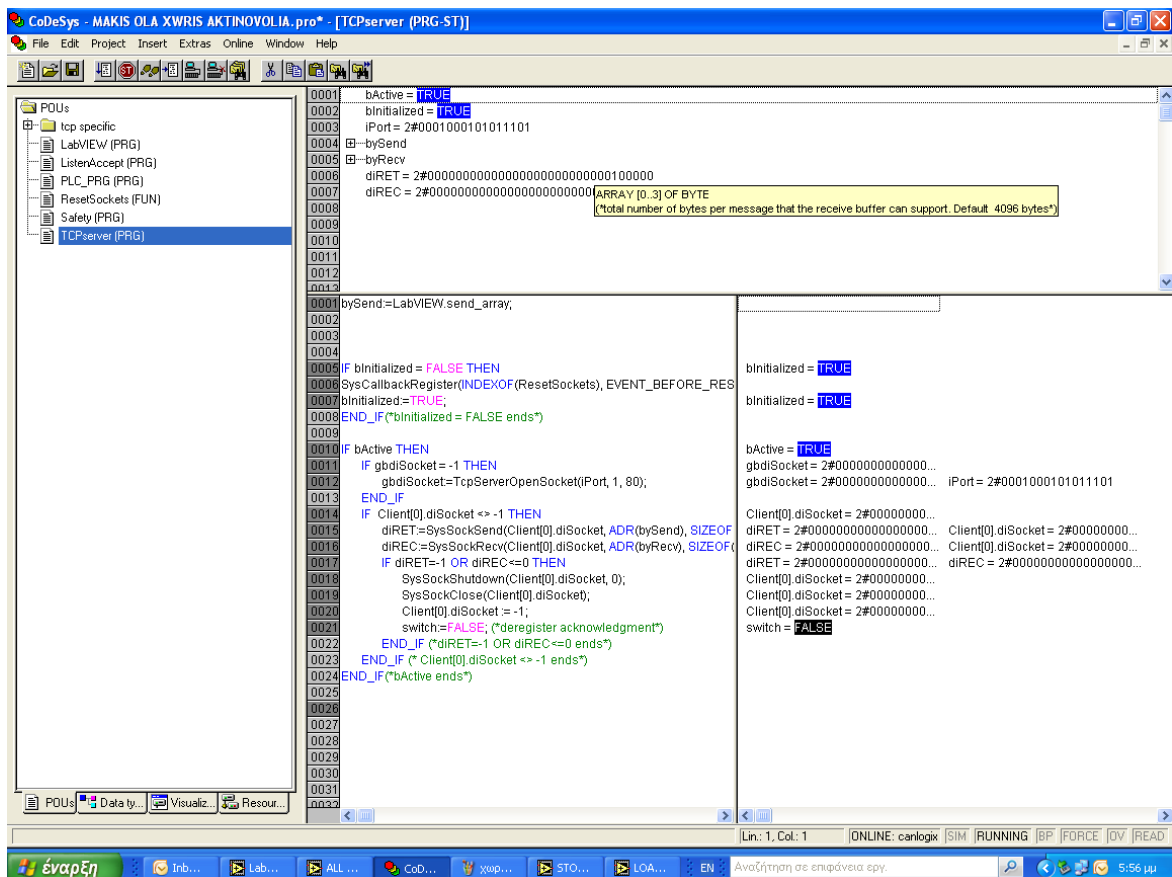
Codesys

Το Codesys όπως αναφέραμε και πιο πριν είναι το πρόγραμμα μέσω του οποίου γίνεται ο προγραμματισμός της CPU του PLC. Είναι δηλαδή στην ουσία το πρόγραμμα που ασχολείται με τον έλεγχο των συσκευών και των φορτίων (τουλάχιστον σε πρώτη φάση γιατί στη συνέχεια θα δούμε ότι ο έλεγχος γίνεται και αυτός μέσω του LabVIEW). Αρχικά για τον προγραμματισμό στο Codesys δηλώνουμε την CPU του PLC μας. Στις παραμέτρους της βλέπουμε και την διεύθυνση IP που στην περίπτωσή μας είναι 147.102.30.51. Η διεύθυνση αυτή φαίνεται προφανώς μόνο στην περίπτωση που είμαι συνδεδεμένος (μέσω του καλωδίου Ethernet που αναφέραμε στο κομμάτι της επικοινωνίας). Στο επόμενο βήμα επιλέγουμε τον αριθμό των αναλογικών και ψηφιακών καρτών (AICan, DIOCan) που έχουμε. Στη συνέχεια για κάθε μία από τις κάρτες ρυθμίζουμε τη διεύθυνση που θα έχει στο CANbus (Node ID δεν έχει να κάνει με το IP της CPU του PLC). Οι επόμενες ρυθμίσεις που κάνουμε στην κάθε κάρτα έχουν να κάνουν με το είδος της επικοινωνίας που θα έχει η κάρτα με την CPU καθώς και με το αν το σήμα που θα διαβάζει η κάρτα (αναλογικές μόνο) θα είναι 0-20mA ή 4-20mA. Εμείς έχουμε επιλέξει παντού να έχουμε σαν είσοδο 0-20mA. Το τελευταίο πράγμα που πρέπει να ρυθμίσουμε για τις κάρτες είναι το είδος των εισόδων/εξόδων τους (REAL, INTRGER κτλ) και να σημειώσουμε την διεύθυνση της κάθε εισόδου ή εξόδου της

Παράρτημα Β ■ Ο κώδικας στο LabVIEW και στο Codesys

κάθε κάρτας ώστε μέσω του κώδικα που θα δημιουργήσουμε μετά να μπορέσουμε να επεξεργαστούμε της εισόδους (μετρήσεις από αναλογικές κάρτες) και να ελέγξουμε της εξόδους(έλεγχος φορτίων/πηγών από ψηφιακές κάρτες. Στη συνέχεια δημιουργούμε τον κώδικα. Εδώ έχουμε τρία βασικά μέρη κώδικα.

Το πρώτο μέρος αφορά το κομμάτι του κώδικα που έχει να κάνει με την επικοινωνία του υπολογιστή με την CPU του PLC και ρυθμίζει τον όγκο των δεδομένων που παίρνει ο υπολογιστής από κάθε κάρτα αλλά και τα δεδομένα που στέλνει ο υπολογιστής για τον έλεγχο στις υπόλοιπες κάρτες. Στην Εικόνα Β.7 που ακολουθεί φαίνεται το μέρος του κώδικα που κάνει αυτή τη δουλειά. Ίσως να μην είναι ευδιάκριτο αλλά το όνομα αυτού του μέρους του κώδικα είναι TCPserver αφού όπως είπαμε και πιο πριν το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ της CPU του PLC και του υπολογιστή είναι το TCP/IP και ο υπολογιστής στην ουσία λειτουργεί σαν TCPserver.

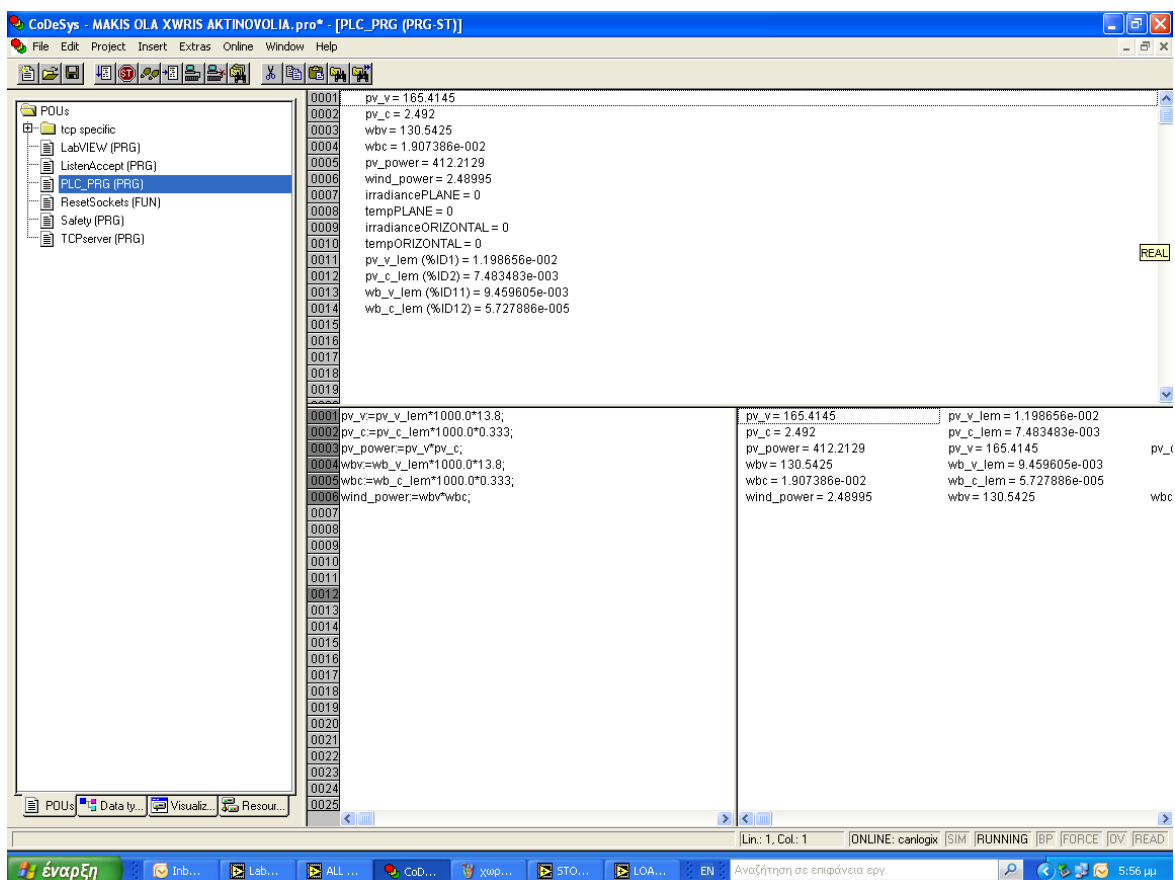


Εικόνα Β.7: Κώδικας στο Codesys για τον έλεγχο της επικοινωνίας της CPU του PLC με τον υπολογιστή

Αφού έχουμε πάρει τα δεδομένα από τις κάρτες μας, το δεύτερο μέρος του κώδικα έρχεται για να δώσει μία πιο κατανοητή μορφή στα δεδομένα δίνοντας κάποιο

Παράρτημα Β ■ Ο κώδικας στο LabVIEW και στο Codesys

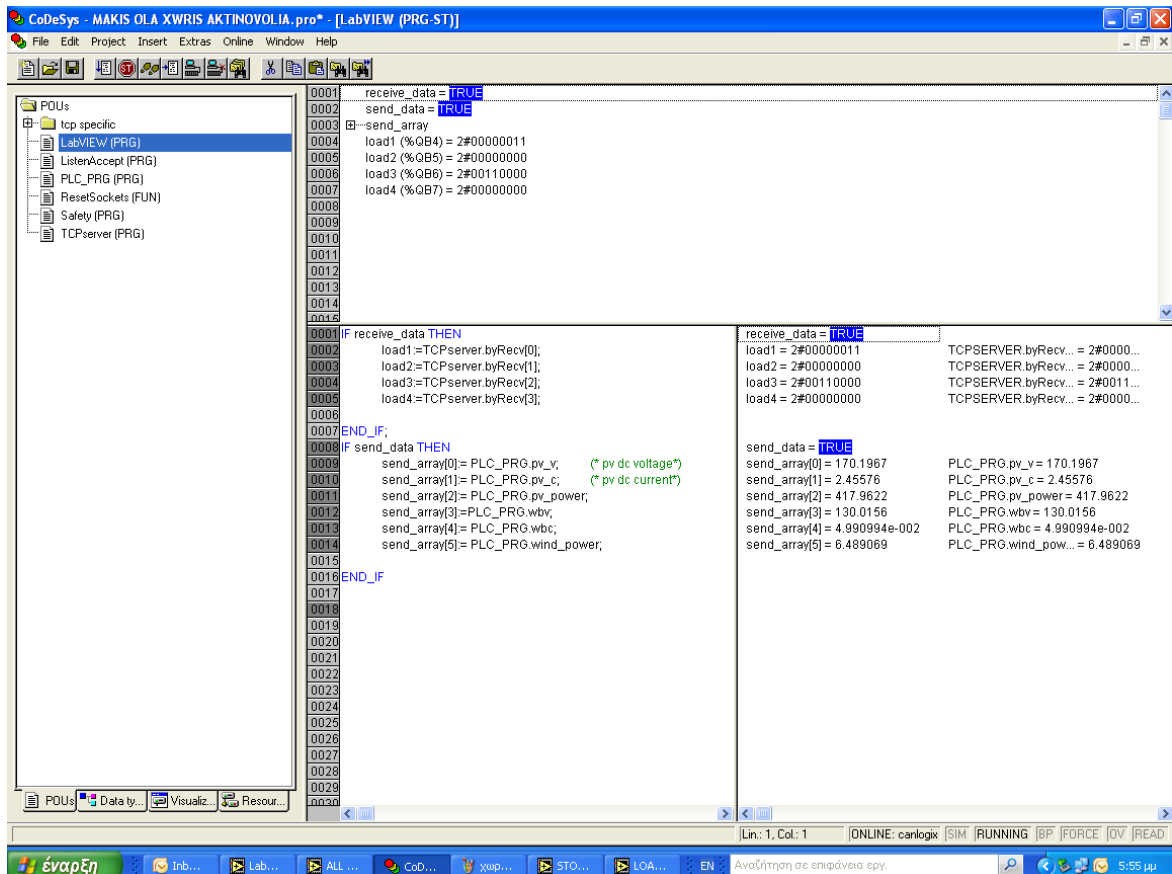
χαρακτηριστικό όνομα στα δεδομένα που παίρνουμε από κάθε κάρτα ανάλογα πάντα με το είδος τους. Κάποια χαρακτηριστικά ονόματα των μεταβλητών (δεδομένων από κάρτες) είναι για παράδειγμα *pn_v* για την DC τάση του PV και *pn_c* για το DC ρεύμα του PV. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτό το κομμάτι του κώδικα για μερικά από τα δεδομένα γίνεται μια μικρή επεξεργασία που είναι απαραίτητη έτσι ώστε να απλοποιηθεί στη συνέχεια η επεξεργασία των δεδομένων αλλά και να μειωθεί και ο όγκος τους που θα χρειαστεί να σταλθεί, με το τρίτο κομμάτι κώδικα για το οποίο θα μιλήσουμε στη συνέχεια, στο LabVIEW. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο υπολογισμός μέσω του Codesys της ακτινοβολίας που μετρούν οι σένσορες ακτινοβολίας καθώς υπάρχει ένας συντελεστής διόρθωσης της μετρούμενης τιμής ανάλογα με την θερμοκρασία του σένσορα. Στην Εικόνα B.8 που ακολουθεί φαίνεται το κομμάτι του κώδικα που επεξεργάζεται τα δεδομένα και έχει το χαρακτηριστικό όνομα PLCPRG. Στο πάνω δεξιό μέρος της εικόνας φαίνονται και οι στιγμιαίες τιμές των μεταβλητών καθώς είναι φωτογραφία που τραβήχτηκε κατά την λειτουργία του προγράμματος ενώ στο κάτω αριστερό από τα τρία μέρη που έχουν κώδικα φαίνεται αυτή η μικρή επεξεργασία των δεδομένων για την οποία μιλήσαμε παραπάνω.



Εικόνα B.8: Κώδικας στο Codesys για την επεξεργασία των δεδομένων

Παράρτημα Β ■ Ο κώδικας στο LabVIEW και στο Codesys

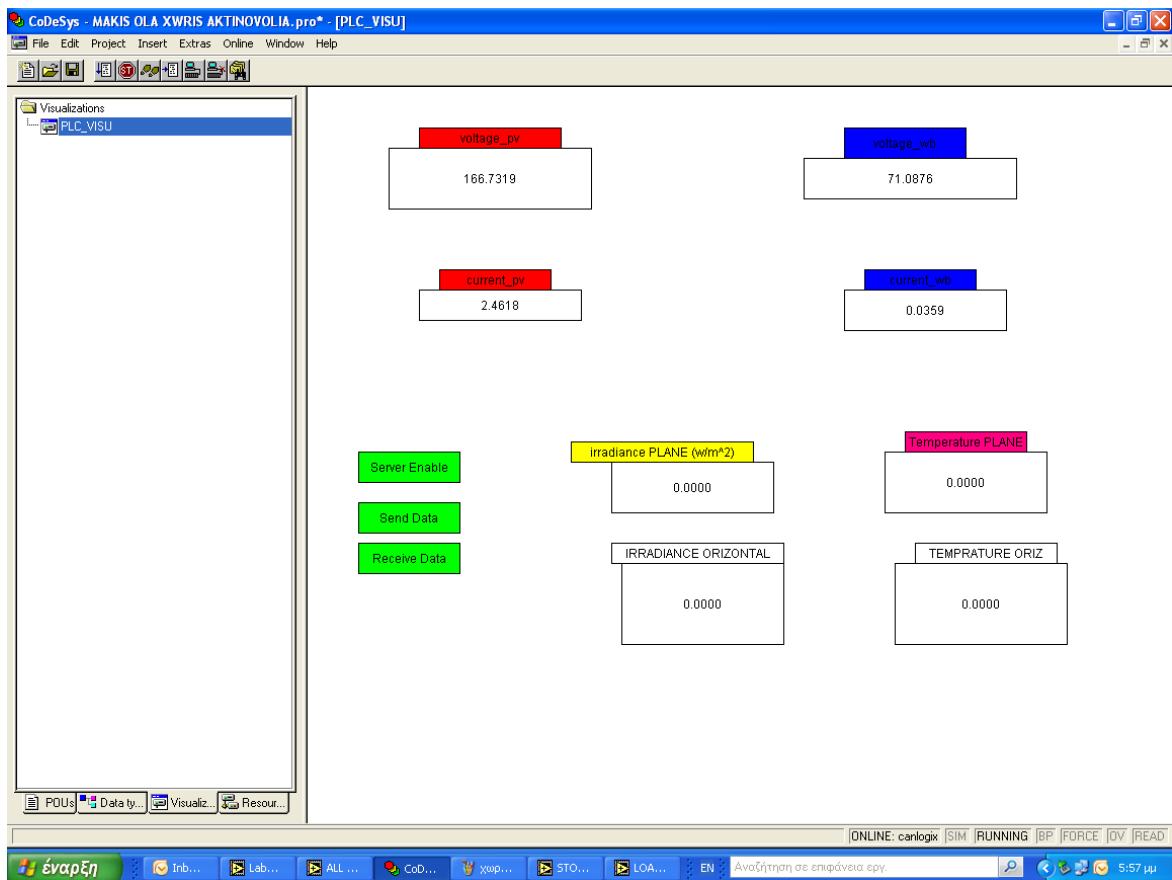
Το τελευταίο κομμάτι του κώδικα έχει να κάνει με την επικοινωνία του Codesys με το LabVIEW. Είναι το κομμάτι του κώδικα δηλαδή που ορίζει τα χαρακτηριστικά των πακέτων δεδομένων που σταλούν στο LabVIEW για να γίνει η τελική και συγκεντρωτική επεξεργασία τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων και ο όγκος δεδομένων του κάθε πακέτου. Στην περίπτωση μας στέλνουμε τα δεδομένα σαν πίνακες από bytes. Στην Εικόνα Β.9 φαίνεται το συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα όπου στο κάτω αριστερό από τα τρία κομμάτια που περιέχουν κώδικα φαίνεται η δήλωση των πινάκων με τα bytes (send_array [0] κτλ).



Εικόνα Β.9: Κώδικας στο Codesys για την αποστολή των πακέτων δεδομένων στο LabVIEW

Τέλος υπάρχει και μία πιο παραστατική απεικόνιση των δεδομένων στο Codesys έτσι ώστε να είναι πιο εύκολος ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας του καθώς τα προηγούμενα τρία κομμάτια του κώδικα είναι τα απαραίτητα για την συνεργασία του Codesys με το LabVIEW. Στην Εικόνα Β.10 που ακολουθεί φαίνεται η απεικόνιση των δεδομένων στο Codesys. Από τα χρώματα αλλά κυρίως από την ένδειξη που έχει το κάθε κουτάκι είναι προφανές το τι μετράει το κάθε ένα. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε με το LabVIEW όπου και έχει γίνει η βασική δουλειά της διπλωματικής και το οποίο ασκεί τον καθολικό έλεγχο του συστήματος του εργαστηρίου.

Παράρτημα Β ■ Ο κώδικας στο LabVIEW και στο Codesys

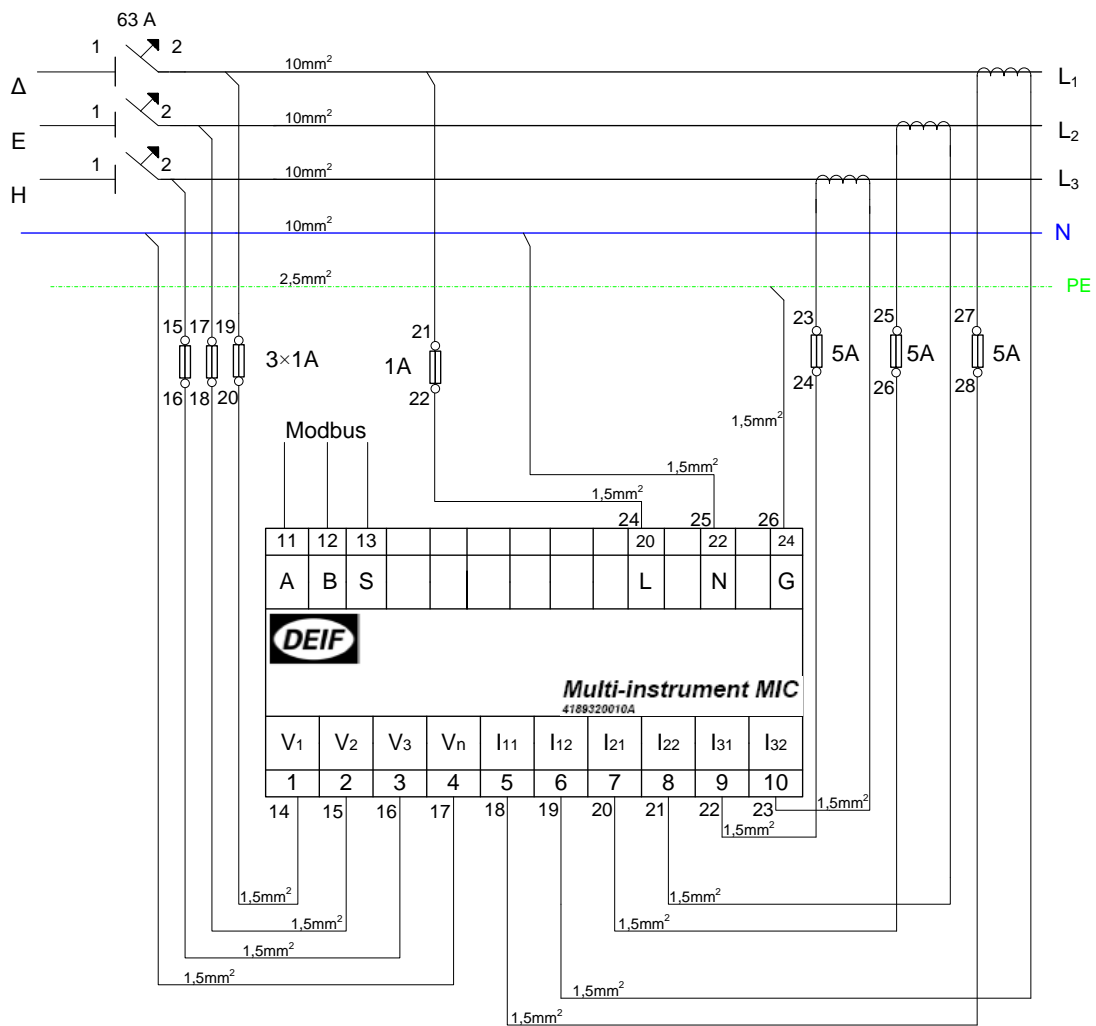


Εικόνα Β.10: Απεικόνιση των δεδομένων στο Codesys

Παράρτημα Γ Στοιχεία ηλεκτρικής εγκατάστασης

Σε αυτό το παράρτημα θα δούμε τα ηλεκτρολογικά σχέδια κάποιων βασικών συστημάτων του εργαστηρίου αλλά κυρίως αυτά στον οποίων την κατασκευή και συναρμολόγηση συμμετείχα στα πλαίσια της αναβάθμισης του εργαστηρίου. Τα κομμάτια που είχα σχεδόν αποκλειστική ευθύνη ήταν η μελέτη της τοποθέτησης του πολυοργάνου της ΔΕΗ καθώς και η τοποθέτησή του αλλά και η μελέτη και τοποθέτηση των αισθητήρων ακτινοβολίας και των απαραίτητων μετατροπέων που αναφέραμε στο Παράρτημα Α. Εδώ θα δούμε το ηλεκτρολογικό σχέδιο του πολυοργάνου της ΔΕΗ, το σχέδιο του γενικού πίνακα του εργαστηρίου, τα σχέδια των πλακετών για τα LEM τάσης και ρεύματος και το σχέδιο του πίνακα των αισθητήρων ακτινοβολίας στην ταράτσα.

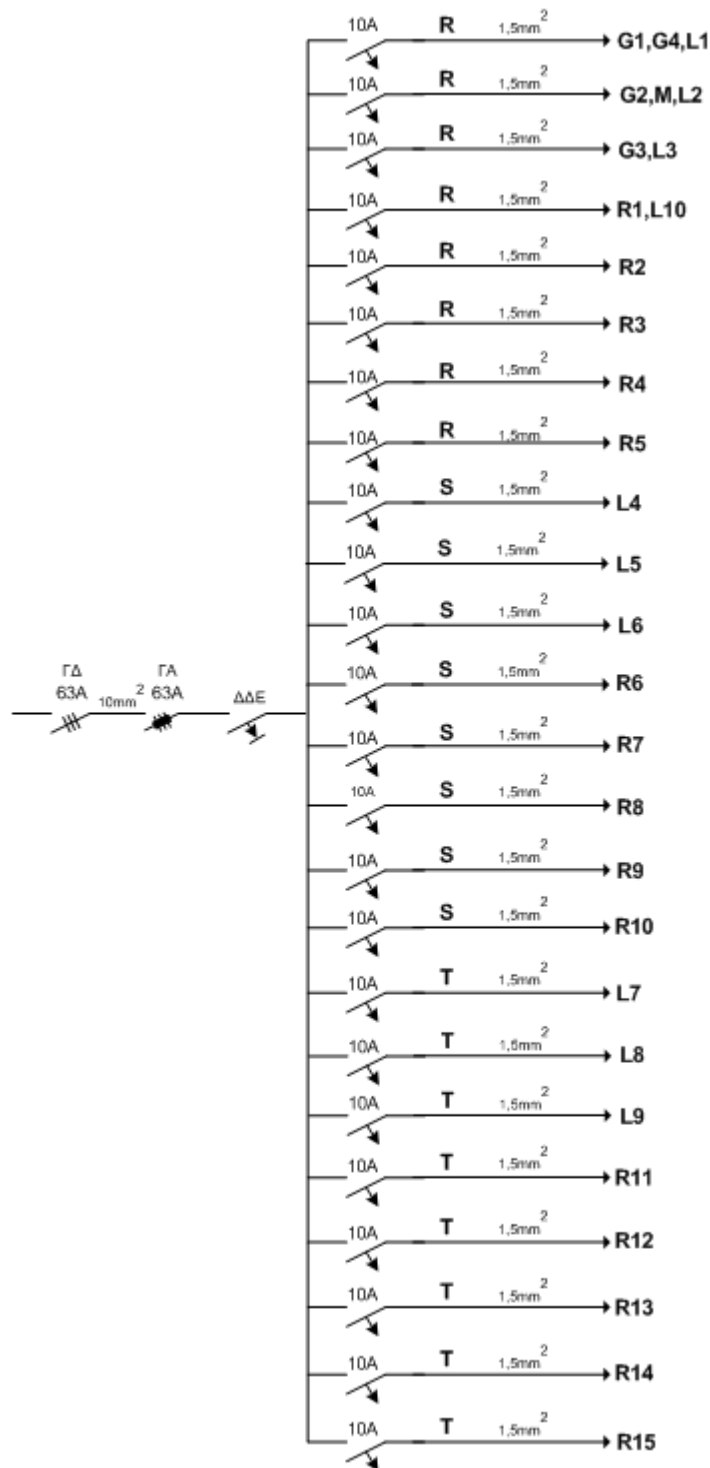
➤ Πολυόργανο ΔΕΗ



Εικόνα Γ.1: Ηλεκτρολογικό σχέδιο πολυοργάνου ΔΕΗ

Παράρτημα Γ ■ Στοιχεία ηλεκτρικής εγκατάστασης

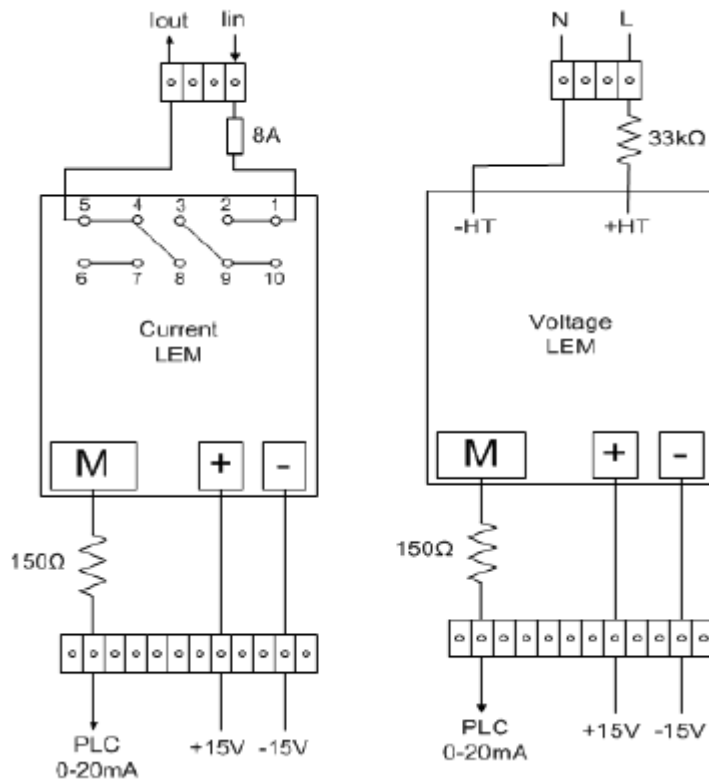
- Γενικός Πίνακας εργαστηρίου ΣΗΕ



Εικόνα Γ.2: Ηλεκτρολογικό σχέδιο Γενικού Πίνακα εργαστηρίου ΣΗΕ

Παράρτημα Γ ■ Στοιχεία ηλεκτρικής εγκατάστασης

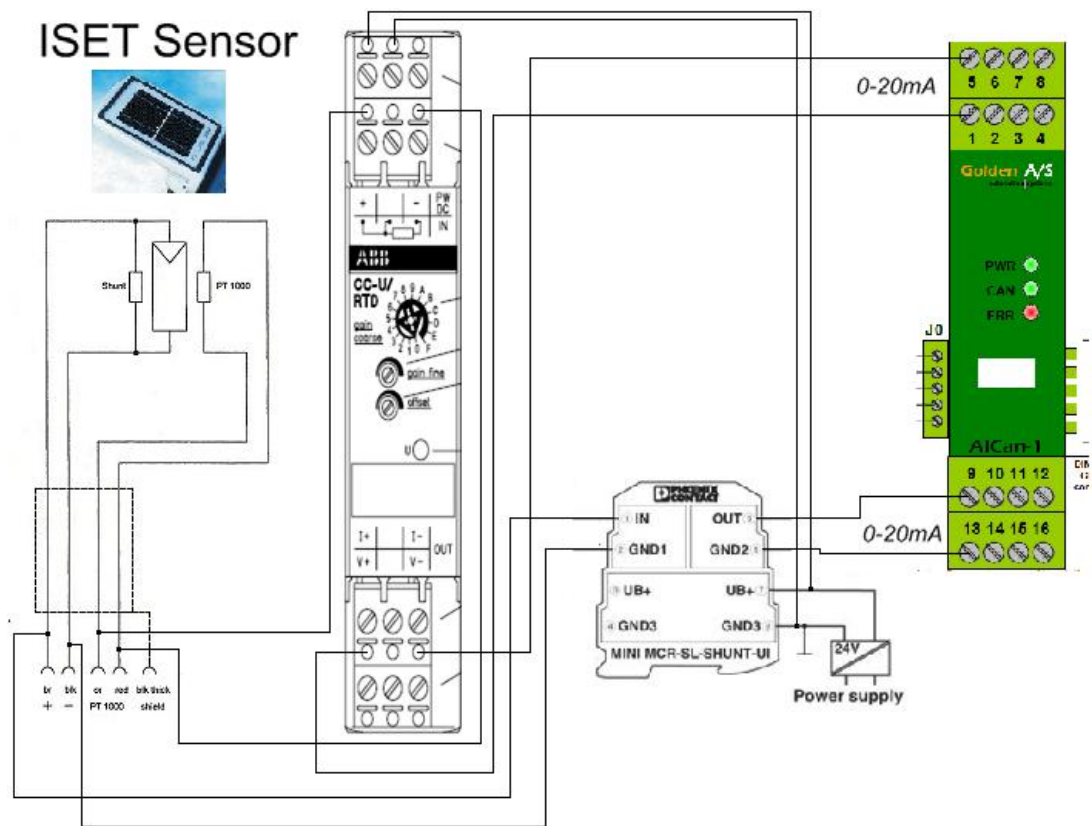
- LEM τάσης και ρεύματος



Εικόνα Γ.3: Ηλεκτρολογικό σχέδιο LEM ρεύματος (αριστερά) και τάσης (δεξιά)

Παράρτημα Γ ■ Στοιχεία ηλεκτρικής εγκατάστασης

➤ Αισθητήρας Ακτινοβολίας



Εικόνα Γ.4: Σχέδιο εγκατάστασης αισθητήρα ακτινοβολίας

Παράρτημα Δ

Το πρότυπο IEC 61850-7-420

Όταν περιγράφηκαν τα πρότυπα στο Κεφάλαιο 4 είπαμε δυο λόγια για να περιγράψουμε τα Logical Nodes αλλά και ποιά Logical Nodes ορίζει το πρότυπο ότι πρέπει να έχει κάθε Logical system. Για να γίνει πιο κατανοητό τη σημαίνει όλο αυτό παραθέτουμε σε αυτό το παράρτημα το τμήμα του προτύπου που ορίζει τα Logical Nodes που πρέπει να έχει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

6.3 Logical Nodes for Photovoltaic System (PV) Logical Device

6.3.1 Photovoltaic System Description (Informative)

A photovoltaic power system, commonly referred to as a PV system, directly converts solar energy into electricity. This process does not use heat to generate electricity and therefore no turbine or generator is involved. In fact, a PV module has no moving part.

PV systems are modular – the building blocks (modules) come in a wide range of power capabilities. These modules can be connected in various configurations to build power systems capable of providing several megawatts of power. However, most installed PV systems are much smaller.

The basic unit of photovoltaic conversion is a semiconductor device called the PV cell. A PV module is the smallest complete environmentally protected assembly of interconnected cells. These modules are themselves assembled to form a PV array. Basically, the PV array is considered to be a DC power supply unit. Modules can be connected in series (PV string), in parallel, or in a combination of series-parallel. In a large system, PV arrays are often divided into sub-arrays.

PV power systems can be standalone (not connected to the power system), hybrid (combined with another energy source), or interconnected (connected with the power system). The photovoltaic system covered by this standard is interconnected with the power system. Therefore, there is no obligation to provide additional energy storage (e.g. battery system), although this may be included.

Since the power system requires AC power for interconnected generation, a power conditioning unit (PCU) or inverter is required to transform the DC output of the PV array into AC. Inverters used in PV system have the added task of adjusting the current and voltage levels (DC) to maximize efficiency during changing solar irradiance and temperature condition. The optimal combination for a PV module is defined by a point called *maximum power point* (MPP) on the I-V curve. The temperature of the module is another important element that affects the power output.

Εικόνα Δ.1: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (1/7)

Παράρτημα Δ ■ Το πρότυπο IEC 61850-7-420

Figure 6-6 illustrates a small interconnected PV system using multiple inverters. In this example, the PV arrays are composed of two modules.

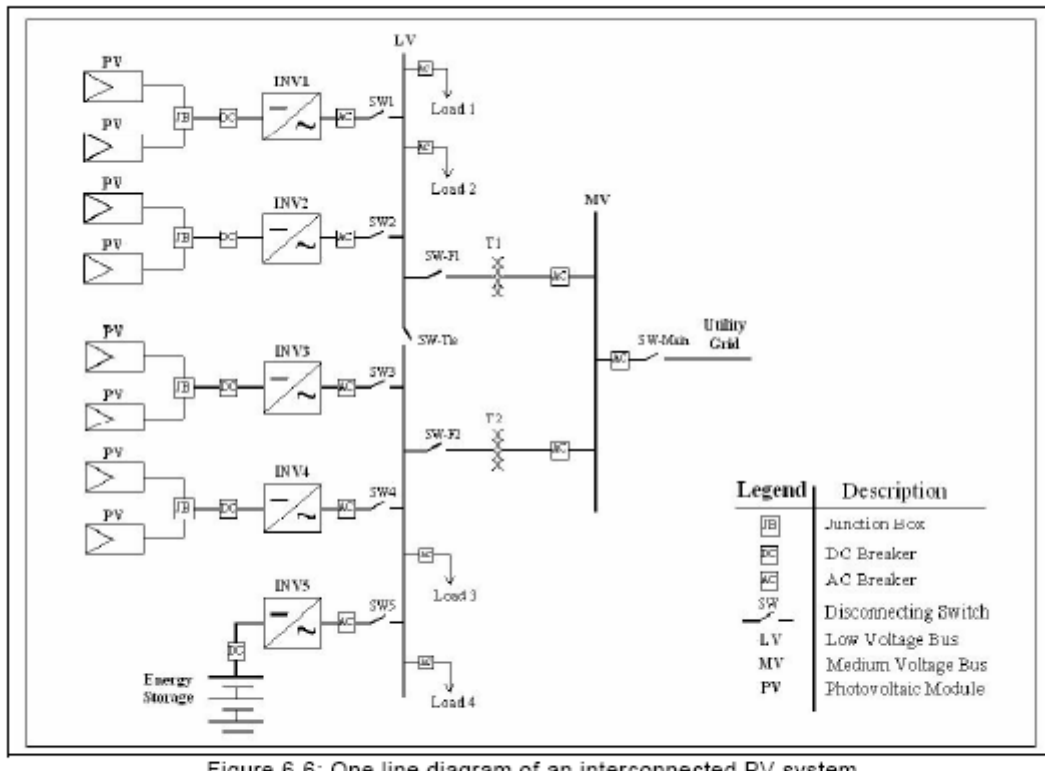


Figure 6-6: One line diagram of an interconnected PV system

A larger and more complex PV array can be used in a larger system. Figure 6-7 gives an illustration of such a PV system.

Εικόνα Δ.2: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (2/7)

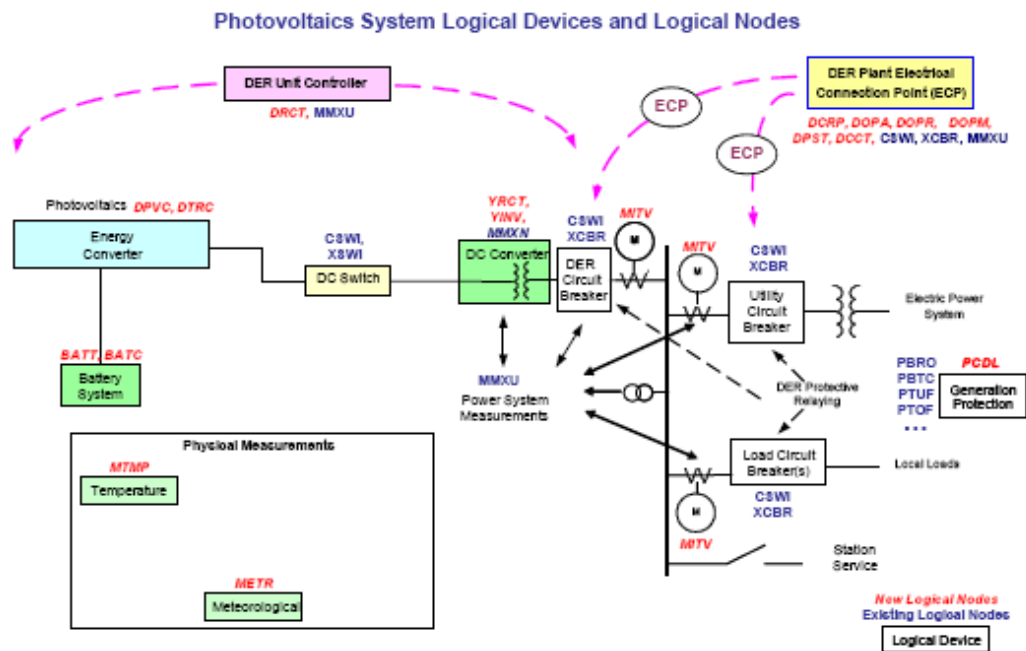


Figure 6-8: LNs Associated with a Photovoltaics System

Building a logical device to automate the operation of a PV system would require these functions:

- **Switchgear operation:** functions for the control and monitoring of breakers and disconnect devices. This is already covered in 61850-7-4 (XCBR, XSWI, CSWI...).
- **Protection:** functions required to protect the electrical equipment and personnel in case of a malfunction. Already covered in 61850-7-4 (PTOC, PTOV, PTTR...).
- **Measuring and metering:** functions required to obtain electrical measurements like voltage and current. AC measurements are already covered in 61850-7-4 (MMXU). DC measurements are covered as MMXN.
- **DC to AC conversion:** functions for the control and monitoring of the inverter. Covered in this standard (YINV).
- **Array operation:** functions to maximize the power output of the array. These include adjustment of current and voltage level to obtain the MPP and also the operation of a tracking system to follow the sun movement. Specific to PV and covered in this standard.
- **Cooling:** functions to control the temperature of the PV arrays. Covered in this standard (MTMP).
- **Islanding:** functions required to synchronize the PV system to the power system. Covered in this standard (DRCT, DROP). RSYN covered in IEC 61850-7-4
- **Energy storage:** functions required to store excess energy produced by the system. Energy storage in a PV system is usually done with batteries. Covered in this standard (BATT, BATC).
- **Environment monitoring:** functions required to obtain environmental measurement like solar irradiation and ambient temperature. Covered in this standard (METR).

Εικόνα Δ.3: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (3/7)

Παράρτημα Δ ■ Το πρότυπο IEC 61850-7-420

The photovoltaics system logical device could include the following logical nodes:

- **DPVE:** PV Array engineering. Able to maximize the power output of the array. One instance of the logical node per array (or sub-array) in the PV system.
- **DPVC:** PV Array controller. Able to maximize the power output of the array. One instance of the logical node per array (or sub-array) in the PV system.
- **DTRC:** Tracking controller. Able to follow the sun movement. One instance of the logical node per PV system.
- **CSWI:** Switch between the PV system and the inverter (see IEC 61850-7-4)
- **YINV:** Inverter (see Clause 5.6.3)
- **MMXN:** Measurement of intermediate DC (see IEC 61850-7-4)
- **DRCT:** DER general controller characteristics (see Clause 5.3.2)
- **MMXU:** Electrical measurements (see IEC 61850-7-4)
- **MITV:** Metering information (see Clause 7.1.2)
- **BATT:** Battery if needed for energy storage (see Clause 7.3.2)
- **BATC:** Battery charger if needed for energy storage (see Clause 7.3.3)
- **MTMP:** Temperature characteristics (see Clause 7.4.2)
- **METR:** Meteorological measurements (see Clause 7.4.8)

6.3.3 LN: Photovoltaics Array Characteristics Name: DPVE

The photovoltaics array characteristics covered in the DPVE logical node describe the type and configuration of the PV array. For PV arrays without active tracking, the tilt of the array is a setting in this LN.

Table 6-5: Photovoltaic Array Characteristics, LN (DPVE)

DPVE Class			
Attribute Name	CDC	Explanation	M/O
LNNName		Shall be inherited from Logical-Node Class (see IEC 61850-7-2)	
Data			
<i>Common Logical Node Information</i>			
		LN shall inherit all Mandatory Data from Common Logical Node Class	
Loc	SPS	Local operation	O
EEHealth	INS	External equipment health	M
EENName	DPL	External equipment name plate	M
OpTmh	INS	Operation time	O
<i>Status Information</i>			
FuseSt	INS	Fuse status	O
ArrStow	INS	Array in stowed position	O
AVCrvSt	CSD	Active characteristic of AV curve	O
<i>Settings</i>			

Εικόνα Δ.4: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (4/7)

Παράρτημα Δ ■ Το πρότυπο IEC 61850-7-420

DPVE Class			
Attribute Name	CDC	Explanation	M/O
DERId	MRID	Master Resource Id of DER device	M
PvRtg	ASG	Ratings of the photovoltaic system: W-seconds	O
PvArrArea	ASG	Array area: meters ²	O
PvArrWRtg	ASG	Array power rating: W (W peak – W p)	O
PvArrTilt	MV	Array tilt: Degrees from horizontal	O
PvArrAziShade	ARY	Array of obstruction elevations vs azimuth: TBD	O
PvMat	ING	PV module material: <ul style="list-style-type: none"> • Silicon • Cadmium Telluride • Copper Indium Diselenide 	O
PvTyp	ING	PV module type: <ul style="list-style-type: none"> • Single crystal • Amorphous • Other.... 	O
PvCfgTyp	ING	PV module configuration type: <ul style="list-style-type: none"> • Flat plate • Concentrating 	O
MdulSerCnt	ING	Number of modules per series string	O
MdulParCnt	ING	Number of parallel strings of modules	O
AVCrv	CURVE	Amp-Volt curve	O
MdulWRtg	ASG	Module rated power: W peak; W	O
MaxMdulV	ASG	Module voltage at max power	O
MaxMdulA	ASG	Module current at max power	O
MdulOpnCircV	ASG	Module open circuit voltage	O
MdulSrtCircA	ASG	Module short circuit current	O
MdulTmpDerate	ASG	Module temperature/power derate: %/DegC above 25C	O
MdulFuseRtg	ASG	Module series fuse rating	O

6.3.4 LN: Photovoltaics Array Controller Name: DPVC

The photovoltaics array controller covered in the DPVC logical node reflects the information required for remote monitoring of critical photovoltaic functions and states.

Εικόνα Δ.5: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (5/7)

Παράρτημα Δ ■ Το πρότυπο IEC 61850-7-420

Table 6-6: Photovoltaic Array Controller, LN (DPVC)

DPVC Class				
Attribute Name	CDC	Explanation	M/O	
LNNName		Shall be inherited from Logical-Node Class (see IEC 61850-7-2)		
Data				
<i>Common Logical Node Information</i>				
		LN shall inherit all Mandatory Data from Common Logical Node Class		
Loc	SPS	Local operation	O	
EEHealth	INS	External equipment health	M	
EENName	DPL	External equipment name plate	M	
OpTmh	INS	Operation time	O	
<i>Status Information</i>				
FuseSt	INS	Fuse status	O	
<i>Controls</i>				
ArrModCtr	INC	Mode selected to control the power output of the array.	O	
		Array Operating Mode		Value
		Series controller		1
		Shunt controller		2
		Maximum power point tracking (MPPT)		3
Automatic	4			
<i>Settings</i>				
DERId	MRID	Master Resource Id of DER device	M	
MdulFuseRtg	ASG	Module series fuse rating	O	

6.3.5 LN: Tracking Controller Name: DTRC

The tracking controller provides overall information on the tracking system to external users. This LN can still be used for defining array orientations even if no active tracking is included.

Table 6-7: Tracking Controller, LN (DTRC)

DTRC Class			
Attribute Name	CDC	Explanation	M/O
LNNName		Shall be inherited from Logical-Node Class (see IEC 61850-7-2)	
Data			
<i>Common Logical Node Information</i>			
		LN shall inherit all Mandatory Data from Common Logical Node Class	M
Loc	INS	Local operation	O
EEHealth	INS	External equipment health	M
EENName	DPL	External equipment nameplate	M

Εικόνα Δ.6: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (6/7)

Παράρτημα Δ ■ Το πρότυπο IEC 61850-7-420

DTRC Class			
Attribute Name	CDC	Explanation	M/O
OpTmh	INS	Operation time	O
<i>Status Information</i>			
TrackAlm	SPS	Tracking alarm	O
<i>Measured Values</i>			
PvArrAziDegVal	MV	Array azimuth degrees from true north	O
PvArrEIDegVal	MV	Array elevation degrees from horizontal	O
<i>Controls</i>			
TrackStow	INC	Go to stow position	O
<i>Settings</i>			
DERId	MRID	Master Resource Id of DER device	M
TrackTyp	ING	Tracking type (single axis or two axis)	M
PvArrAziDeg	ING	Array azimuth degrees from true north	O
PvArrEIDeg	ING	Array azimuth elevation from horizontal	O
StowArrAziDeg	ING	Stow array azimuth degrees from true north	O
StowArrEIDeg	ING	Stow array azimuth elevation from horizontal	O

Εικόνα Δ.7: Το πρότυπο για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (7/7)

Βιβλιογραφία

1. **J.A Duffie and W.A Beckmann.** Solar Engineering of Thermal Processes 3rd Edition. USA : John Wiley & Sons Inc., 2006.
2. **P. Romanos .** Thermal Model Predictive Control for Demand Side Management Cooling Strategies. Germany : Kassel University Press, 2008.
3. **IEC.** IEC 61850-7-4 International Standard. Communication networks and systems in substations - Part 7-4 : Basic communication structure for substation and feeder equipment – Compatible logical node classes and data classes, 2003.
4. **IEC.** IEC 61850-7-4 International Standard. Communication networks and systems in substations - Part 7-420 : Communications systems for distributed energy resources (DER) - Logical nodes, 2006.
5. **Jurgen Schmid.** Renewable Energies and Energy Efficiency. Germany : Kassel University.
6. **James F. Manwell and Jon G. McGowan.** Lead Acid Battery Storage Model For Hybrid Energy Systems. USA : Pergamon Press Ltd. 1993.
7. **National Instruments.** LabVIEW Basics I: Introduction Course Manual. USA: National Instruments, 2003.
8. **National Instruments.** LabVIEW Basics II: Development Course Manual. USA: National Instruments, 2007.
9. **M.J Moran and Shapiro.** Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th Edition. USA: John Wiley & Sons Inc., 2006.
10. **Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.** Photovoltaic Systems Technology. Kassel University, 2003.
11. **Ντοκόπουλος Πέτρος.** Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών. Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2005.
12. **The ABB Group.** [Ηλεκτρονικό] www.abb.com.
13. **ISET.** [Ηλεκτρονικό] www.iset.uni-kassel.de.
14. **CAN in Automation (CiA).** [Ηλεκτρονικό] www.can-cia.org.
15. **The Modbus Organization.** [Ηλεκτρονικό] www.modbus.org.
16. **3S Software.** [Ηλεκτρονικό] www.3s-software.com.
17. **Golden A/S.** [Ηλεκτρονικό] www.gma.gr