



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

**Μοντελοποίηση μικροδικτύου χαμηλής τάσης με χρήση του προτύπου
IEC-61850**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νατάσα Γ. Αλεξανδρή

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ. Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015



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

**Μοντελοποίηση μικροδικτύου χαμηλής τάσης με χρήση του
Προτύπου IEC-61850**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νατάσα Γ. Αλεξανδρή

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 23^η Μαρτίου 2015.

.....

Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου

.....

Σταύρος Παπαθανασίου

.....

Πάυλος Γεωργιλάκης

Αθήνα, Μάρτιος 2015

.....
Νατάσα Γ. Αλεξανδρή, 2015

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

Copyright © Νατάσα Αλεξανδρή, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

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

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

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Ν. Χατζηαργυρίου για την δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα εργασία και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την εκπόνηση της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργη Μεσσήνη για την καθοδήγηση και την βοήθεια του, όπως επίσης και για τις πολύτιμες υποδείξεις και συμβουλές του.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την στήριξη που μου πρόσφεραν κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται το πρότυπο IEC 61850 και γίνεται χρήση του μοντέλου δεδομένων του για τη μοντελοποίηση των στοιχείων του μικροδικτύου του εργαστηρίου ΣΗΕ. Σε πρώτη φάση αναλύεται ο ρόλος και η δομή των «έξυπνων» δικτύων, όπως επίσης και οι τεχνολογίες επικοινωνιών που εφαρμόζονται σε αυτά. Στο σημείο αυτό τονίζεται η ανάγκη για προτυποποίηση της πληροφορίας και των επικοινωνιών. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή του προτύπου, δίνοντας έμφαση στο μοντέλο δεδομένων που αναφέρεται στο IEC 61850- 7. Ακολουθούν βιβλιογραφικές εφαρμογές που βασίζονται στο IEC 61850. Επιπλέον, σε αυτό το σημείο, γίνεται η μοντελοποίηση κατά IEC 61850 του μικροδικτύου, το οποίο περιλαμβάνει ένα σύστημα φωτοβολταϊκών με έναν αντιστροφέα και ένα σύστημα μπαταριών με έναν αντιστροφέα. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται υλοποίηση του μοντέλου δεδομένων με το EclipseModelingFramework (EMF), και παρουσιάζονται τα διαγράμματα των κλάσεων σε μορφή UML. Το κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει περιγραφή συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων, όπως επίσης και εφαρμογές, που είναι υλοποιημένες σε Java/Jade, και σκοπό έχουν να αναδείξουν την σημασία προτυποποίησης της πληροφορίας. Ολοκληρώνοντας, αναφέρονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις κλειδιά

Μικροδίκτυα, έξυπνα δίκτυα διεσπαρμένη παραγωγή, IEC 61850, πληροφοριακό μοντέλο .

Abstract

The following thesis examines the IEC 61850 standard and uses it in order to describe the elements of a low voltage laboratory's microgrid. In the first chapter, the role and structure of smart grids is being analyzed, pointing out the communication technologies applied. At this point, the thesis emphasizes in the need for standardized information models and communications. In the second chapter the IEC 61850 is presented, focusing on the data model part. Afterwards, various microgrid applications based on IEC 61850 are reported. This chapter also includes the full process of modeling microgrid elements, such as a PV system, a battery system and two inverters respectively. The fourth chapter includes the data model development using Eclipse Modeling Framework, as well as a presentation of the class diagrams (UML). The last chapter describes multi agent systems and applications developed in Java/Jade, in order to bring out the importance of information standardization. Finally, conclusions are presented and future work is recommended.

Keywords

Micro grids, smart grids, distributed generation, information models, IEC 61850

Περιεχόμενα

Εικόνες	4
Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή.....	6
1.1 Smartgrids-Έξυπνα δίκτυα	6
1.1.1 Δομή Σύγχρονου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας	7
1.2 Επικοινωνίες στα έξυπνα δίκτυα	13
1.3 Τεχνολογίες και Πρότυπα επικοινωνιών	15
1.3.1 Ενσύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνιών.....	16
1.3.2 Ασύρματες Τεχνολογίες	18
1.4 Ανάγκη του IEC-61850	22
Κεφάλαιο 2:Το πρότυπο IEC-61850	24
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	24
2.2 Περιεχόμενα του IEC-61850.....	24
2.3 Στόχοι του IEC-61850	26
2.4 IEC-61850-7.2/ AbstractCommunication Service Interface (ACSI).....	29
2.5 Ορισμοί δεδομένων	34
2.6 IEC-61850-7.3 Βασική επικοινωνιακή Δομή-CommonDataClasses	45
2.7 IEC-61850-7.4 : Βασική επικοινωνιακή δομή-Λογικοί Κόμβοι.....	50
2.8 IEC-61850-7.4.20 Λογικοί Κόμβοι Στοιχείων Διεσπαρμένης Παραγωγής	52
2.9 Ο ρόλος των αρχείων XML στο IEC-61850(IEC-61850-6).....	57
2.9.1 Η γλώσσα XML.....	57
2.9.3 Substation Configuration Language (SCL)	58
2.10 Επικοινωνιακά πρωτόκολλα του IEC-61850	60
2.10.1 Το πρωτόκολλο MMS	63
2.10.2 Υπηρεσίες GOOSE.....	65
2.10.3 Sampled Values	67
2.10.4 GSSE- Generic Substation State Events.....	68
2.10.5 TimeSync.....	68
2.10.6 Μελλοντική αντιστοίχιση στο BACnet	69
Κεφάλαιο 3: Εφαρμογή του IEC-61850.....	70
3.1 Βιβλιογραφικές Εφαρμογές Μοντελοποίησης κατά IEC-61850.....	70
3.1.1 Μοντελοποίηση Κτιρίου UCLA SMERC	70
3.1.2 Μοντελοποίηση στοιχείων μικροδικτύου χαμηλής τάσης.	76

3.2 Περιγραφή στοιχείων του μικροδικτύου του εργαστηρίου	86
3.2.1 SunnyIsland	86
3.2.2 SunnyBoy	91
3.2.3 Μπαταρίες	92
3.2.4 Γραμμή Χαμηλής Τάσης	92
3.2.5 Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες.....	92
3.3 Μοντελοποίηση στοιχείων	93
3.3.1 Λογικοί Κόμβοι	94
3.3.2 Περιγραφή Λογικών Κόμβων.....	95
Κεφάλαιο 4: Το μοντέλο πληροφορίας του IEC-61850.....	98
4.1 Εισαγωγή.....	98
4.2 Το μοντέλο δεδομένων.....	99
4.3 Meta-metamodel.....	100
4.4 Metamodel.....	101
4.5 DomainTypeModel	103
4.5.1 LogicalNodes –CDC	104
4.5.2 FCDataTypes.....	106
4.5.3 DataTypes	107
4.6 Πλεονεκτήματα μοντέλου δεδομένων – Μελλοντική Έρευνα.....	108
Κεφάλαιο 5: Εφαρμογές.....	111
5.1 Εισαγωγή.....	111
5.2 Προφίλ τάσης συμβατικών Δικτύων Διανομής.....	111
5.3 Αύξηση τάσης σε δίκτυο διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή.....	113
5.4 Οριακές Περιπτώσεις Λειτουργίας Δικτύου Διανομής με Μονάδα Διεσπαρμένης Παραγωγής.....	115
5.5 Επιλογή επιπέδου τάσης για τη σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.....	117
5.6 Αντιμετώπιση της αύξησης της τάσης	117
5.6.1 Μείωση της αντίστασης	117
5.6.2 Κατανάλωση έργου ισχύος.....	118
5.6.3 Συντονισμένος έλεγχος για ρύθμιση τάσης.....	118
5.6.4 Μείωση της παραγωγής.....	119
5.7 Multi-Agent Συστήματα.....	121
5.8 Εφαρμογές με multi-agent συστήματα.....	124

5.9 Πρότυπα και λειτουργικότητα στους agents	124
5.10 Εργαλεία ανάπτυξης agent	125
5.11 Περιγραφή εφαρμογών.....	126
5.11.1 Οι μπαταρίες απορροφούν σταθερά μέρος της φωτοβολταϊκής παραγωγής (Εφαρμογή 1).....	127
5.11.2 Οι μπαταρίες φορτίζονται όταν η φωτοβολταϊκή παραγωγή ξεπερνά το 80 % της ονομαστικής της τιμής (Εφαρμογή 2)	132
5.11.3 Υπολογισμός απαιτούμενης ενεργού ισχύος για διόρθωση της αυξημένης τάσης σε τοπικό επίπεδο (Εφαρμογή 3).....	134
5.11.4:Υλοποίηση προγράμματος ενεργού ισχύος.....	140
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Μελλοντική εργασία.....	144
6.1 Συμπεράσματα.....	144
6.2 Προτάσεις-Μελλοντική εργασία	146
Βιβλιογραφία.....	149

Εικόνες

Εικόνα 1:Συστήματα Scada.....	9
Εικόνα2: Μοντέλοέξυπνουδικτύου.....	11
Εικόνα3:Unicast-Broadcast-Multicast routing.....	21
Εικόνα 4: Μοντέλο υποσταθμού κατά IEC-61850.....	28
Εικόνα 5: Διάγραμμα κλάσεων μοντέλου δεδομένων.....	31
Εικόνα 6:Οι κλάσεις ACSI μαζί με τις υπηρεσίες τους.....	33
Εικόνα 7:Ορισμός κλάσης DataAttributeType-DAType.....	34
Εικόνα8:Βασικοί τύποι δεδομένων (BasicTypes).....	35
Εικόνα 9:Ορισμός της DATA-class.....	36
Εικόνα 10:Παράδειγμα δομής του λογικού κόμβου MMXU για τη μέτρηση φασικής τάσης.....	37
Εικόνα 11:Σχέσεις κλάσεων λογικών κόμβων.....	38
Εικόνα12:Ορισμός της GenServerClass.....	38
Εικόνα 13:Υπηρεσία GetServerDirectory.....	39
Εικόνα14:Ορισμός της GenLogicalNodeClass.....	40
Εικόνα 15:Ορισμός της GenDataObjectClass.....	41
Εικόνα 16:Υπηρεσίες της κλάσης GenDataObjectClass.....	41
Εικόνα17:Ορισμός της GenCommonDataClass.....	42
Εικόνα 18:Ορισμός της GenDataAttributeClass.....	43
Εικόνα 19:Αναδρομικός ορισμός του Type.....	43
Εικόνα20:Ορισμός της GenConstructedAttributeClass.....	44
Εικόνα21: Ορισμός της GenSubDataAttributeClass.....	44
Εικόνα 22: Ορισμός της κλάσης Quality.....	46
Εικόνα 23:Ορισμός της κλάσης AnalogueValue.....	46
Εικόνα 24:Πληροφορίες των StatusInformation κλάσεων.....	47
Εικόνα 25:Πληροφορίες των MeasurandInformation κλάσεων.....	48
Εικόνα 26:Ορισμός της CDC WYE.....	48
Εικόνα 27:Ορισμός της κλάσης CMV.....	49
Εικόνα 28:Ορισμός της κλάσης Vector.....	50
Εικόνα29:Κατηγορίες Λογικών κόμβων.....	51
Εικόνα 30:Ο λογικός κόμβος MMTR.....	52
Εικόνα 31:Μοντέλο ελεγκτή που περιέχει μία λογική συσκευή , μαζί ειδικές πληροφορίες για τις φυσικές συσκευές.....	53
Εικόνα 32:Λογικοί Κόμβοι για το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο-ECP.....	54
Εικόνα 33:Λειτουργίες ενός inverter προς μοντελοποίηση.....	55
Εικόνα 34:Μοντελοποίηση μικροδικτύου φωτοβολταϊκής παραγωγής.....	56
Εικόνα35:Εφαρμογή της SCL.....	59
Εικόνα36:Δημιουργία κώδικα C από XML σχήμα.....	60
Εικόνα 37:Πρωτόκολλα επικοινωνίας του IEC-61850.....	62
Εικόνα 38:Αντιστοίχιση της υπηρεσίας GetDataValues στο MMS.....	63
Εικόνα 39:Υπηρεσίες και πρωτόκολλα για client-server επικοινωνίες A-profile.....	64
Εικόνα40: TCP/IP T-profile.....	65
Εικόνα41:GOOSE Communication A-Profile.....	66
Εικόνα42:GOOSE T-Profile.....	66

Εικόνα43:Μοντέλο peer –to-peer μετάδοσης μηνυμάτων GOOSE και Sampled Values.....	67
Εικόνα44:: SMV mapped to serial unidirectional multidrop point to point link.....	68
Εικόνα 45:Μοντελοποίηση φυσικής συσκευής με βάση το IEC-61850.	70
Εικόνα 46:Σύστημα προς μοντελοποίηση.....	71
Εικόνα 47:24-ωρη καμπύλη παραγωγής φωτοβολταϊκών.....	72
Εικόνα 48: 24-ωρη καμπύλη φορτίου.	72
Εικόνα 49:Επίπεδα συστήματος.....	73
Εικόνα 50:Επικοινωνιακή Υποδομή του Συστήματος.....	74
Εικόνα 51:Λογικοί Κόμβοι για το Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	75
Εικόνα 52:Λογικοί Κόμβοι για το Σύστημα Μπαταριών.....	75
Εικόνα 53:SCL αρχείο για τη λογική συσκευή των φωτοβολταϊκών.....	76
Εικόνα 54:SCL αρχείο για τη λογική συσκευή των μπαταριών.....	76
Εικόνα 55:Τοπολογία μικροδικτύου χαμηλής τάσης.....	77
Εικόνα 56:Υπηρεσία GetDataValues.....	81
Εικόνα 57:Υπηρεσία GetAllDataValues.....	81
Εικόνα58:Υπηρεσία GetDataSetValues.....	82
Εικόνα 59:Εφαρμογή υπηρεσίας GetDataSetValues.....	83
Εικόνα 60:Ορισμός λογικού κόμβου DSCH.....	84
Εικόνα 61:Υπηρεσία Operate.....	85
Εικόνα 62:Μονοφασικό Μικροδίκτυο Χαμηλής Τάσης.....	86
Εικόνα 63:Γραμμή μεταφοράς Z.....	87
Εικόνα 64:Καμπύλες Droop.....	88
Εικόνα 65:Καμπύλη Droop για έλεγχο ενεργού ισχύος του SunnyIsland.....	88
Εικόνα 66:Αύξηση της ισχύος εξόδου με αύξηση της συχνότητας droop.....	89
Εικόνα 67:Επικοινωνία και σύνδεση SunnyIsland.....	91
Εικόνα 68:Ο αντιστροφέας SunnyBoy 1100.....	91
Εικόνα 69: Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες εργαστηρίου.....	93
Εικόνα 70:Μοντελοποίηση μικροδικτύου κατά IEC-61850.....	94
Εικόνα 71:Το meta-meta μοντέλο.....	101
Εικόνα 72:Το Μέτα-μοντέλο δεδομένων.....	103
Εικόνα 73:Μοντέλο λογικού κόμβου XCBR.....	104
Εικόνα74:Περιγραφής Common Data Class SPS.....	106
Εικόνα 75:Παραδείγματα DataAttributes.....	108
Εικόνα 76:Σύστημα Διανομής με 2 ζυγούς.....	112
Εικόνα 77:Δίκτυο Διανομής με συνδεδεμένη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής.....	114
Εικόνα 78:Μετακίνηση φορτίων.....	120
Εικόνα 79:FIPAAgentModel.....	125
Εικόνα 80:Μικροδίκτυο Εργαστηρίου.....	126
Εικόνα 81:Μοντέλο λειτουργίας agent.....	128
Εικόνα 82: Ισχύς μικροδικτύου και ισχύς συμβολαίου.....	142
Εικόνα 83:Παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών και ισχύς μπαταρίας.....	143

Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή

1.1 Smartgrids-Έξυπνα δίκτυα

Ο όρος έξυπνο δίκτυο συχνά αναφέρεται σε μοντέρνα ηλεκτρικά συστήματα στα οποία περιλαμβάνονται παραγωγή, κατανάλωση και διανομή , και μπορούν να θεωρηθούν σαν μία ανεξάρτητη μονάδα. Για να επιτευχθεί αυτό, βασικά χαρακτηριστικά ενός ευφυούς δικτύου είναι (1) η επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων του και (2) ο αυτόνομος και αποκεντρωμένος έλεγχος. Τα υπάρχοντα ηλεκτρικά δίκτυα είναι μεγάλα, μονής κατεύθυνσης-συγκεντρωμένα συστήματα στα οποία η ηλεκτρική ισχύς μεταφέρεται από απομακρυσμένους σταθμούς παραγωγής, και διανέμεται στους καταναλωτές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά φορτίου. μέσω ακτινικών δικτύων διανομής. Ωστόσο , η τεχνολογική εξέλιξη και περιβαλλοντικά και οικονομικά ζητήματα , έχουν θέσει νέες απαιτήσεις για την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των δικτύων, καθιστώντας τα υπάρχοντα ξεπερασμένα. Παρόλο που μπορεί κανείς να αντιμετωπίσει το θέμα των έξυπνων δικτύων από πολλές οπτικές υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που θεωρούνται πρωταρχικής σημασίας , όπως:

- ❖ Η εγκατάσταση και η αποτελεσματική χρήση διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής , συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- ❖ Η χρήση ψηφιακής πληροφορίας για τον έλεγχο , την προστασία και τη βελτιστοποίηση λειτουργίας του δικτύου.
- ❖ Η συμμετοχή των καταναλωτών σε συστήματα διαχείρισης ενέργειας, επιτρέποντας λειτουργίες απόκρισης ζήτησης (demand-response).
- ❖ Η χρήση «ευφών» μετρητικών συστημάτων, για την απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο (realtime) της κατάστασης και λειτουργίας του δικτύου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι αναγκαία η ανάπτυξη «έξυπνων συσκευών» (αισθητήρες, ευφυή μετρητικά συστήματα, ενσωματωμένα συστήματα κλπ) τα οποία θα συλλέγουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των στοιχείων του δικτύου. Αυτός ο μεγάλος όγκος της ετερογενούς πληροφορίας θα πρέπει με ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο να μεταφέρεται στα διάφορα διανεμημένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Τα συστήματα αυτά είναι υπεύθυνα για την επεξεργασία της ληφθείσας πληροφορίας , για τον εντοπισμό ή πρόβλεψη πιθανών σφαλμάτων και για τον έλεγχο με στόχο τη βελτιστοποίηση λειτουργίας του συστήματος.

Για να γίνουν εφικτά τα παραπάνω θεωρούμε ότι σύστημα επικοινωνίας ενός έξυπνου δικτύου αποτελείται από δύο υποσυστήματα: 1) Υποδομή επικοινωνίας (communicationinfrastructure) και 2) Ενδιάμεση πλατφόρμα (middlewareplatform).

Η κυρίως υποδομή επικοινωνίας θα περιλαμβάνει δίκτυα και πρωτόκολλα τα οποία θα επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών του δικτύου καθώς και την αποστολή

πληροφοριών και εντολών εντός του δικτύου. Βασικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος είναι η επεκτασιμότητα , η αξιοπιστία , η ταχύτητα και η ασφάλεια.

Η ενδιάμεση πλατφόρμα αποτελείται από ένα λογισμικό το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στο επίπεδο επικοινωνίας και στην εκάστοτε εφαρμογή , παρέχοντας αναγκαίες υπηρεσίες(services) για την δημιουργία ενός διανεμημένου συστήματος. Συγκεκριμένα , το λογισμικό αυτό υπάρχει σε κάθε «έξυπνη» συσκευή του δικτύου για να παρέχει 1)υπηρεσίες διαχείρισης πληροφορίας (datamanagementservices) (αποθήκευση, διαμοιρασμός, επεξεργασία κλπ) 2) Προφίλ επικοινωνίας για διανεμημένες εφαρμογές 3) Δυνατότητες αυτόνομης διαχείρισης.

Επιπλέον , βάσει όλων των παραπάνω , προκύπτει ότι ένα σημαντικό ζήτημα, είναι το θέμα της ασφάλειας σε επίπεδο πληροφορίας, συσκευών αλλά και επικοινωνίας ,έτσι ώστε να υπάρχει ακεραιότητα και αυθεντικότητα των δεδομένων, ενώ παράλληλα να διασφαλίζεται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρακάτω θα γίνει αναφορά στο σύστημα επικοινωνίας ενός «ευφυούς» δικτύου, και στα επιμέρους στοιχεία που το απαρτίζουν , με έμφαση στις τεχνολογίες επικοινωνίας, τα πρωτόκολλα, τα συστήματα διαχείρισης δεδομένων , τις λειτουργίες ελέγχου και τους μηχανισμούς ασφαλείας.

1.1.1 Δομή Σύγχρονου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ο βασικός σκοπός ηλεκτρικού δικτύου είναι να μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές ,οι οποίοι είναι τα τερματικά σημεία του δικτύου διανομής. Από το τέλος του 19^{ου} αιώνα , είναι δυνατή η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις , μέσω υψηλής εναλλασσόμενης τάσης (Για την Ελλάδα 150kV).Με την ταχεία εκβιομηχάνιση και αστικοποίηση, δημιουργήθηκε η ανάγκη για μεγάλες υποδομές , οι οποίες είναι σχεδόν αμετάβλητες μέχρι και σήμερα: Τα δίκτυα αποτελούνται από τρία βασικά συστατικά: 1) Παραγωγή 2) Μεταφορά 3) Διανομή. Σε ένα παραδοσιακό ΣΗΕ , το μέρος της παραγωγής περιλαμβάνει μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μορφές (λιγνίτη, πετρέλαιο, πυρηνική ενέργεια κλπ). Στη συνέχεια, μέσω του δικτύου μεταφοράς , η παραγόμενη ενέργεια μεταφέρεται από τα εργοστάσια παραγωγής σε διάφορους υποσταθμούς , όπου γίνεται ο υποβιβασμός της τάσης μέσω μετασχηματιστών, για να ακολουθήσει το δίκτυο διανομής (Για την Ελλάδα 20, 15, 6,6 kV), που θα μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές σε χαμηλή τάση πλέον (400/230V). Οι υποσταθμοί επιτελούν επιπλέον λειτουργίες προστασίας και έλεγχου της ισχύος.

Πρέπει να τονιστεί ότι ένα ΣΗΕ είναι κατασκευασμένο με τρόπο όπου η παραγωγή να είναι πάντα σε συμφωνία με τη ζήτηση και αυτό συνεπάγεται ότι οποιαδήποτε μεταβολή στην ζήτηση ενέργειας ,ακολουθείται από ίση μεταβολή στην παραγωγή. Έτσι, για να διαχειριστούν απροσδόκητες αιχμές φορτίου , είναι τοποθετημένες ειδικές έκτατες

γεννήτριες , με μικρό χρόνο εκκίνησης . Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι ακόμα και σήμερα αρκετά ακριβά, για αυτό δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη κλίμακα, για να μετριάσουν τις απότομες αλλαγές φορτίου. Ακόμα, επειδή τα ΣΗΕ είναι αρκετά περίπλοκα διασυνδεδεμένα συστήματα , ένα σφάλμα σε ένα σημείο είναι πιθανόν να επηρεάσει ένα ευρύτερο μέρος του δικτύου γεγονός που κλονίζει την αξιοπιστία του.

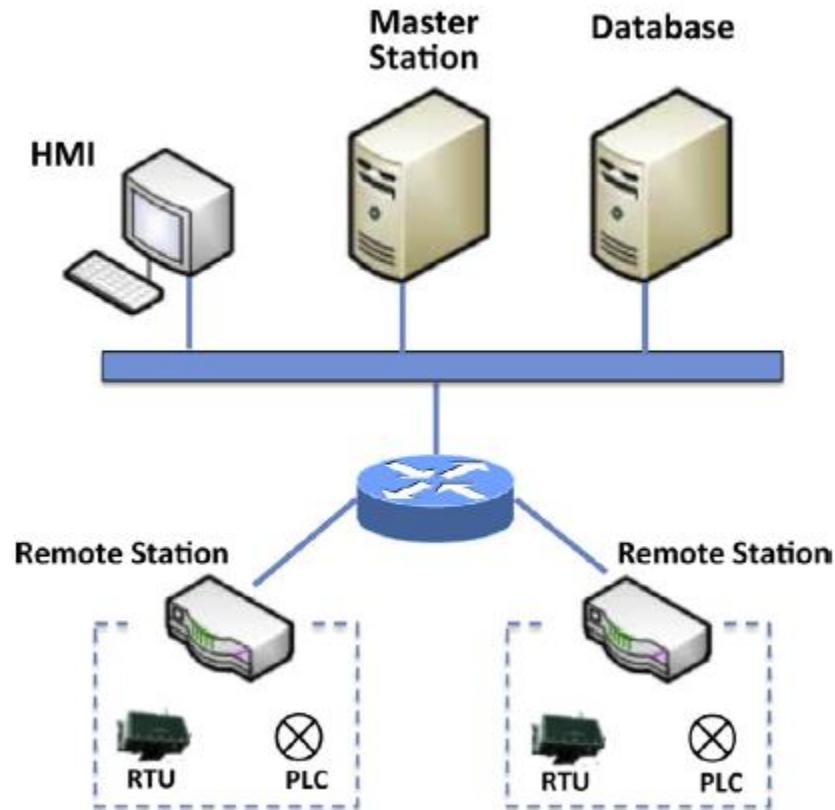
Για να βελτιωθεί η αξιοπιστία , την δεκαετία του 1960 οι εταιρίες ηλεκτρισμού τοποθέτησαν Συστήματα Εποπτείας Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA-SupervisoryControlAndDataAcquisition). Με τον όρο SCADA δεν αναφερόμαστε σε κάποια συγκεκριμένη τεχνολογία, αλλά αναφερόμαστε σε ένα συγκεντρωμένο υπολογιστικό σύστημα που επιτελεί λειτουργίες ελέγχου για βιομηχανικές εφαρμογές.

Ένα σύστημα SCADA αποτελείται συνήθως από τα εξής στοιχεία:

- ❖ Απομακρυσμένες Μονάδες Τηλεμετρίας (RemoteTelemetryUnits-RTUs): Βασισμένες σε μικροελεγκτές για να αλληλεπιδρούν με αισθητήρες και να μετατρέπουν τα δεδομένα από αυτούς σε τυποποιημένες μορφές και τέλος να τα αποστέλλουν σε συστήματα καταγραφής.
- ❖ Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές(Programmablelogiccontroller (PLCs): Για διαδικασίες ελέγχου και αυτοματισμού (για παράδειγμα άνοιγμα/κλείσιμο διακόπτη).
- ❖ Σύστημα Εποπτείας :Ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει πολλές απομακρυσμένες μονάδες και ένα κεντρικό σταθμό για τη συλλογή δεδομένων από τις RTUs και για την αποστολή εντολών στα PLC.
- ❖ Βάσεις δεδομένων για την καταγραφή των μετρούμενων πληροφοριών.
- ❖ Human-machineinterfaces (HMI): Για την απλουστευμένη παρουσίαση του συστήματος και της κατάστασης του στο χειριστή.
- ❖ Σύστημα Επικοινωνίας: Για να συνδέει το σύστημα εποπτείας με τα άλλα επιμέρους στοιχεία.

Αρχικά τα συστήματα SCADA τοποθετούνταν σε υποσταθμούς και δίκτυα μεταφοράς, και χρησιμοποιούσαν είτε τηλεφωνικές γραμμές, είτε οπτικές ίνες για να συνδέσουν τους απομακρυσμένους σταθμούς με το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Οι περισσότεροι κατασκευαστές SCADA ανέπτυξαν απλά πρωτόκολλα επικοινωνίας για την σύνδεση των RTUs και των PLC με τους κεντρικούς σταθμούς ελέγχου. Ενώ πλέον η λύση των συστημάτων SCADA ήταν πλήρως διαδεδομένη και εφαρμοσμένη για τον έλεγχο και την προστασία ενός ΣΗΕ, πολλά από αυτά τα πρωτόκολλα , όπως για παράδειγμα το ModBus καθιερώθηκαν ως πρότυπα (standards) από όλους τους κατασκευαστές, ενώ παράλληλα οργανισμοί τυποποίησης σχετικοί με θέματα ισχύος ξεκίνησαν να κυκλοφορούν πρότυπα , όπως για παράδειγμα το IEC-61850.

Η συγκεντρωτική αρχιτεκτονική των συστημάτων SCADA έχει εξελιχθεί με το πέρασμα του χρόνου σε μια περισσότερο κατανεμημένη, όπως επίσης πλέον είναι δυνατή η σύνδεση διαφορετικών συστημάτων SCADA . Παρόλα αυτά , αυτού του είδους τα συστήματα δεν φαίνονται κατάλληλα για τις αποκεντρωμένες απαιτήσεις ελέγχου που φέρει το μελλοντικό «έξυπνο» δίκτυο.



Εικόνα 1:Συστήματα Scada

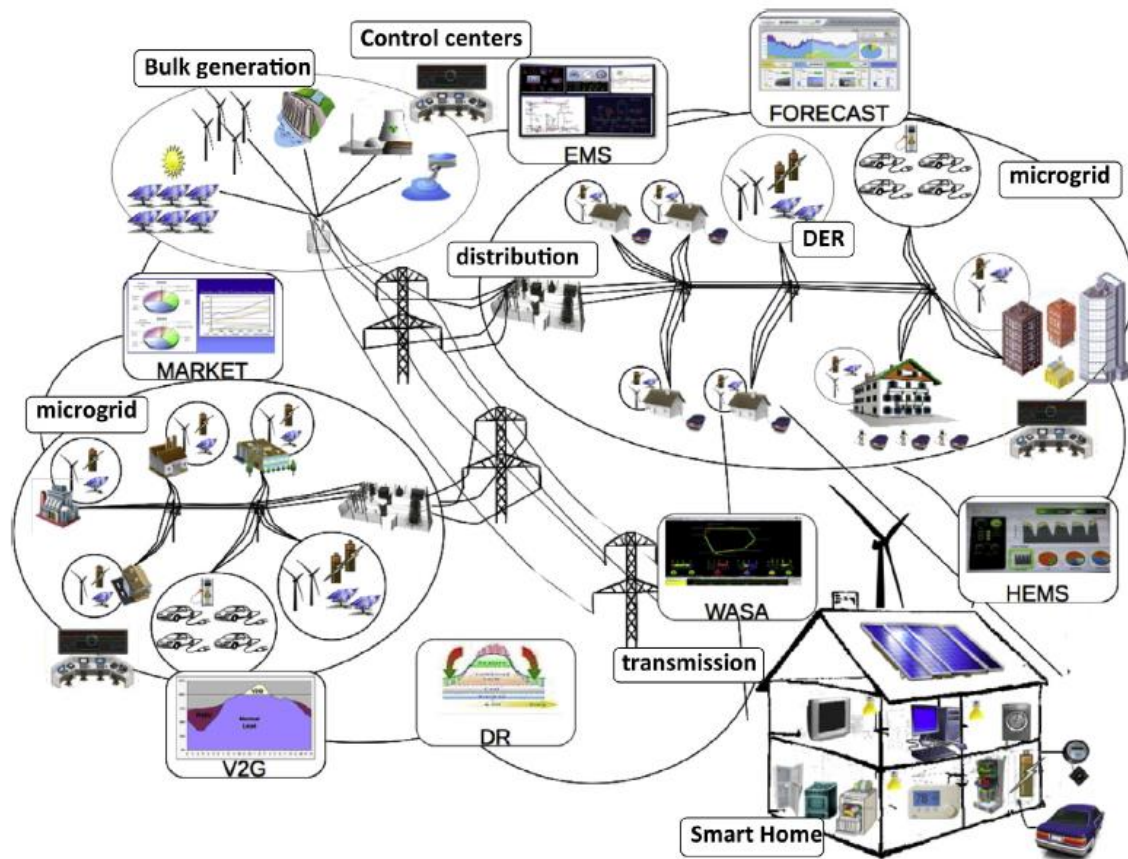
Από τις αρχές του 1990 παρατηρούμε μια σαφή αλλαγή στα ηλεκτρικά δίκτυα η οποία προκαλείται τόσο από την τεχνολογική πρόοδο , όσο και από οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Πρώτα από όλα , η ραγδαία αύξηση της ζήτησης σε συνδυασμό με τον κίνδυνο εξάντλησης των φυσικών πόρων έφερε την ανάγκη όλο και περισσότερης χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με πολλές αναφορές , σχεδόν το 50% των 194 GW που προστέθηκαν παγκοσμίως το 2010 καλύφθηκαν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το γεγονός ότι , η παραγωγή αυτή «πράσινης» ενέργειας προέρχεται από μεγάλης ισχύος αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα τείνει να ανατραπεί , από το κατανεμημένο μοντέλο που απαρτίζεται από γεννήτριες ανανεώσιμων πηγών μικρής ισχύος . Αρκετοί ισχυρίζονται ότι το μοντέλο αυτό

δισπαρμένης παραγωγής παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα: Ένα από αυτά είναι η μείωση απωλειών από τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας εφόσον η παραγωγή βρίσκεται κοντά στην κατανάλωση. Βέβαια τα δίκτυα διανομής δεν είναι σχεδιασμένα για να υπάρχει ροή ισχύος από τους καταναλωτές προς τους υποσταθμούς, για αυτό το λόγο είναι πιθανόν να δημιουργούνται προβλήματα στην ευστάθεια του (πχ υπερτάσεις). Επιπλέον οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν μπορούν να εξασφαλίσουν από μόνες τους τη συνέχεια παροχής, όπως επίσης παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα γεγονός που επηρεάζει την ποιότητα της τάσης (διακυμάνσεις, flicker). Το γεγονός αυτό απαιτεί ένα πιο εξελιγμένο έλεγχο, που αυτή τη στιγμή δεν μπορεί να ικανοποιηθεί από τις εταιρίες ηλεκτρισμού. Πρόσφατα, οι τελευταίες τοποθέτησαν απομακρυσμένα μετρητικά συστήματα στα δίκτυα διανομής (AMR-AutomaticMeterReading) για την απομακρυσμένη ανάκτηση και καταγραφή δεδομένων (πχ φορτία). Ωστόσο τα συστήματα αυτά είναι σχεδιασμένα για μονόδρομη επικοινωνία και δεν επιτρέπουν την εφαρμογή ελέγχου ενός δικτύου.

Άλλος παράγοντας που ενισχύει την χρήση δισπαρμένων μονάδων παραγωγής είναι η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας. Πλέον, υπάρχουν ιδιώτες παραγωγοί οι οποίοι πωλούν ενέργεια στις εκάστοτε εταιρίες ηλεκτρισμού, όπως επίσης και ανεξάρτητοι διαχειριστές για τον έλεγχο και συντήρηση των συστημάτων μεταφοράς ή διανομής. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνεται από τη σχέση ζήτησης και παραγωγής. Υπάρχουν δύο τύποι αγορών ηλεκτρικής ενέργειας: 1) Η χονδρική αγορά, για την διαπραγμάτευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και 2) Η λιανική αγορά η οποία απευθύνεται στην πώληση ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές. Με τη δυναμική των αγορών αυτών η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει διακυμάνσεις και οι τιμές αυξάνονται όσο αυξάνεται το φορτίο. Τέλος στην απελευθέρωση της αγοράς, συμμετέχουν και καταναλωτές, οι οποίοι μέσω της δισπαρμένης παραγωγής μπορούν να γίνουν δυνητικοί παραγωγοί. Το γεγονός αυτό όμως απαιτεί μεγάλη ευελιξία του συστήματος για τη διατήρηση της αξιοπιστίας του και της σταθερότητας του.

Τα δίκτυα νέας γενιάς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αποτελούν τα έξυπνα δίκτυα. Παρόλο που για τον ορισμό αυτού του μοντέλου διατυπώνονται πολλές απόψεις, τρία βασικά χαρακτηριστικά του είναι: 1) Προχωρημένη Μετρητική Υποδομή 2) Δισπαρμένες μονάδες παραγωγής 3) «Έξυπνα» μικροδίκτυα 4) Τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων. Η εικόνα δείχνει την αναπαράσταση ενός τέτοιου μοντέλου.



Εικόνα2: Μοντέλο έξυπνου δικτύου.

A) Προχωρημένη Μετρητική Υποδομή (Advanced metering infrastructure -AMI)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι πρώτες εφαρμογές ψηφιακής επικοινωνίας ήταν τα SCADA και τα AMR. Παρόλα αυτά, οι εφαρμογές smartgrid απαιτούν έλεγχο σε πραγματικό χρόνο κάθε στοιχείου του δικτύου. Για αυτό το λόγο στα έξυπνα δίκτυα πρέπει να ενσωματωθεί μια εκτεταμένη αμφίδρομη μορφή επικοινωνίας που θα επιτρέπει κατανεμημένες εντολές ελέγχου και διαχείρισης. Ένα από τα βασικά στοιχεία αυτής της επικοινωνίας είναι το AMI που χρησιμοποιείται για να διασυνδέσει τα «έξυπνα» μετρητικά συστήματα (smartmeters), τα οποία έχουν τη δυνατότητα δικτύωσης και διαχείρισης δεδομένων και είναι εγκατεστημένα στους τελικούς καταναλωτές. Έτσι θα υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής πληροφοριών σχετικά με 1) την ποιότητα ισχύος 2) την παραγόμενη ενέργεια από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής 3) την καταναλισκόμενη ενέργεια. Όλος αυτός ο όγκος δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί για την έγκαιρη πρόγνωση αποτυχίας, ώστε να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα (πχ δυναμική τιμολόγηση ενέργειας, προγραμματισμός φορτίων). Γενικότερα, ένα δίκτυο AMI, μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για να διασυνδέσει «έξυπνα» μετρητικά συστήματα αλλά να διασυνδέσει γενικότερα έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (intelligentelectronicdevices-IEDs). Όπως καταλαβαίνει κανείς, υπάρχει μεγάλος όγκος

ετερογενών δεδομένων , από πολλές διαφορετικές πηγές και τίθεται το ερώτημα για τον τρόπο ανάλυσης και αποθήκευσης αυτών.

B) Διεσπαρμένη παραγωγή

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα τελευταία χρόνια το μοντέλο της συγκεντρωμένης παραγωγής κλονίζεται και παραχωρεί τη θέση του σε ένα αποκεντρωμένο μοντέλο παραγωγής , της διεσπαρμένης παραγωγής. Η τάση αυτή κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος όσο η τεχνολογία των γεννητριών εξελίσσεται και προωθούνται σύστημα αποκεντρωμένης αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας, οι λεγόμενες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής (DistributedEnergyResources-DEs). Έχει ήδη αναφερθεί ότι το μοντέλο του έξυπνου δικτύου διευκολύνει την ένταξη μικρής κλίμακας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (πχ φωτοβολταϊκά για οικιακές εφαρμογές) και καταυτόν τον τρόπο μειώνεται η ζήτηση για ενέργεια από συμβατικούς πόρους (πετρέλαιο , άνθρακας κλπ). Η διεσπαρμένη αποθήκευση ενέργειας , θεωρείται βασικό στοιχείο των έξυπνων δικτύων , γιατί μπορεί να ισοσταθμίσει την μεταβλητότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για παράδειγμα, το πλεόνασμα της ενέργειας μπορεί να αποθηκεύεται κατά τις περιόδους χαμηλού φορτίου, και να παρέχεται σε περιόδους υψηλής κατανάλωσης. Επιπλέον , τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας έχουν ταχύτερη απόκριση από τις συμβατικές γεννήτριες και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της αξιοπιστίας του δικτύου. Παρόλα αυτά , παρουσιάζεται δυσκολία στο συντονισμό Διεσπαρμένων Μονάδων Παραγωγής με πληθώρα διαφορετικών χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων.

Γ) Έξυπνα Μικροδίκτυα (SmartMicro-Grids /SMG)

Ένα μικροδίκτυο είναι ένα ενιαίο, αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, στο οποίο είναι διασυνδεδεμένες διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής , που ικανοποιούν διάφορα φορτία , τα οποία βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο. Ένα μικροδίκτυο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι αυτόνομο, δηλαδή , μπορεί να λειτουργήσει είτε διασυνδεδεμένο με το υπόλοιπο δίκτυο διανομής , είτε απομονωμένο (νησιδοποιημένο, όπως ένα δίκτυο νησιού). Αυτό σημαίνει ότι ένα μικροδίκτυο πρέπει να έχει το δικό του σύστημα διαχείρισης ώστε να πρώτον να υποστηρίζει λειτουργίες ελέγχου της ροής ενέργειας και δεύτερον να συμμετάσχει στην αγορά ενέργειας για την πώληση αυτής. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η έννοια του μικροδικτύου δεν είναι εντελώς καινούρια και υπάρχουν αρκετά παραδείγματα εφαρμογής αυτών: Ένα παράδειγμα είναι τα βιομηχανικά μικροδίκτυα τα οποία παρέχουν ενέργεια υψηλής ποιότητας σε βιομηχανικά φορτία , όπως επίσης και τα «Βοηθητικά» μικροδίκτυα , που καλύπτουν ανάγκες για ενέργεια σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές ή σε αγροτικές περιοχές. Ωστόσο μπορούμε να περιμένουμε σημαντική αύξηση των μικροδικτύων στο μέλλον γιατί από τη μία τα μικροδίκτυα φαίνονται ως η κατάλληλη τεχνολογία για την ανάπτυξη των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και από την άλλη , το μοντέλο του

μικροδικτύου φαίνεται ως η καλύτερη προσέγγιση για την επιτυχή διαχείριση της πολυπλοκότητας των εφαρμογών ελέγχου και διαχείρισης ενός ηλεκτρικού συστήματος. Πράγματι, ένα μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ένα έξυπνο δίκτυο σε μικρή κλίμακα. Έτσι, πολλοί πιστεύουν ότι ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να προκύψει από την peer-to-peer διασύνδεση πολλών επιμέρους μικροδικτύων.

4) Τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων

Η αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων, έχει σημαντικές συνέπειες στα ηλεκτρικά δίκτυα, αφού με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται σημαντικά η ζήτηση ενέργειας. Μεγάλο μέρος της έρευνας που γίνεται πάνω σε αυτό το θέμα, επικεντρώνεται πάνω σε στρατηγικές ελέγχου για την επιλογή του τόπου και χρόνου φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος, ώστε να αποφεύγονται αιχμές φορτίου. Από την άλλη, ένα ηλεκτρικό όχημα μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε ένα έξυπνο δίκτυο. Συγκεκριμένα πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας τα αυτοκίνητα είναι παρκαρισμένα και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι ένα πλήθος από ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσαν να είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο. Συνεπώς οι μπαταρίες του θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως εφεδρικά αποθηκευτικά συστήματα ενέργειας. Έτσι, τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσαν να παρέχουν στο δίκτυο μέρος της ενέργειας τους για να σταθεροποιήσουν την διακοπτόμενη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτή η καινούρια μέθοδος είναι γνωστή ως όχημα-σε-δίκτυο (vehicle-to-grid, V2G). Πολλοί θεωρούν ότι η V2G τεχνολογία μπορεί να θεωρηθεί ως ειδική περίπτωση διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής (DERs) με την ιδιαιτερότητα να έχουν παραπάνω πολυπλοκότητα εφόσον είναι κινητές μονάδες.

1.2 Επικοινωνίες στα έξυπνα δίκτυα

Κατά τη σχεδίαση ενός δικτύου επικοινωνίας προκύπτουν σημαντικά ερωτήματα, όπως:

- ❖ Ποιες τεχνολογίες επικοινωνιών θα εφαρμοστούν για την σύνδεση των συσκευών του έξυπνου δικτύου;
- ❖ Ποιες τοπολογίες δικτύων είναι κατάλληλες για τη διασύνδεση ηλεκτρικών στοιχείων και κατά πόσο και αν επηρεάζουν το ηλεκτρικό δίκτυο;
- ❖ Ποια πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι τα κατάλληλα για να καλύψουν τις ανάγκες του έξυπνου δικτύου;

Προφανώς τα ερωτήματα αυτά δεν καλύπτονται με μία απάντηση γιατί τα έξυπνα δίκτυα χαρακτηρίζονται από ποικιλομορφία και πολυπλοκότητα. Αρχικά πρέπει να τεθούν οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρεί ένα σύστημα επικοινωνίας για να καλύψει τις ανάγκες ενός έξυπνου δικτύου. Αυτές συνοψίζονται ως εξής:

- ❖ Latency: Σε γενικές γραμμές, οι περισσότερες λειτουργίες προστασίας και ελέγχου στα ΣΗΕ έχουν αυστηρούς περιορισμούς στην καθυστέρηση και απαιτούν γρήγορη διαβίβαση των πληροφοριών. Για παράδειγμα, οι IEDs σε υποσταθμούς πρέπει να στέλνουν διάφορες πληροφορίες σε συσκευές συλλογής δεδομένων σε 4 ms, ενώ οι μετρητικές συσκευές πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους και με τα κέντρα ελέγχου σε λιγότερο από 8-12 ms. Αντίθετα, άλλες συσκευές έχουν μεγαλύτερη ανοχή σε χρονικές καθυστερήσεις, όπως για παράδειγμα τα περισσότερα smartmeters στέλνουν τις μετρήσεις τους περιοδικά διαστήματα 15 λεπτών.
- ❖ Αξιοπιστία: Οι λειτουργίες ενός έξυπνου δικτύου απαιτούν πολύ υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Συγκεκριμένα το ποσοστό αξιοπιστίας πρέπει να φτάνει το 99.9999%, που αντιστοιχεί σε χρόνο διακοπής λιγότερο από 1sec ανά έτος και απαιτεί κατάλληλες τεχνολογίες που υποστηρίζουν αξιόπιστες επικοινωνίες. Επιπλέον, υπάρχουν πολλές δυνατές αποτυχίες του δικτύου (αποτυχία κόμβων, ασυνέπειες δρομολόγησης, υπερφόρτωση κλπ) και έτσι απαιτούνται και διαφορετικές τεχνικές αντιμετώπισης κάθε μίας από αυτές. Ένας άλλος παράγοντας που εξασφαλίζει αξιοπιστία είναι ο «πλεονασμός». Δηλαδή, πολλαπλά αντίγραφα των μηνυμάτων, πολλαπλά μονοπάτια για την ίδια ροή πληροφορίας, πολλοί server για να επιτελεστεί μία εργασία. Τέλος, τα δεδομένα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την κρισιμότητά τους, σε σημαντικά δεδομένα και δεδομένα που ανέχονται αποτυχίες, και έτσι το επικοινωνιακό σύστημα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει μετάδοση δεδομένων σε διάφορα επίπεδα προτεραιότητας.
- ❖ Ρυθμός δεδομένων: Το εύρος ζώνης των smartmeters και άλλων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά δίκτυα είναι τυπικά μέτριο (κάθε ένα από αυτά απαιτεί περίπου 300kbs). Όμως, οι ανάγκες του εύρους ζώνης αυξάνονται και έτσι το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί κάθε IED κυμαίνεται από 10kbs έως 100kbs. Έτσι ο υψηλός ρυθμός δεδομένων του επικοινωνιακού καναλιού γίνεται επιτακτική ανάγκη, λόγω των πολλών IED που αναμένεται να συνδεθούν σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο.
- ❖ Επεκτασιμότητα: Ένα ηλεκτρικό δίκτυο εξυπηρετεί κάθε μέρα όλο και πιο μεγάλο αριθμό καταναλωτών και ακόμα μεγαλύτερο αριθμό συσκευών. Έτσι η επεκτασιμότητα του επικοινωνιακού συστήματος αποτελεί πρωταρχική ανάγκη. Η επεκτασιμότητα μπορεί να διακριθεί σε επεκτασιμότητα φορτίων και έτσι το σύστημα πρέπει να υποστηρίζει αυξημένη κίνηση δεδομένων και αιτήσεις υπηρεσιών (service requests), και σε γεωγραφική επεκτασιμότητα γεγονός που απαιτεί το δίκτυο να είναι ικανό να αναπτύσσεται και να διαμορφώνεται ώστε να είναι λειτουργικό. Κατανεμημένες αρχιτεκτονικές επικοινωνίας έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για να υποστηρίξουν υπηρεσίες internet, όπως για παράδειγμα δίκτυα peer-to-peer δίκτυα, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν και

στα πλαίσια του smartgrid. Η δυσκολία για την επεκτασιμότητα του δικτύου επικοινωνίας προκύπτει από τις περιορισμένες δυνατότητες των συσκευών που απαρτίζουν το έξυπνο δίκτυο, σχετικά με την αποθήκευση, την επεξεργασία της πληροφορίας καθώς και στον επικοινωνιακό τομέα.

- ❖ **Λειτουργικότητα:** Λόγω του μεγάλου αριθμού διαφορετικών συσκευών, επικοινωνιακών τεχνολογιών και πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται σε ένα έξυπνο δίκτυο, είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί λειτουργικότητα μεταξύ τους. Τόσο τα πρότυπα όσο και οι «ανοιχτές» αρχιτεκτονικές επικοινωνίας (πχ IP-based networks), συμβάλλουν στην λειτουργικότητα των διαφορετικών συσκευών και τεχνολογιών επικοινωνίας. Επιπλέον, εμφανίζεται η ανάγκη για στοιχεία του δικτύου που θα μεταφράζουν δεδομένα και υπηρεσίες στα διάφορα πρότυπα. Πρέπει να τονιστεί ότι η λειτουργικότητα είναι σημαντική τόσο σε επικοινωνιακό επίπεδο όσο και σε επίπεδο εφαρμογών, έτσι να εξασφαλίζεται η σωστή ανταλλαγή και επεξεργασία των δεδομένων.
- ❖ **Ευελιξία:** Η ευελιξία του επικοινωνιακού συστήματος ενός έξυπνου δικτύου, εμφανίζεται σε πολλά επίπεδα. Αρχικά, εμφανίζεται στην ικανότητα που πρέπει να έχει το σύστημα να υποστηρίζει ετερογενείς υπηρεσίες για τις εφαρμογές του smartgrid, που έχουν διαφορετική προτεραιότητα και χρονικές απαιτήσεις. Από την άλλη η ευελιξία του συστήματος περιλαμβάνει και την ικανότητα παροχής διαφορετικών μοντέλων επικοινωνίας. Για παράδειγμα, επικοινωνίες multipoint-to-point (MP2P) χρησιμοποιούνται σε συστήματα παρακολούθησης (monitoring) και απαιτούν την περιοδική και στιγμιαία συλλογή δεδομένων από διάφορους αισθητήρες. Αντίθετα, επικοινωνίες Point-to-multipoint (P2MP) χρησιμοποιούνται για την αποστολή εντολών ελέγχου και ρύθμισης στις διάφορες συσκευές. Συνοψίζοντας η ευελιξία του επικοινωνιακού συστήματος είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό, γιατί η ίδια επικοινωνιακή υποδομή, καλείται να ανταπεξέλθει σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές.
- ❖ **Ασφάλεια:** Το επικοινωνιακό σύστημα ενός έξυπνου δικτύου πρέπει να χαρακτηρίζεται από ασφάλεια, σε πολλά επίπεδα. Αρχικά πρέπει να εξασφαλίζεται η ιδιωτικότητα των χρηστών όπως επίσης να αποκλείεται η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στα δεδομένα. Επιπλέον πρέπει να διασφαλίζεται η ακεραιότητα των δεδομένων κατά τη μεταφορά τους, δηλαδή να τροποποιούνται ή να χάνονται. Μερικοί μηχανισμοί ασφάλειας είναι η πιστοποίηση, η κρυπτογράφηση και η ανίχνευση εισβολής, και στοχεύουν στην πρόληψη, ανίχνευση και ελαχιστοποίηση διάφορων επιθέσεων κατά του δικτύου.

1.3 Τεχνολογίες και Πρότυπα επικοινωνιών

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες για τα συστήματα επικοινωνίας: οι ενσύρματες και ασύρματες. Γενικά οι ενσύρματες θεωρούνται ανώτερες από τις ασύρματες από άποψη αξιοπιστίας, ασφάλειας και εύρους ζώνης και αυτό γιατί τα καλώδια προστατεύονται ευκολότερα από εξωτερικές επιδράσεις. Επιπλέον ο εξοπλισμός των ενσύρματων δικτύων

είναι φθηνότερος και έχει και χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Από την άλλη , τα ασύρματα δίκτυα έχουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης και ευελιξία ως προς την επέκτασή τους λόγω της ελάχιστης χρήσης καλωδίων, γεγονός που επιτρέπει εύκολα τη σύνδεση ευρειών περιοχών. Επίσης, πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των ευρυζωνικών τεχνολογιών προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (datarates) και δυνατότητες δικτύου συγκρίσιμες με αυτές των ενσύρματων τεχνολογιών. Παρακάτω αναλύονται οι δύο κατηγορίες:

1.3.1 Ενσύρματες Τεχνολογίες Επικοινωνιών

Παραδοσιακά τα ενσύρματα δίκτυα προτιμούνται σε σχέση με τα ασύρματα λόγω της υψηλής αξιοπιστίας που προσφέρουν. Οι πιο σημαντικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα έξυπνα δίκτυα είναι:

- ❖ **Επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος-PowerLineCommunication(PLC):** Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα καλώδια ισχύος για ανταλλαγή πληροφοριών. Για αυτό το λόγο τα συστήματα PLC έχουν αναδειχθεί ως μία οικονομικά αποδοτική και απλή λύση για τη διασύνδεση των στοιχείων. Για παράδειγμα τα συστήματα AMR χρησιμοποιούν την τεχνολογία PLC για την αποστολή μετρητικών δεδομένων. Ωστόσο η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει αρκετές τεχνικές δυσκολίες στη διάδοση του σήματος λόγω των χαρακτηριστικών των καλωδίων ισχύος , όπως για παράδειγμα η υψηλή εξασθένιση σήματος και η παραμόρφωση του σήματος από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Τα δίκτυα PLC διακρίνονται σε δύο κατηγορίες που λειτουργούν σε διαφορετικά εύρη και έχουν διαφορετικές δυνατότητες. Η πρώτη κατηγορία είναι τα συστήματα PLC στενού εύρους ζώνης -narrowband PLC (NB-PLC)- που λειτουργούν σε συχνότητες έως 500kHz. Μέσα σε αυτό το εύρος συχνοτήτων προκύπτουν ρυθμοί δεδομένων από 1 bps...10kbs-500kbs. Τα NB-PLC μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καλώδια υψηλής και χαμηλής τάσης και μπορούν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις (150km και παραπάνω). Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ευζωνικά PLC(broadband PLC-BBPLC) , τα οποία έχουν αρκετά μεγαλύτερο εύρος ζώνης (200mbs) γιατί λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες (2-30 MHz). Όμως, αξίζει να σημειωθεί ότι όσο αυξάνει η συχνότητα των BB-PLC μειώνεται η αξιοπιστία τους στη μετάδοση της πληροφορίας. Έτσι, τέτοια συστήματα ενδείκνυνται κυρίως για οικιακές εφαρμογές. Νέες τεχνολογίες υπόσχονται μόντεμ BB-PLC με ρυθμό δεδομένων έως και 2mbs σε αποστάσεις έως 8 km.

Πολλά πρότυπα έχουν αναπτυχθεί ή βρίσκονται υπό έρευνα για τα συστήματα PLC, με την πιο γνωστή εταιρία που μελετά τις προδιαγραφές τέτοιων συστημάτων για οικιακές εφαρμογές , να είναι η HomePlugPowerlineAlliance. Τα τελευταία χρόνια έχει κυκλοφορήσει μεγάλος αριθμός προτύπων με συνεχώς

αυξανόμενο ρυθμό δεδομένων από 4 mbs (HomePlug 1.0) έως 85 Mbps (HomePlugTurbo) και πιο πρόσφατα 200 Mbps (Home-Plug AV and AV2).

- ❖ **Οπτικές Επικοινωνίες:** Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για τη διασύνδεση υποσταθμών με τα κέντρα ελέγχου. Βασικό της πλεονέκτημα είναι η ικανότητα της να μεταδίδει πακέτα δεδομένων σε αποστάσεις τάξης χιλιομέτρων, προσφέροντας ένα συνολικό εύρος ζώνης που φτάνει τις δεκάδες Gbs. Επιπλέον, οι οπτικές επικοινωνίες παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε ηλεκτρομαγνητικές και ραδιοφωνικές παρεμβολές και έτσι είναι κατάλληλες για περιβάλλοντα υψηλής τάσης. Μία ειδική κατηγορία της τεχνολογίας αυτής αποτελεί το OpticalPowerGroundWire-OPGW που προσφέρει παράλληλα με τη μετάδοση δεδομένων και λειτουργίες γείωσης και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε γραμμές μεταφοράς και διανομής. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι επικοινωνίες οπτικών ινών μπορούν να παίζουν σημαντικό ρόλο στα πλαίσια του smartgrid. Πρόσφατες μελέτες προτείνουν οπτικές ίνες για παροχή υπηρεσιών smartgrid, στους τελικούς πελάτες, όμως το υψηλό κόστος εγκατάστασης αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας. Επίσης η τεχνολογία αυτή, γνωστή και ως Fiber-to-the-Home(FTTH) μπορεί να γίνει εφικτή με την χρήση παθητικών οπτικών δικτύων(PassiveOpticalNetworks-PON's). Τα τελευταία δεν χρειάζονται ηλεκτρικό εξοπλισμό, αλλά χρησιμοποιούν οπτικούς διαχωριστές για το διαχωρισμό και τη συλλογή των σημάτων. Επιπλέον, τα PON's επιτρέπουν point-to-multipoint μεθόδους, καθώς μία οπτική ίνα μπορεί να εξυπηρετεί πολλαπλούς χώρους και έτσι υποστηρίζονται κατάλληλες τοπολογίες για δίκτυα πρόσβασης(πχ δενδροειδή). Ανάμεσα στις διάφορες τεχνολογίες που περιλαμβάνουν τα δίκτυα PON, η πιο δημοφιλής είναι η EthernetPON (EPON), γιατί επιτρέπει την χρήση του πρωτόκολλου Ethernet και έτσι επιτυγχάνεται διαλειτουργικότητα με τα υπάρχοντα δίκτυα.
- ❖ **DSL(DigitalSubscribersLine):** Ο όρος DSL γενικώς περιλαμβάνει διάφορες τεχνολογίες που στηρίζονται στην μετάδοση ψηφιακών δεδομένων μέσω τηλεφωνικών γραμμών. Το κύριο πλεονέκτημα της τεχνολογίας DSL, είναι ότι οι εταιρίες ηλεκτρισμού μπορούν απευθείας να συνδέσουν τους οικιακούς καταναλωτές με τα κέντρα ελέγχου αποφεύγοντας έτσι την κατασκευή ξεχωριστού επικοινωνιακού δικτύου. Βέβαια σε αυτήν την περίπτωση, είναι απαραίτητη η καταβολή τέλους στους τηλεπικοινωνιακούς φορείς για την συντήρηση του δικτύου. Η τεχνολογία DSL περιλαμβάνει πολλές παραλλαγές μερικές από τις οποίες είναι: Η ασύμμετρη DSL-ADSL, που επιτρέπει ταχύτητες έως 8 mbps και 640 kbps για download και upload αντίστοιχα ADSL2+ με

ταχύτητες έως 24 mbps και 1mbps και τέλος η Very-high-bitrate DSL (VDSL or VHDSL) προσφέρει ταχύτητες που θεωρητικά φτάνουν τα 52 mbps/ 16 mbps αλλά προϋποθέτει μικρές αποστάσεις(περίπου 1,2 km).

1.3.2 Ασύρματες Τεχνολογίες

Σήμερα , υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες και πρότυπα για τις ασύρματες επικοινωνίες , οι οποίες κατηγοριοποιούνται με βάση το εύρος μετάδοσης τους. Παρακάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικές ασύρματες τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν στα έξυπνα δίκτυα.

- ❖ 802.15.4 δίκτυα: Το πρότυπο IEEE 802.15.4 παρέχει τις προδιαγραφές , τόσο σε φυσικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο MAC(MediaAccessControlLayer), για τα λεγόμενα δίκτυα LR-WPANs (lowratewirelesspersonalareanetworks) που χαρακτηρίζονται από χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας και χαμηλό κόστος. Συγκεκριμένα η βασική έκδοση του IEEE 802.15.4 προσφέρει ρυθμούς δεδομένων 250 Kbps σε απόσταση 10 μέτρων, ενώ έχουν γίνει προτάσεις για εκδόσεις που προσφέρουν ακόμα καλύτερη απόδοση της επικοινωνίας. Ουποστηριζόμενες τοπολογίες δικτύου είναι : star (single-hop), cluster-tree, and mesh (multi-hop). Σε κάθε μία από αυτές υπάρχει ένας κόμβος , ο συντονιστής PAN, που είναι υπεύθυνος για την εποπτεία ολόκληρου του δικτύου. Τα δίκτυα tree και mesh έχουν επιπλέον κάποιους ειδικούς κόμβους, τους δρομολογητές (routers), που οδηγούν τα μηνύματα μεταξύ των τερματικών συσκευών και του συντονιστή PAN , μέσω συνδέσεων multi-hop. Ως multihop χαρακτηρίζονται τα δίκτυα που το μήνυμα μεταξύ δύο τερματικών κόμβων μεταφέρεται μέσω ενδιάμεσων που λαμβάνουν και αποστέλλουν πακέτα πληροφορίας μέσω ασύρματων συνδέσεων. Επιπλέον , η ομάδα 802.15.4 g είναι υπεύθυνη για τη βελτίωση του επιπέδου PHY , έτσι ώστε να είναι εφαρμόσιμο σε έξυπνα δίκτυα. Το πρότυπο IEEE 802.15.4 είναι βάση για πολλά άλλα βιομηχανικά πρότυπα ελέγχου και καταγραφής με τα πιο βασικά να είναι το ISA 100.11a, το Wireless-HART και το ZigBee πρότυπο. Συγκεκριμένα τα δύο πρώτα, αρχικά σχεδιάστηκαν για βιομηχανικούς αυτοματισμούς και συστήματα ελέγχου. Και τα δύο βασίζονται στο 802.15.4 αλλά το επίπεδο MAC έχει αντικατασταθεί από ένα σχήμα TDMA. Επιπλέον και τα δύο περιλαμβάνουν συμπληρωματικά στρώματα προσαρμογής για να υποστηρίξουν κατανομημένες εντολές ελέγχου. Να σημειωθεί ότι το WirelessHART δεν είναι μία νέα τεχνολογία αλλά είναι μια εξέλιξη του πρωτόκολλου HART , το οποίο είναι ένα πρότυπο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς που χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία 20 χρόνια. Το 2010 εγκρίθηκε από το IEC (International Electrotechnical Commission) ως παγκόσμιο πρότυπο (IEC 62591).

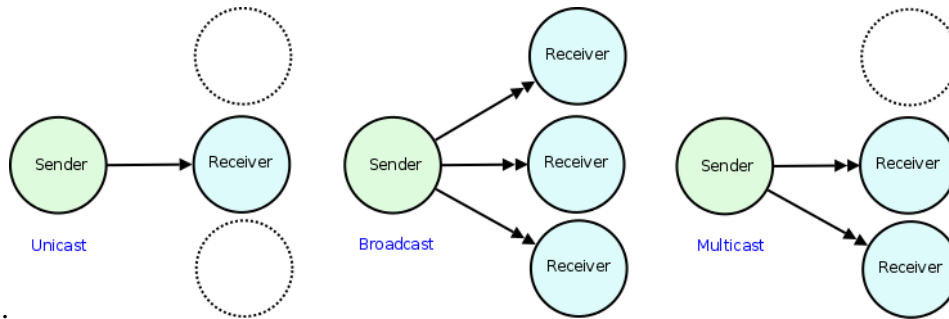
Παρόλα αυτά , από τα παραπάνω , το πιο διαδεδομένο σε βιομηχανικό και εμπορικό επίπεδο, είναι το ZigBee γιατί θεωρείται απλούστερο και χαμηλότερου

κόστους. Συγκεκριμένα το ZigBee επεκτείνει το 802.15.4, παρέχοντας δυνατότητες διαχείρισης δικτύου και λειτουργίας ασφάλειας. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του ZigBee η διαλειτουργικότητα των εφαρμογών, καθώς μέσω των προφίλ τους, οι εφαρμογές διάφορων εταιριών μπορούν να λειτουργούν σε συμφωνία. Τα προφίλ των εφαρμογών παρέχουν περιγραφή για :α) Τις συσκευές που υποστηρίζονται από μία συγκεκριμένη εφαρμογή και β) Τους τύπους των δεδομένων και των μηνυμάτων καθώς και των επικοινωνιακών μοντέλων που χρησιμοποιούνται από αυτές τις εφαρμογές. Το ZigBee περιλαμβάνει και το ZigBee Smart Energy Profile (SEP) που αφορά τα έξυπνα δίκτυα, και παρέχει interface για τη διαχείριση συσκευών ελέγχου και καταγραφής. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο εκδόσεις του SEP, η SEP 1.x και η SEP 2.0. Η δεύτερη έγινε μάλιστα σε συνεργασία με άλλους οργανισμούς προτυποποίησης όπως IPSO (IP for Smart Objects) και HomePlug.

- ❖ *Δίκτυα IEEE 802.11 (WiFi):* Η οικογένεια των προτύπων IEEE 802.11, συχνά αναφερόμενη ως WiFi, είναι με βεβαιότητα η περισσότερο χρησιμοποιούμενη σε οικιακά και τοπικά δίκτυα (WLANs). Τα χαρακτηριστικά που του προσδίδουν αυτήν την επιτυχία είναι αφενός ότι λειτουργεί σε ζώνες συχνοτήτων 2,4GHz και 5GHz, και αφετέρου χρησιμοποιεί απλά και ευέλικτα συστήματα πρόσβασης με βάση τις αρχές του CSMA / CA. Η πρώτη έκδοση του WiFi κυκλοφόρησε το 1997, αλλά από τότε έχουν εγκριθεί πολλές τροποποιήσεις προσθέτοντας νέα χαρακτηριστικά και εκτεταμένες δυνατότητες. Σήμερα η συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων wifi είναι dual-band δηλαδή έχουν ικανότητες μετάδοσης τόσο στα 5GHz του 802.11a όσο και στα 2,4 GHz των 802.11b, 802.11g, και 802.11n. Ο υψηλότερος ρυθμός δεδομένων επιτυγχάνεται στο 802.11n, το οποίο περιλαμβάνει τα συστήματα μετάδοσης OFDM των 802.11a/g, με κεραίες πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων (multiple input-multiple output, MIMO), αυξάνοντας έτσι το data rate από 54Mbps (των 802.11a/g) σε 150 Mbps. Αξίζει να σημειωθεί ότι το εύρος μετάδοσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα, ο τύπος της κεραίας, το περιβάλλον (εσωτερικό ή εξωτερικό) και το τύπος διαμόρφωσης. Πειράματα έχουν δείξει ότι για το 802.11n, σε εξωτερικό περιβάλλον, το εύρος φτάνει τα 300m. Η ευελιξία του πρότυπου 802.11, επιτρέπει τη χρήση του σε διάφορα μέρη του έξυπνου δικτύου. Από την άλλη τα συστήματα πρόσβασης CSMA/CA είναι λιγότερο αποδοτικά σε ενεργειακές εφαρμογές, σε σχέση με συστήματα TDMA (πχ 802.15.4 MAC). Έτσι έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης του interface του δικτύου, όπως για παράδειγμα λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (power save mode) και συμπίεση και συνάθροιση πακέτων (packet compression and aggregation).

Εκτός από το 802.11n, υπάρχουν και άλλα πρότυπα στην οικογένεια του IEEE 802.11, που αναμένεται να παίξουν σημαντικό ρόλο στον τομέα των έξυπνων δικτύων. Το πρώτο είναι το πρότυπο 802.11e, επειδή προσφέρει χαρακτηριστικά QoS (ιεράρχηση της κυκλοφορίας, προγραμματισμός και έλεγχος της αποδοχής), που είναι κατάλληλα για εφαρμογές με ευαισθησία στην καθυστέρηση. Το δεύτερο είναι το πρότυπο 802.11s, που ορίζει τους μηχανισμούς για μεταδόσεις multi-hop όπως επίσης ορίζει τους τρόπους κατασκευής πλέγματος ασύρματων δικτύων, πάνω από το φυσικό επίπεδο του 802.11. Τέλος το τρίτο είναι το 802.11p πρότυπο, το οποίο περιέχει προσθήκες/βελτιώσεις πάνω στη βασική έκδοση του 802.11 για την υποστήριξη ασύρματης πρόσβασης σε περιβάλλοντα οχημάτων και για αυτό το λόγο θα αποτελέσει σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές V2G(vehicle-to-grid).

- ❖ *Δίκτυα IEEE 802.16(WiMax):* Το πρότυπο 802.16 κυκλοφόρησε στην αγορά με την ονομασία WiMAX το 2001, με σκοπό την υποστήριξη ευζωνικής ασύρματης επικοινωνίας (έως 100 Mbps) σε μεγάλες αποστάσεις (7-10 km), ιδιαίτερα σε αγροτικές και προαστιακές περιοχές. Το 802.16 μπορεί να θεωρηθεί ως συμπληρωματικό του 802.11 γιατί πρώτον σχεδιάστηκε με σκοπό να εξυπηρετεί χρήστες σε μεγαλύτερες περιοχές, δεύτερον παρέχει έλεγχο του εύρους ζώνης του καναλιού και τέλος διαθέτει πιο εξελιγμένους μηχανισμούς QoS από τις κατηγορίες κίνησης που ορίζονται στο 802.11e. Από την άλλη, το 802.16 απαιτεί μια πολυπλοκότερη διαχείριση δικτύου, και λειτουργούν σε αδειοδοτημένο εύρος συχνοτήτων, γεγονός που το καθιστά που το καθιστά κατάλληλο για διαχειριστές δικτύων. Όπως και το 802.11, έτσι και το 802.16 περιλαμβάνει πολλές εκδόσεις, με την πιο πρόσφατη να κυκλοφορεί το 2009 και να περιλαμβάνει πολλά προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως: OFDMA(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), MIMO(Multiple Inputs-Multiple Outputs), και διάφορους τρόπους διαμόρφωσης και τύπους κωδικοποίησης, υποστήριξη multicast και broadcast υπηρεσιών (όπως εξηγούνται στο παρακάτω σχήμα). Επιπροσθέτως, στο 802.16g ορίζονται multihop relaying τεχνικές, που διευκολύνουν τόσο την μεγαλύτερη κάλυψη όσο και την ευκολότερη ανάπτυξη του δικτύου. Τέλος, μία σημαντική εξέλιξη του 802.16 είναι η έκδοση 802.16g που σκοπό έχει να παρέχει τουλάχιστον 100Mbps σε υψηλή κινητικότητα (350 km/h) και 1 Gbps σε χαμηλή κινητικότητα. Να σημειωθεί τέλος ότι ο ρυθμός δεδομένων του 802.16, σε συνδυασμό με το εύρος κάλυψής του, το καθιστούν κατάλληλο για τη διασύνδεση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων με τα κέντρα ελέγχου



Εικόνα3:Unicast-Broadcast-Multicast routing

- ❖ *Κυψελοειδή 3G/4G δίκτυα:* Αρχικά με το όρο κυψελοειδή δίκτυα , αναφερόμαστε στα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών που διαχωρίζουν την περιοχή μετάδοσης σε κυψέλες, όπου κάθε μία χρησιμοποιεί ένα σύνολο συχνοτήτων διαφορετικό από τις γειτονικές της και εφάπτονται μεταξύ τους με κάθε κυψέλη να έχει και ένα σταθμό βάσης(Base Station), συνθέτοντας έτσι μια δομή κυψελών. Η δομή αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται για την απαιτούμενη κάλυψη της μιας περιοχής κάνοντας επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Με την μέθοδο αυτή αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου αλλά πρέπει η ισχύς κάθε κυψέλης να είναι όση χρειάζεται ώστε να μην ξεπερνάει τα όρια της και να υπερχειλίζει άλλες κυψέλες της ίδιας δομής ενώ για να μην δημιουργείται ενδοκαναλική παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να απέχουν επαρκή απόσταση οι κυψέλες μιας δομής που έχουν την ίδια συχνότητα με τις κυψέλες μιας άλλης δομής. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των κυψελοειδών δικτύων σε σχέση με άλλες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας είναι το μεγαλύτερο εύρος κάλυψης και για αυτό το λόγο πολλές εταιρίες στο παρελθόν χρησιμοποίησαν εκτενώς κυψελοειδής τεχνολογίες(GSM,GPRS,EDGE) για την επικοινωνία συστημάτων SCADA και AMR. Ένα μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το αυξημένο κόστος, καθώς και η μεταβλητή απόδοση (throughput-latencyperformance) η οποία είναι ανάλογη με τον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετούνται από τον ίδιο σταθμό βάσης. Στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι με τον όρο throughputperformance/διακίνηση, αναφερόμαστε στο σύνολο των δεδομένων που παραδίδονται επιτυχώς από τον έναν χρήστη στο άλλο, μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, ενώ η latencyperformance/καθυστέρηση εκφράζει πόσο χρόνο χρειάζεται ένα πακέτο δεδομένων για να αποσταλεί από ένα καθορισμένο σημείο σε ένα άλλο.

Από την άλλη, τα κυψελοειδή δίκτυα υφίστανται ραγδαία εξέλιξη , με αποτέλεσμα οι καινούριες τεχνολογίες να υπόσχονται αρκετά υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και πιο εξελιγμένες υπηρεσίες επικοινωνίας. Σήμερα , τα πιο διαδεδομένα συστήματα ακολουθούν την 3^η γενιά κυψελοειδών δικτύων ,εν συντομία 3G. Τα 3G πρότυπα αναπτύσσονται και συντηρούνται από την οργάνωση 3GPP, με το πιο δημοφιλές

ανάμεσα σε αυτά να είναι το UMTS(UniversalMobileTelecommunicationsSystem) που κυκλοφόρησε το 2001. Ανάμεσα στους διάφορους τρόπους διασύνδεσης που προσφέρουν τα UMTS συστήματα, εκείνος με τις μεγαλύτερες ταχύτητες είναι ο HSPA+ (EvolvedHigh-SpeedPacketAccess). Το HSPA+ παρέχει ταχύτητες downlink/uplink 168Mbps και 22Mbps αντίστοιχα. Ο διάδοχος των 3G δικτύων είναι τα 4G δίκτυα, τα οποία σχεδιάστηκαν για να παρέχουν ultra-broadband πρόσβαση,με ταχύτητες 275/75 mbps για downlink/uplink. Ένα υποψήφιο 4G σύστημα που αναπτύχθηκε από την 3GPP , είναι το LongTermEvolution(LTE) - Advancedstandard, που αποτελεί βελτίωση των υπάρχοντων συστημάτων LTE.Οι καινούριες δυνατότητες που εισήχθησαν ήταν:α) Ευελιξία στο εύρος ζώνης) καλύτερη υποστήριξη διαφορετικών αρχιτεκτονικών δικτύων(macrocells,femtocells) γ)περισσότερο ανεπτυγμένες δυνατότητες κινητής δικτύωσης.

- ❖ *Δορυφορικές Επικοινωνίες*: Τα δορυφορικά συστήματα παρέχουν επικοινωνίες με μεταβλητή απόδοση ως προς το εύρος ζώνης(bandwidth) και την καθυστέρηση(latency).Τα συστήματα αυτά διαθέτουν δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη γη και ανάλογα με το ύψος από την επιφάνεια της γης διακρίνονται σε : LowEarthOrbits (LEO),MediumEarthOrbit (MEO), andGeostationaryEarthOrbits (GEO).Τα δορυφορικά συστήματα σε τροχιά σε μεγάλο ύψος, πλεονεκτούν στο ότι δεν χρειάζονται συστήματα κίνησης των κεραιών(trackingantennassystems), τα οποία είναι αρκετά δαπανηρά, ενώ μειονεκτούν στο ότι επηρεάζονται εύκολα στο χρόνο καθυστέρησης. Τα συστήματα LEO υπερτερούν στο ότι έχουν χαμηλό κόστος ανάπτυξης.Παραδοσιακά , οι εταιρίες ηλεκτρισμού προτιμούν τις δορυφορικές επικοινωνίες για συστήματα SCADA που βρίσκονται σε αγροτικές ή γενικά απομακρυσμένες γεωγραφικά περιοχές,οι οποίες είτε είναι εκτός της κάλυψης των υπάρχοντων δικτύων, είτε είναι δαπανηρό να ενταχθούν στο υπάρχον δίκτυο.Οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των δορυφορικών επικοινωνιών, με την ανάπτυξη μικρότερων και χαμηλότερου κόστους σταθμών , μπορούν να φανούν σημαντικές στον τομέα των έξυπνων δικτύων.Για παράδειγμα τέτοια συστήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν υπηρεσίες backup σε κρίσιμους υποσταθμούς.

1.4 Ανάγκη του IEC-61850

Σήμερα , οι περισσότεροι υποσταθμοί ελέγχονται από συστήματα αυτοματισμών , τα οποία αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση της διαχείρισης του εξοπλισμού, και στην ομαλή γενικότερα λειτουργία του με ταυτόχρονη μείωση της ανθρώπινης παρέμβασης για συντήρηση.Παλαιότερα, τα συστήματα αυτοματισμών χρησιμοποιούσαν απλά , άμεσα και άκρως εξειδικευμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία δεν εστίαζαν στην σημασιολογία των δεδομένων,και συνήθως ασχολούνταν με πρωταρχικές μορφές

δεδομένων(integer,float,double). Παρόλα αυτά , τα σημερινά συστήματα δε μπορούν να συνεχίσουν να διακρίνονται από αυτήν την απλότητα, καθώς τα ηλεκτρικά δίκτυα συνεχώς αυξάνονται και γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα. Οι συσκευές πλέον γίνονται περισσότερο «έξυπνες»,και ο παλιός εξοπλισμός αντικαθίσταται με νέο, που ενσωματώνει την αναδυόμενη τεχνολογία,όπως πχ σχεσιακές βάσεις δεδομένων,multi-task λειτουργικά συστήματα κλπ. Εκτός αυτού, σε έναν υποσταθμό συνυπάρχουν συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόβλημα στη μεταξύ τους επικοινωνία. Έτσι , οι εκάστοτε εταιρίες είναι αναγκασμένες να καταβάλλουν μεγάλα χρηματικά ποσά κάθε χρόνο, για να ρυθμίζουν κατάλληλα τις συσκευές ώστε να μπορούν να επικοινωνούν, για κάθε έναν υποσταθμό.Έτσι, έχει αναγνωριστεί παγκοσμίως η ανάγκη για ένα ενιαίο διεθνές πρότυπο για την υποστήριξη και την απρόσκοπτη συνεργασία συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών. Την παραπάνω κατάσταση, έρχεται να αντιμετωπίσει το διεθνές πρότυπο IEC-61850, το οποίο ήταν αποτέλεσμα συνεργασίας 22 χωρών.Το IEC-61850 χρησιμοποιεί αντικειμενοστραφή μοντέλα δεδομένων και επικοινωνιακές τεχνολογίες (πχ Ethernet),με στόχο την μείωση του χρόνου και κόστους ρύθμισης και συντήρησης. Σε αντίθεση με τον προκάτοχο του, το UtilityCommunicationArchitectureprotocol 2.0 (UCA 2.0), το πρότυπο αυτό δεν περιορίζεται μόνο σε αυτοματισμούς υποσταθμών. Για να επιτευχθεί αυτή η ανεξαρτησία του, δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στην σημασιολογία των δεδομένων, δηλαδή στην μοντελοποίηση της πληροφορίας, σε σχέση με το επικοινωνιακό κομμάτι. Βέβαια, το γεγονός αυτό , προσθέτει πολλές δυσκολίες στην κατανόηση του, αφού το καθιστά αρκετά μεγάλο και πολύπλοκο.

Κεφάλαιο 2: Το πρότυπο IEC-61850

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Όπως αναφέρει το IEC-61850-1(1) το 1994 μια εξειδικευμένη ομάδα ξεκίνησε να επεξεργάζεται προτάσεις για την τυποποίηση επικοινωνιών σε συστήματα αυτοματισμών υποσταθμών. Οι παρακάτω προτάσεις έχουν παρουσιαστεί και εγκριθεί από τις διεθνείς επιτροπές.

- ❖ Εκπόνηση ενός προτύπου για μια λειτουργική αρχιτεκτονική για τη δομή της επικοινωνίας και τις γενικές απαιτήσεις του συστήματος αυτοματισμών ενός υποσταθμού.(57/210/NP)
- ❖ Εκπόνηση ενός προτύπου για την επικοινωνίες εντός και εκτός υποσταθμού σε όλα τα επίπεδα.(57/211/NP)
- ❖ Εκπόνηση ενός συμπληρωματικού προτύπου για την πληροφοριακή διασύνδεση του εξοπλισμού προστασίας.(57/213/NP)

Συγκεκριμένα το συμπληρωματικό πρότυπο σύμφωνα με το 57/213/NP έχει εγκριθεί και οριστεί ως επίσημο πρότυπο, το IEC 60870-5-103.

2.2 Περιεχόμενα του IEC-61850

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ανάγκη για διαλειτουργικότητα των συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός ενιαίου διεθνούς προτύπου. Από το 1995, 60 μέλη του IEC(InternationalElectrotechnicalCommission), χωρισμένα σε 3 ομάδες εργασίες, ξεκίνησαν να σχεδιάζουν το πρότυπο. Οι στόχοι που τέθηκαν κατά τον σχεδιασμό του ήταν οι εξής: 1) Να υπάρχει ένα ενιαίο πρωτόκολλο, σε ολόκληρο τον υποσταθμό, γεγονός που προϋποθέτει ίδια αναπαράσταση όλων των τύπων δεδομένων 2)Να οριστούν οι βασικές υπηρεσίες που απαιτούνται για τη μεταφορά των δεδομένων, έτσι ώστε να είναι εύκολη η αντιστοιχία με το επικοινωνιακό πρωτόκολλο, 3)Να προωθείται η διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών 4)Τα δεδομένα να αποθηκεύονται με τον ίδιο τρόπο και να έχουν την ίδια μορφή. 5)Να οριστούν δοκιμές και κριτήρια για τον εξοπλισμό, που θα προσαρμόζονται με το πρότυπο.

Παρόλο που το πρότυπο IEC-61850 αρχικά ξεκίνησε για αυτοματισμούς υποσταθμών, μετέπειτα η εφαρμογή του άρχισε να διευρύνεται, και να χρησιμοποιείται και για άλλες εφαρμογές. Ένα παράδειγμα είναι η επέκταση IEC 61850-7-420, που αναφέρεται στη μοντελοποίηση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής(φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, μονάδες παραγωγής diesel κλπ), και έτσι είναι δυνατή η ενσωμάτωση του προτύπου στο χώρο των smartgrids.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το πρότυπο, ορίζει την μοντελοποίηση και τους τρόπους επικοινωνίας των στοιχείων με έναν αφηρημένο τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι σε μία πρακτική εφαρμογή, τόσο τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν (software/hardware), όσο και οι μέθοδοι υλοποίησης, είναι στην διάθεση επιλογής του χρήστη, όσο αυτά τηρούν μια σειρά από κριτήρια ώστε να είναι συνεπή με το πρότυπο.

Η πρώτη έκδοση του IEC-61850 αποτελείται από έγγραφα πάνω από 1400 σελίδες, που χωρίζονται σε 10 μέρη, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Τα μέρη 1 και 2 δίνουν κάποιες εισαγωγικές έννοιες σχετικά με το πρότυπο. Τα μέρη 3,4 περιέχουν τις γενικές και ειδικές λειτουργικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται για τις επικοινωνίες ενός υποσταθμού. Το μέρος 5 περιέχει τις παραμέτρους που πρέπει να ικανοποιούνται σε μία πρακτική εφαρμογή. Το IEC-61850-6 περιγράφει τη γλώσσα Substation Configuration Language (SCL), η οποία βασίζεται στην XML, και επιτρέπει αυστηρές περιγραφές των σχέσεων μεταξύ εξοπλισμού και συστημάτων αυτοματισμού. Το πιο σημαντικό μέρος του προτύπου είναι το IEC-61850-7. Το μέρος αυτό δίνει αφηρημένους ορισμούς για το μοντέλο των δεδομένων και των υπηρεσιών, κάνοντας τους ανεξάρτητους από κάθε υποκείμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία εφαρμογή. Συγκεκριμένα, χωρίζεται σε 4 υποκατηγορίες. Το IEC-61850-1 δίνει τους βασικούς κανόνες και αρχές που διέπουν την μοντελοποίηση των δεδομένων και εξηγώντας παράλληλα πως συνδέονται επόμενα μέρη (7.2-7.4). Το μέρος 7.2 περιγράφει το ACSI (Abstract Common Service Interface). Το 7.3 περιγράφει τις Common Data Classes (CDC) ενώ τέλος το 7.4 περιγράφει τους λογικούς κόμβους (logical nodes). Οι παραπάνω έννοιες θα αναλυθούν λεπτομερώς παρακάτω.

Ακολουθούν τα IEC-61850-8, 61850-9 που ασχολούνται με την αντιστοίχιση σε πραγματικά επικοινωνιακά πρωτόκολλα. Συγκεκριμένα, το 8.1 ασχολείται με την αντιστοίχιση στο πρωτόκολλο Manufacturing Message Specification (MMS) ενώ το IEC-61850-9 ασχολείται με το πρωτόκολλο Ethernet. Τέλος, το IEC-61850-10 αναφέρεται στις διάφορες δοκιμές και μεθόδους που εξασφαλίζουν την συμμόρφωση στους κανόνες και τους ορισμούς του προτύπου.

IEC 61850-1: Introduction and Overview
IEC 61850-2: Glossary
IEC 61850-3: General Requirements
IEC 61850-4: System and project management
IEC 61850-5: Communication requirements for functions and device model
IEC 61850-6: Configuration language for communication in electrical substations related to IEDs
IEC 61850-7: Basic communication structure for substation and feeder equipment
IEC 61850-7-1: Principles and models
IEC 61850-7-2: Abstract communication service interface (ACSI)
IEC 61850-7-3: Common Data Classes
IEC 61850-7-4: Compatible logical node classes and data classes
IEC 61850-8: Specific communication service mapping (SCSM)
IEC 61850-8-1: Mappings to MMS
IEC 61850-9: Specific communication service mapping (SCSM)
IEC 61850-9-1: Sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link
IEC 61850-9-2: Sampled values
IEC 61850-10: Conformance testing

Πίνακας1: Περιεχόμενα IEC-61850.

2.3 Στόχοι του IEC-61850

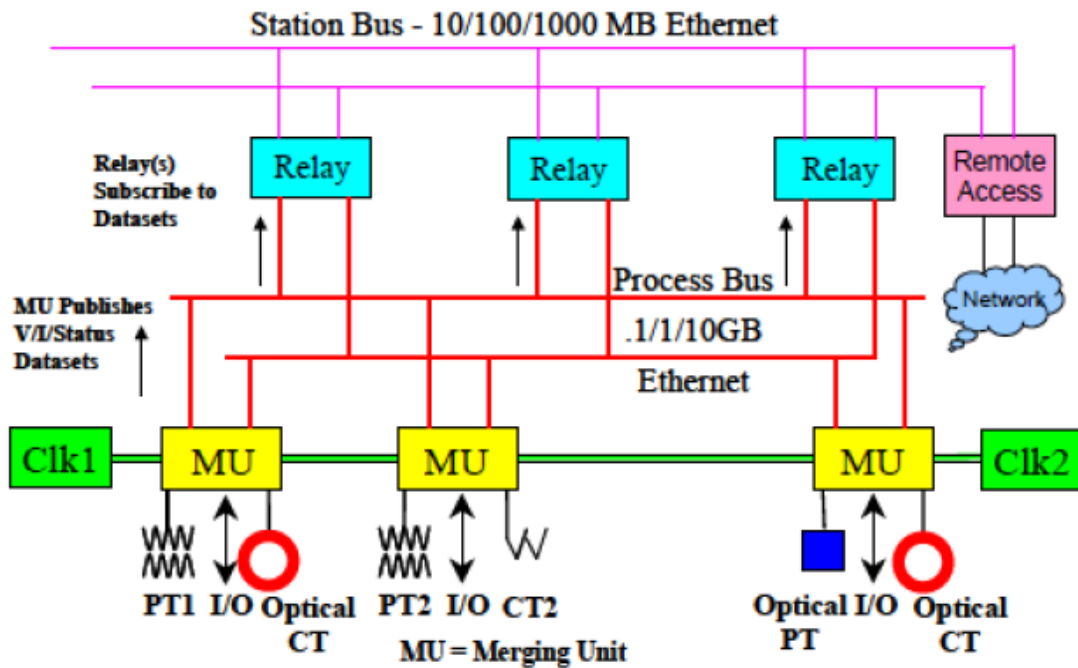
Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα , καθορίζουν πως μεταφέρονται τα δεδομένα, αλλά δεν ορίζουν πως αυτά οργανώνονται μέσα στις συσκευές. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αφιέρωση χρόνου για ρύθμιση των συσκευών χειροκίνητα και για αντιστοίχιση των διάφορων πρωτοκόλλων. Ένα παράδειγμα αποτελεί μια μετρητική συσκευή,πχ βολτόμετρο: Ο μόνος τρόπος να αναφερθεί κάποιος σε μια μέτρηση φασικής τάσης είναι, να βρει τον σχετικό καταχωρητή που αποθηκεύεται η πληροφορία από το manual του βολτόμετρου , και να τον αντιστοιχήσει σε μία εφαρμογή πχ σε ένα σύστημα SCADA. Κάτι αντίστοιχο θα συνέβαινε εάν συνδεόταν ένας μετασχηματιστής τάσης ή ρεύματος σε ένα ρελέ. Στην περίπτωση όμως , που το ρελέ είναι προτυποποιημένο κατά IEC-61850 , κατά τη σύνδεση του θα εντόπιζε το μετασχηματιστή και θα ρυθμιζόταν αυτόματα , ώστε να λειτουργεί σωστά. Αυτός είναι ένας από τους κύριους στόχους του προτύπου , που αναφέρεται ως «auto-configuration» ή «plug ‘nplay». Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω των αρχείων SCL, όπως περιγράφονται στο IEC-61850-6.

Ο άλλος κύριος σκοπός του προτύπου είναι ο ορισμός ενός αφηρημένου μοντέλου που θα περιγράφει ένα σύστημα ή μία έξυπνη συσκευή-IED. Το μοντέλο αυτό πρέπει να είναι αφηρημένο, για να είναι παράλληλα ανεξάρτητο από το εκάστοτε πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα, το μοντέλο αυτό περιέχει αντικείμενα και υπηρεσίες. Μία *φυσική συσκευή* (δηλ, η συσκευή που συνδέεται στο δίκτυο), μπορεί να αποτελείται από μία ή περισσότερες λογικές συσκευές ανάλογα με την εφαρμογή και χαρακτηρίζεται από τη διεύθυνση δικτύου της. Η *λογική συσκευή(logicaldevice-LD)* με τη σειρά της ,

αποτελείται από λογικούς κόμβους(*logicalnodes-LN*), που αντιπροσωπεύουν τις δυνατότητες λειτουργίας που έχει. Με τη σειρά τους , οι λογικοί κόμβοι αποτελούνται από διάφορα επιμέρους χαρακτηριστικά,τα *dataattributes* , που μοντελοποιούν την συγκεκριμένη λειτουργία. Αναλυτικά το αφηρημένο αυτό μοντέλο παρουσιάζεται παρακάτω. Επίσης , το IEC-61850 ορίζει και υπηρεσίες που εφαρμόζονται πάνω στα αντικείμενα. Ένα παράδειγμα είναι το *GetDataValue* που χρησιμοποιείται για να διαβάσει μία τιμή από έναν λογικό κόμβο. Τα παραπάνω ορίζονται στο IEC-61850-7 ,και το μοντέλο αυτό καλείται ACSI μοντέλο.

Το ACSI μοντέλο , όπως αναφέρθηκε και παραπάνω , αποτελεί ένα αφηρημένο μοντέλο, που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρακτικά εφόσον δεν αντιστοιχηθεί με ένα πραγματικό επικοινωνιακό πρωτόκολλο, όπως MMS, TCP/IP ή Ethernet.Το MMS γενικώς χρησιμοποιείται για εφαρμογές με ανάγκες για μικρή ή μέτρια ταχύτητα επικοινωνίας. Το Ethernet χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ταχύτητες, όπως πχ διάφορες προστασίες. Η αντιστοιχία του IEC-61850 με τα παραπάνω πρωτόκολλα γίνεται εκτενώς στα μέρη 8 και 9. Συγκεκριμένα το IEC-61850-9 αναφέρεται στο “ProcessBus”, το οποίο είναι το επίπεδο στο οποίο συλλέγονται όλες οι πληροφορίες από τις συσκευές ενός υποσταθμού. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι μετρήσεις τάσεων,ρευμάτων , ισχύος ή και πληροφορίες για την κατάσταση μετασχηματιστών ή inverter.

Τέλοςτο IEC-61850 ορίζειτηγλώσσα SCL(Substation Configuration Language). Τα αρχεία SCL βασίζονται στη XML, και διακρίνονται σε 4 τύπους ανάλογα με την εφαρμογή.Βασικό πλεονέκτημα αυτών των αρχείων είναι ότι περιορίζουν την διαδικασία χειρονακτικής ρύθμισης των συσκευών και κατά συνέπεια τα λάθη που μπορεί να προκύψουν.Όπως καταλαβαίνει κανείς με αυτόν τον τρόπο προωθείται η διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών, ενώ παράλληλα υπάρχει σαφής εικόνα για τις δυνατότητες και προδιαγραφές του συστήματος. Τα αρχεία SCL θα αναλυθούν περισσότερο σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 4: Μοντέλο υποσταθμού κατά IEC-61850

Κατά τον σχεδιασμό των αυτοματισμών ενός υποσταθμού, προκύπτει η ανάγκη για ψηφιοποίηση των δεδομένων από διάφορους αισθητήρες, και η αποστολή τους είτε σε κάποιο κέντρο ελέγχου είτε σε άλλες συσκευές. Το πρότυπο IEC-61850 αντιμετωπίζει αυτήν την ανάγκη με τις *SampledMeasuredValuesServices*, δηλαδή με υπηρεσίες που αφορούν ψηφιοποιημένα μετρητικά δεδομένα από διάφορες συσκευές, και με την εφαρμογή αυτών των υπηρεσιών σε ένα *ProcessBus*. Στο επίπεδο *ProcessBus* γίνεται η συλλογή των διάφορων δεδομένων, τα οποία μπορεί να είναι είτε μετρήσεις τάσεων ή ρευμάτων, είτε δεδομένα κατάστασης (*status*) συσκευών όπως πχ μετασχηματιστών ή διακοπών. Συγκεκριμένα το IEC-61850 ορίζει την συλλογή δεδομένων μέσω δύο πρωτοκόλλων, που παρουσιάζονται στο μέρος 9.1-*Unidirectional MultidropPoint-to-Point-fixeddataset* και 9.2-*Unidirectional MultidropPoint-to-Point-“configurable” dataset*. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται σε «μονάδες συγχώνευσης», *mergingunits* (MU's). Οι MU's συλλέγουν τα δεδομένα, και ταυτόχρονα τα ψηφιοποιούν, με ένα προκαθορισμένο ρυθμό δειγματοληψίας. Με αυτόν τον τρόπο κάθε λογική συσκευή μπορεί να δέχεται τα δεδομένα από μία ή περισσότερες μονάδες, σε συμφωνημένο χρόνο, και να τα επεξεργάζεται. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ορίζεται ως 80 δείγματα ανά (ηλεκτρικό) κύκλο συστήματος, για εφαρμογές προστασίας και καταγραφής, ενώ για εφαρμογές υψηλής συχνότητας όπως πχ εφαρμογές ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος, ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 256 δείγματα ανά κύκλο

συστήματος. Η συλλογή των δεδομένων γίνεται με οπτικές ίνες 100MB Ethernet. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, στην αρχιτεκτονική του ProcessBus, συμπεριλαμβάνονται δύο ρολόγια, έτσι ώστε σε περίπτωση αποτυχίας του ρολογιού 1 να εξασφαλίζεται ο συγχρονισμός του συστήματος από το ρολόι 2. Παράλληλα, υπάρχει και το δεύτερο επίπεδο, το StationBus. Το επίπεδο αυτό βασίζεται επίσης σε συνδέσεις Ethernet 10MB, ενώ μελλοντικά μπορεί να μεταβεί σε 100MB Ethernet. Το StationBus, παρέχει επικοινωνίες μεταξύ των λογικών κόμβων, δηλαδή των οντοτήτων που αναπαριστούν όλες τις λειτουργίες προστασίας, καταγραφής μέτρησης κλπ. Οι επικοινωνίες αυτές μπορούν να είναι δύο ειδών: είτε μηνύματα GOOSE, είτε με request-response μηνύματα. Τέλος, η αρχιτεκτονική αυτή υποστηρίζει απομακρυσμένη πρόσβαση σε όλες τις μορφές των δεδομένων, είτε για εγγραφή είτε για ανάγνωση. Η απομακρυσμένη πρόσβαση μπορεί να εξυπηρετεί διάφορες διαδικασίες συντήρησης, ελέγχου, προγραμματισμού κλπ.

2.4 IEC-61850-7.2/ Abstract Communication Service Interface (ACSI)

Το συγκεκριμένο μέρος του προτύπου, ίσως είναι από τα πιο σημαντικά εφόσον εκεί:

- ❖ Ορίζεται ένα ιεραρχικό μοντέλο δεδομένων για όλες τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μέσω του επικοινωνιακού δικτύου. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε κλάσεις.
- ❖ Ορίζονται οι υπηρεσίες που εφαρμόζονται σε αυτές τις κλάσεις των δεδομένων.
- ❖ Ορίζονται παράμετροι που σχετίζονται με κάθε υπηρεσία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του ACSI είναι ότι είναι αφηρημένο, δηλαδή ανεξάρτητο από το εκάστοτε επικοινωνιακό σύστημα. Έτσι, το ACSI περιέχει αφηρημένους ορισμούς για τις παρακάτω εφαρμογές client-server:

- ❖ Πρόσβαση και ανάκτηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
- ❖ Έλεγχος συσκευής
- ❖ Αναφορά συμβάντων (logging)
- ❖ Μεταφορά αρχείων
- ❖ Αυτο-περιγραφή των συσκευών
- ❖ Εφαρμογές publisher/subscriber. Σε αυτού του τύπου τις εφαρμογές, οι αποστολείς των μηνυμάτων (publishers) δεν στέλνουν τα μηνύματα κατευθείαν στους συγκεκριμένους λήπτες (subscribers). Αντιθέτως, τα μηνύματα από τους publishers κατηγοριοποιούνται σε κλάσεις, χωρίς να γνωρίζουν αν και πόσοι subscribers υπάρχουν. Αντίστοιχα και οι subscribers εκφράζουν ενδιαφέρον για κάποια κλάση μηνυμάτων, αγνοώντας αν και ποιοι publishers υπάρχουν. Πάνω στο publisher/subscriber μοντέλο βασίζεται η επικοινωνία της εφαρμογής μιας συσκευής με άλλες απομακρυσμένες εφαρμογές, και η μετάδοση των sampled measured values, όπως θα αναλυθούν παρακάτω. Επίσης, μπορεί να επεκταθεί για την επικοινωνία μεταξύ δύο υποσταθμών, ή την επικοινωνία ενός υποσταθμού με το κέντρο ελέγχου.

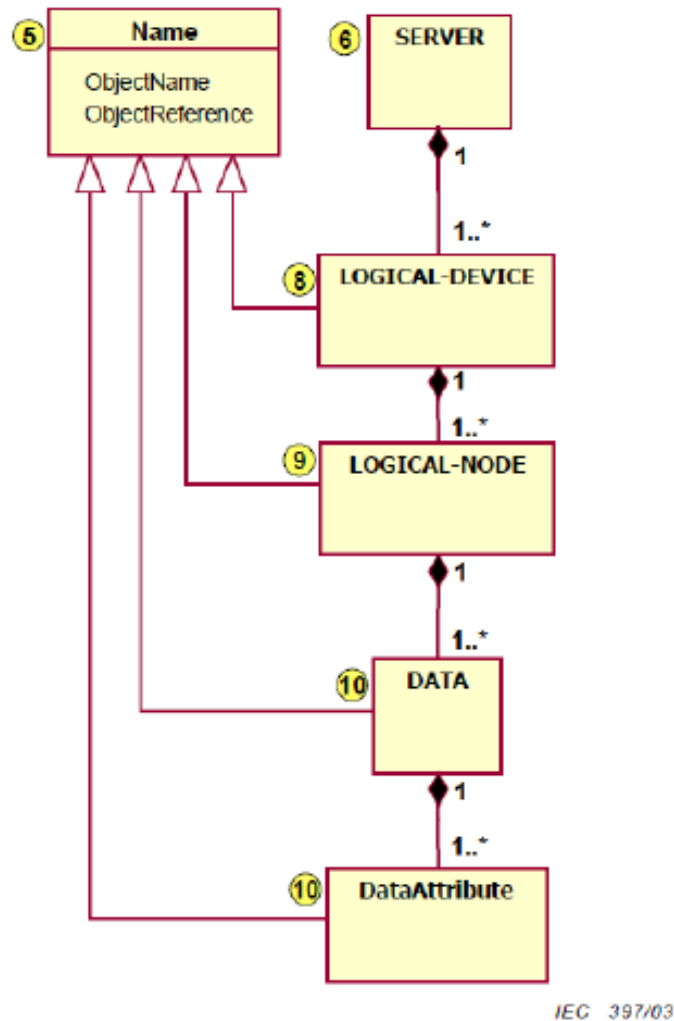
Το πληροφοριακό μοντέλο δεδομένων περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- ❖ **SERVER:** Αναπαριστά την εξωτερική συμπεριφορά μιας συσκευής, όπως την αντιλαμβάνονται οι άλλες συσκευές. Ο server έχει δύο ρόλους: Να επικοινωνεί με clients (τα περισσότερα υπηρεσιακά μοντέλα στο IEC-61850 παρέχουν επικοινωνίες με συσκευές-client) και να αποστέλλει πληροφορίες σε άλλες συσκευές (πχ sampled values). Ο server αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία.
- ❖ **LOGICAL DEVICE (LD):** Μία λογική συσκευή αποτελείται από την πληροφορία που παράγεται και επεξεργάζεται από συγκεκριμένες εφαρμογές. Έτσι σε μία λογική συσκευή, οι πληροφορίες οργάνονται ανάλογα με τις εφαρμογές που τις χρησιμοποιούν. Οι εφαρμογές αυτές, μοντελοποιούνται μέσω των λογικών κόμβων.
- ❖ **LOGICAL NODE (LN):** Περιέχουν τις πληροφορίες που χρησιμοποιούνται από συγκεκριμένες εφαρμογές όπως πχ προστασία υπερτάσεων ή λειτουργία διακοπών.
- ❖ **DATA:** Οι πληροφορίες που υπάρχουν στους λογικούς κόμβους. Για παράδειγμα, η θέση ενός διακόπτη, σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά quality και timestamp.

Κάθε ένα από τα παραπάνω μοντέλα, παρουσιάζεται σαν μία κλάση. Κάθε κλάση περιλαμβάνει χαρακτηριστικά (attributes) και υπηρεσίες (services). Το διάγραμμα των κλάσεων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

Το διάγραμμα των κλάσεων αποτελεί ένα διάγραμμα UML- Unified Modeling Language. Τα διαγράμματα κλάσεων της UML ορίζουν γεωμετρικά σχήματα ως συμβολισμούς για τα αντικείμενα, τις κλάσεις και τις διασυνδέσεις, ενώ διαφόρων τύπων γραμμές χρησιμοποιούνται για να συνδέουν αυτά τα σχήματα και να υποδηλώνουν έτσι τον τρόπο που κληρονομούν, συνεργάζονται ή εξαρτώνται μεταξύ τους. Τα αντικείμενα της ίδιας κλάσης αναπαριστώνται με ένα μόνο γεωμετρικό σχήμα. Όταν ένα αντικείμενο χρησιμοποιεί κώδικα κάποιας άλλης κλάσης (π.χ. καλώντας μία μέθοδο της), σύμφωνα με το πρότυπο της UML υπάρχει μία «εξάρτηση» (dependency) μεταξύ τους η οποία αναπαρίσταται με μία διακεκομμένη γραμμή. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να είναι «συσχέτιση» (association), ένας τύπος εξάρτησης που υπονοεί πραγματική συνύπαρξη στη μνήμη στιγμιότυπων των συμμετεχόντων κλάσεων κατά τον χρόνο εκτέλεσης, «συνάθροιση» (aggregation), ένας τύπος συσχέτισης ο οποίος σημαίνει ότι το ένα αντικείμενο μπορεί να περιέχει στιγμιότυπα της άλλης κλάσης ως γνωρίσματα του, ή «σύνθεση» (composition), ένας πιο ισχυρός τύπος συνάθροισης που υπονοεί πως ο χρόνος ζωής των αντικειμένων είναι κοινός (δημιουργούνται και καταστρέφονται στη μνήμη ταυτόχρονα). Καθεμία από αυτές τις σχέσεις συμβολίζεται οπτικά με έναν διαφορετικό τύπο γραμμής μεταξύ των συμμετεχόντων κλάσεων, ενώ μπορεί να υπάρχουν και εξαρτήσεις οι οποίες δεν είναι καν συσχετίσεις (π.χ. όταν ένα αντικείμενο καλεί μία στατική μέθοδο κάποιας κλάσης).

Στο παρακάτω σχήμα , το βέλος με το μαύρο ρόμβο δηλώνει την σχέση της σύνθεσης. Συγκεκριμένα , η κλάση στην οποία καταλήγει ο μαύρος ρόμβος , «αποτελείται από» την κλάση που φτάνει το άλλο άκρο του βέλους. Αντίστοιχα , το βέλος με το λευκό τρίγωνο δηλώνει την σχέση της «κληρονομικότητας»(inheritance). Δηλαδή, η κλάση στην οποία καταλήγει το λευκό τρίγωνο κληροδοτεί τα χαρακτηριστικά της στην κλάση που καταλήγει το άλλο άκρο του βέλους.



Εικόνα 5: Διάγραμμα κλάσεων μοντέλου δεδομένων

Αναλυτικά , το διάγραμμα εννοεί ότι ένας server αποτελείται από μία ή περισσότερες λογικές συσκευές , η οποία αποτελείται από έναν ή περισσότερους λογικούς κόμβους. Ο κάθε λογικός κόμβος με τη σειρά του αποτελείται από ένα ή περισσότερα δεδομένα , που και αυτά περιέχουν ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά (dataattributes). Όλες οι παραπάνω κλάσεις κληρονομούν από την κλάση “Name”, και κάθε τμήμα έχει ένα μοναδικό όνομα –ObjectName, και μία μοναδική αναφορά –ObjectReference.

Το πλήρες ACSI , εκτός από τα παραπάνω , εμπεριέχει και τις ακόλουθες υπηρεσίες:

- ❖ **DATASET:** Επιτρέπει την ομαδοποίηση των δεδομένων(data ή dataattributes).Χρησιμοποιείται για άμεση πρόσβαση στα δεδομένα και για καταγραφή αναφορών(reporting/logging).
- ❖ **Substitution:** Επιτρέπει την αντικατάσταση μιας τιμής σε μία εφαρμογή από μία άλλη.
- ❖ **SETTING-GROUP-CONTROL-BLOCK:** Ορίζει την μετάβαση από ένα σύνολο τιμών ρυθμίσεων σε ένα άλλο και την επεξεργασία του συνόλου αυτού.
- ❖ **REPORT-CONTROL-BLOCK και LOG-CONTROL-BLOCK:** Περιγράφει τις συνθήκες για τη δημιουργία αναφορών και αρχείων καταγραφής(reports/logs) , με βάση τις παραμέτρους του χρήστη.Αναφορές μπορούν να δημιουργούνται όταν αλλάζει μία τιμή των δεδομένων επεξεργασίας ή αλλάζει το χαρακτηριστικό quality και αποστέλλονται είτε αμέσως είτε με κάποια καθυστέρηση. Οι αναφορές γενικώς περιγράφουν κάποια αλλαγή κατάστασης ή κάποια ακολουθία γεγονότων.
- ❖ **Controlblocksforgenericsubstationevent (GSE):** Η υπηρεσία αυτή είναι υπεύθυνη για την αποστολή δεδομένων (εισόδου-έξοδου) σε όλα τα στοιχεία του συστήματος με ένα γρήγορο και αξιόπιστο τρόπο.Επιπλέον, παρέχει peer-to-peer σύνδεση μεταξύ των διάφορων συσκευών για ανταλλαγή δυαδικών δεδομένων.
- ❖ **Control blocks for transmission of sampled values:**Παρέχειγρήγορηκαικυκλικήμεταφοράτωντιμών(sampled values).
- ❖ **Control:** Περιγράφει τις υπηρεσίες ελέγχου, πχ συσκευών.
- ❖ **Timeandtimesynchronization:** Παρέχει τη χρονική βάση για το σύστημα.
- ❖ **Filetransfer:** Ορίζει την ανταλλαγή μεγάλων δομών δεδομένων, για παράδειγμα προγραμμάτων.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται όλες οι κλάσεις του ACSI μαζί με τις υπηρεσίες που παρέχονται για κάθε μία από αυτές.

<p><u>SERVER model (Clause 6)</u> GetServerDirectory</p> <p><u>ASSOCIATION model (Clause 7)</u> Associate Abort Release</p> <p><u>LOGICAL-DEVICE model (Clause 8)</u> GetLogicalDeviceDirectory</p> <p><u>LOGICAL-NODE model (Clause 9)</u> GetLogicalNodeDirectory GetAllDataValues</p> <p><u>DATA model (Clause 10)</u> GetDataValues SetDataValues GetDataDirectory GetDataDefinition</p> <p><u>DATA-SET model (Clause 11)</u> GetDataSetValues SetDataSetValues CreateDataSet DeleteDataSet GetDataSetDirectory</p> <p><u>Substitution model (Clause 12)</u> SetDataValues GetDataValues</p> <p><u>SETTING-GROUP-CONTROL-BLOCK model (Clause 13)</u> SelectActiveSG SelectEditSG SetSGValues ConfirmEditSGValues GetSGValues GetSGCBValues</p> <p><u>REPORT-CONTROL-BLOCK and LOG-CONTROL-BLOCK model (Clause 14)</u> BUFFERED-REPORT-CONTROL-BLOCK: Report GetBRCBValues SetBRCBValues UNBUFFERED-REPORT-CONTROL-BLOCK: Report GetURCBValues SetURCBValues</p>	<p>LOG-CONTROL-BLOCK model: GetLCBValues SetLCBValues QueryLogByTime QueryLogAfter GetLogStatusValues</p> <p><u>Generic substation event model – GSE (Clause 15)</u> GOOSE SendGOOSEMessage GetGoReference GetGOOSEElementNumber GetGoCBValues SetGoCBValues GSSE SendGSSEMessage GetGsReference GetGSSEDataOffset GetGsCBValues SetGsCBValues</p> <p><u>Transmission of sampled values model (Clause 16)</u> MULTICAST-SAMPLE-VALUE-CONTROL-BLOCK: SendMSVMessage GetMSVCBValues SetMSVCBValues UNICAST-SAMPLE-VALUE-CONTROL-BLOCK: SendUSVMessage GetUSVCBValues SetUSVCBValues</p> <p><u>Control model (Clause 17)</u> Select SelectWithValue Cancel Operate CommandTermination TimeActivatedOperate</p> <p><u>Time and time synchronization (Clause 18)</u> TimeSynchronization</p> <p><u>FILE transfer model (Clause 20)</u> GetFile SetFile DeleteFile GetFileAttributeValues</p>
--	---

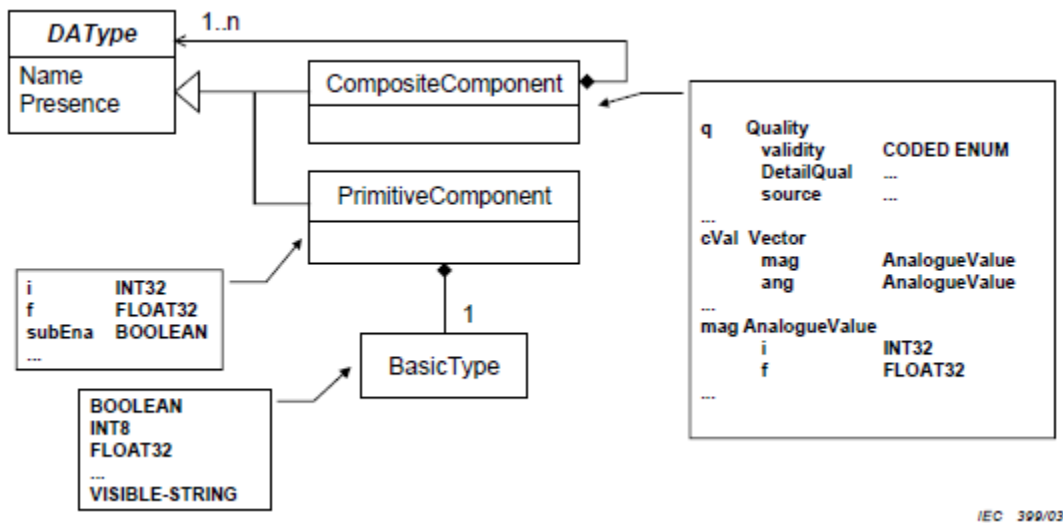
Εικόνα 6: Οι κλάσεις ACSI μαζί με τις υπηρεσίες τους.

2.5 Ορισμοί δεδομένων

Για την κατανόηση του μοντέλου δεδομένων είναι βασικό κανείς να ξεκινήσει από την κλάση `dataattributetype` ή `DAType`. Το αφηρημένο μοντέλο αυτής της κλάσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η `DATypeclass` έχει ένα πεδίο ονόματος και ένα πεδίο παρουσίας, το οποίο δείχνει εάν είναι το χαρακτηριστικό είναι υποχρεωτικό ή προαιρετικό. Να τονιστεί ότι η κλάση αυτή είναι αφηρημένη και χρησιμοποιείται για τον ορισμό των βασικών τύπων δεδομένων.

Όπως φαίνεται παρακάτω, οι βασικοί τύποι δεδομένων (`Boolean`, `Int8` κλπ) χρησιμοποιούνται για να συνθέσουν τα πρωταρχικά στοιχεία (`primitivecomponents`) ή τα σύνθετα στοιχεία (`compositecomponents`). Η κλάση `PrimitiveComponents` κληρονομεί από την κλάση `DAType` τα πεδία `name` και `presence` και επιπλέον έχει ένα πεδίο τύπου `BasicType`. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι τύποι βασικών δεδομένων. Ένα αντικείμενο τύπου `PrimitiveComponent` θα μπορούσε να ήταν (`Name = i`, `Presence = Mandatory`, `BasicType = INT32`). Από την άλλη, ένα αντικείμενο τύπου `CompositeComponent` μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα `PrimitiveComponents` που καθένα θα έχει ένα χαρακτηριστικό τύπου `BasicType`. Ένα παράδειγμα σύνθετου στοιχείου είναι `Name = mag` τύπου `AnalogueValue`

Αποτελούμενο από δύο `PrimitiveComponents` (`ofINT32` and `ofFLOAT32`).



Εικόνα 7: Ορισμός κλάσης `DataAttributeType-DAType`

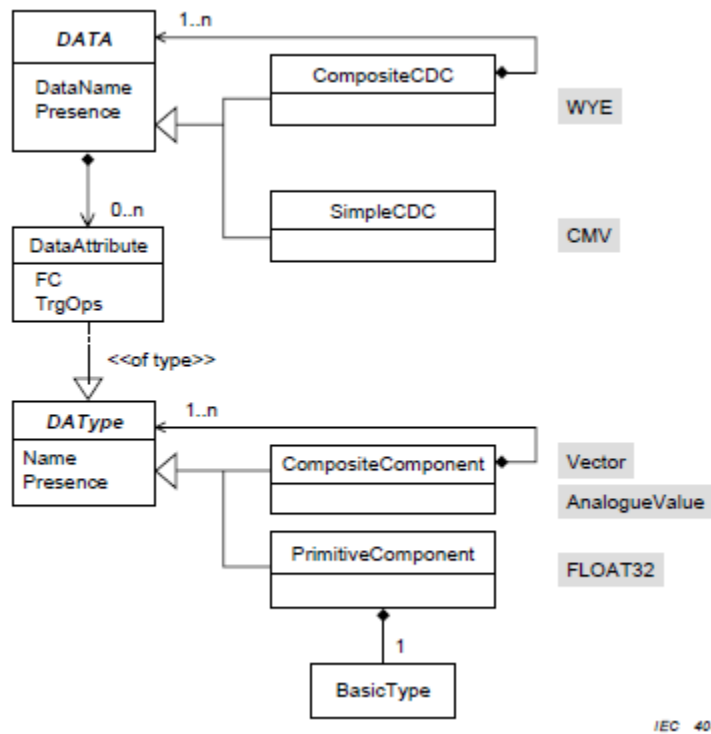
Οι βασικοί τύποι δεδομένων που υποστηρίζονται από το IEC-61850 και ορίζονται στο μέρος 7.2 είναι οι παρακάτω.

BasicTypes			
Name	Value range	Remark	Used by
BOOLEAN			IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
INT8	-128 to 127		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
INT16	-32 768 to 32 767		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
INT24	-8 388 608 to 8 388 607	for TimeStamp type	IEC 61850-7-2
INT32	-2 147 483 648 to 2 147 483 647		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
INT128	-2^{**127} to $(2^{**127})-1$	Required for counters	IEC 61850-7-3
INT8U	Unsigned integer, 0 to 255		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
INT16U	Unsigned integer, 0 to 65 535		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
INT24U	Unsigned integer, 0 to 16 777 215		IEC 61850-7-2
INT32U	Unsigned integer, 0 to 4 294 967 295		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
FLOAT32	Range of values and precision as specified by IEEE 754 single-precision floating point		IEC 61850-7-3
FLOAT64	Range of values and precision as specified by IEEE 754 double-precision floating point		IEC 61850-7-3
ENUMERATED	Ordered set of values, defined where type is used	Custom extensions are allowed	IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
CODED ENUM	Ordered set of values, defined where type is used	Custom extensions shall not be allowed. Type shall be mapped to an efficient encoding in a SCSM	IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
OCTET STRING	Max. length shall be defined where type is used ^a		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
VISIBLE STRING	Max. length shall be defined where type is used ^a		IEC 61850-7-3 IEC 61850-7-2
UNICODE STRING	Max. length shall be defined where type is used ^a		IEC 61850-7-3
^a The length suffix shall have the format "...STRINGnn" where "nn" is the length in characters.			

Εικόνα8:Βασικοί τύποι δεδομένων (BasicTypes)

Πηγαίνοντας ένα επίπεδο παραπάνω , είναι σημαντικό να οριστεί η κλάση DATA. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η κλάση αυτή έχει δύο πεδία DataName και Presence και μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα DataAttributes που είναι τύπου DAType(όπως ορίστηκε προηγουμένως). Επίσης , από την κλάση Data,κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους οι

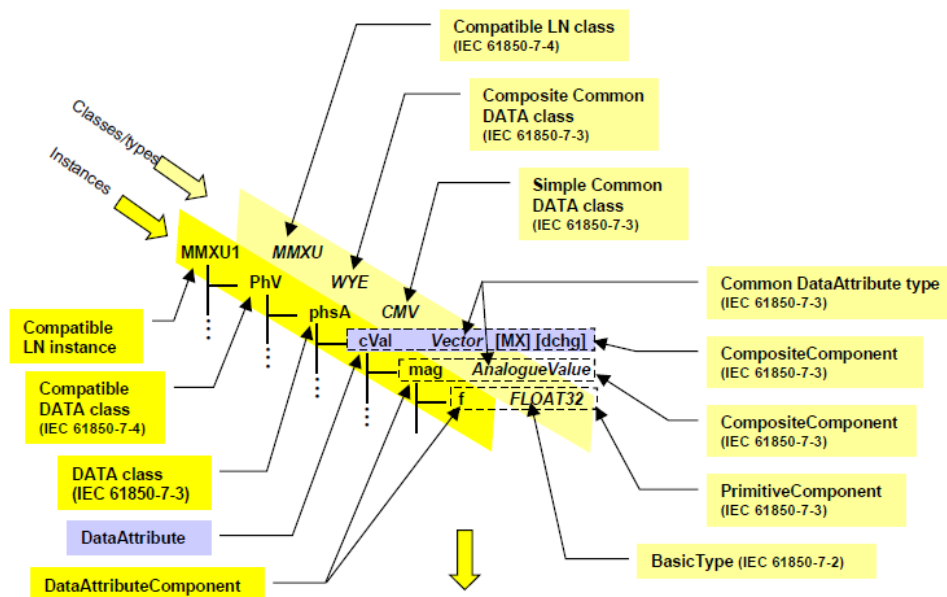
κλάσεις CompositeCommonDataClass(CompositeCDC) και η SimpleCDC. Παραδείγματα CDC είναι η WYE και CMV.



Εικόνα 9:Ορισμός της DATA-class

Προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω αφηρημένα μοντέλα, θα γίνει χρήση ενός παραδείγματος DATA που βρίσκεται μέσα σε ένα λογικό κόμβο MMXU. Ο λογικός κόμβος MMXU χρησιμοποιείται για εφαρμογές μετρήσεων (τάσης, ρεύματος, ισχύος κλπ). Συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, χρησιμοποιούμε ένα αντικείμενο της κλάσης MMXU, με το όνομα MMXU1. Το MMXU1 περιέχει το στοιχείο rhV, που είναι αντικείμενο της κλάσης WYE (CompositeCDC). Με τη σειρά του το rhV αποτελείται, εκτός των άλλων, από το rhsA που δηλώνει μέτρηση φασικής τάσης, στην φάση A. Το rhsA είναι αντικείμενο τύπου CMV που επίσης είναι CompositeCDC. Το rhsA περιέχει το cVal που είναι τύπου Vector. Συνεχίζοντας με την ίδια λογική, το cVal περιέχει το mag που είναι αντικείμενο της κλάσης AnalogueValue. Τέλος, το στοιχείο mag περιέχει έναν αριθμό τύπου float το f, που περιέχει και τη μέτρηση της τάσης.

Στο σχήμα φαίνονται παράλληλα και τα μέρη του IEC-61850 που αναφέρονται οι επιμέρους κλάσεις.



Εικόνα 10: Παράδειγμα δομής του λογικού κόμβου MMXU για τη μέτρηση φασικής τάσης.

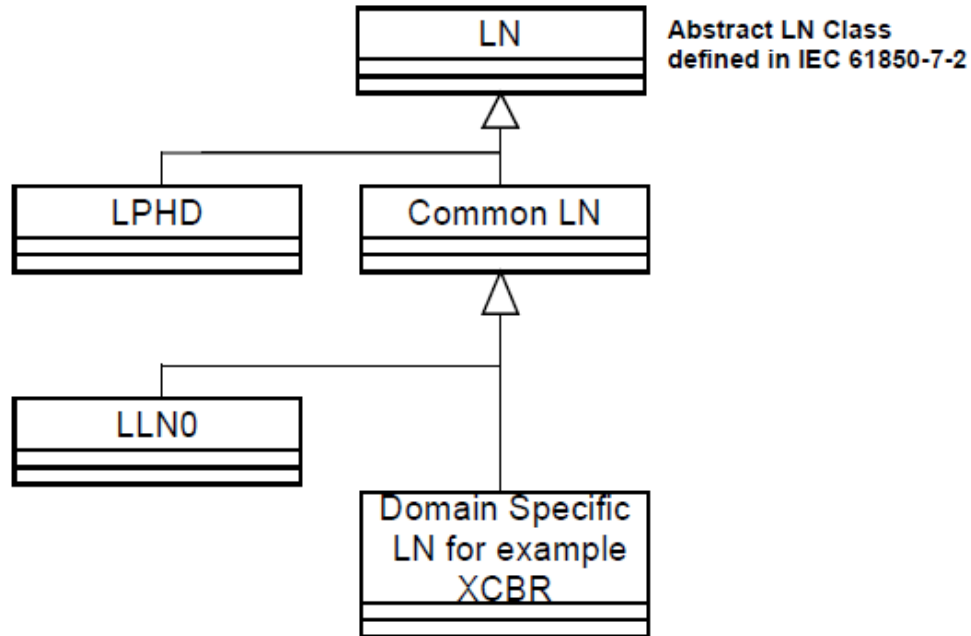
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο λογικός κόμβος MMXU1 είναι αντικείμενο της κλάσης MMXU που αναπαριστά μετρήσεις τάσης, ισχύος, ρεύματος κλπ. Το IEC-61850 χωρίζει τους λογικούς κόμβους σε κατηγορίες ανάλογα με τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται, γεγονός που φαίνεται και στο αρχικό τους γράμμα. Για παράδειγμα, οι λογικοί κόμβοι που ξεκινούν από M, δηλώνουν μετρήσεις (metering and measuring), οι λογικοί κόμβοι που ξεκινούν από P, χρησιμοποιούνται για εφαρμογές προστασίας (protection), πχ PDIF κοκ.

Το IEC-61850-7.2 περιγράφει τους λογικούς κόμβους, μέσω της αφηρημένης κλάσης LogicalNodeClass. Κάθε αντικείμενο αυτής της κλάσης, δηλαδή κάθε λογικός κόμβος, έχει πεδία που δείχνουν το όνομα του (LNName), την αναφορά του (LNRef), τα data που περιέχει (DATA) καθώς και πεδία για τα BufferedReportControlBlock, UnbufferedReportControlBlock και LogControlBlock.

Παρόλα αυτά, η δομή των κλάσεων των λογικών κόμβων είναι περισσότερο σύνθετη, όπως ορίζεται στο IEC-61850-7.4. Συγκεκριμένα, ορίζεται η κλάση CommonLogicalNode και η κλάση LPHD οι οποίες κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους από την LogicalNodeClass, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι κλάσεις αυτές είναι ανεξάρτητες από την εφαρμογή και περιέχουν πληροφορίες για τη φυσική συσκευή που μοντελοποιείται από τη λογική συσκευή στην οποία περιέχονται όπως πχ (PhyName-Physicaldevice nameplate, PhyHealth-Physicaldevice health κλπ).

Από την κλάση CommonLogicalNode κληρονομούν τα χαρακτηριστικά τους όλοι οι λογικοί κόμβοι που είναι domain-specific. Επίσης, ορίζεται η κλάση LLN0 που επίσης κληρονομεί τα χαρακτηριστικά της από την CommonLogicalNode και περιέχει

dataσχετικά με την λογική συσκευή(πχ Operationtime,RunDiagnostics κλπ). Να σημειωθεί ότι οι λογικοί κόμβοι LLNO και LPHD υπάρχουν σε κάθε λογική συσκευή ανεξάρτητα από την εφαρμογή που υλοποιεί.



Εικόνα 11:Σχέσεις κλάσεων λογικών κόμβων

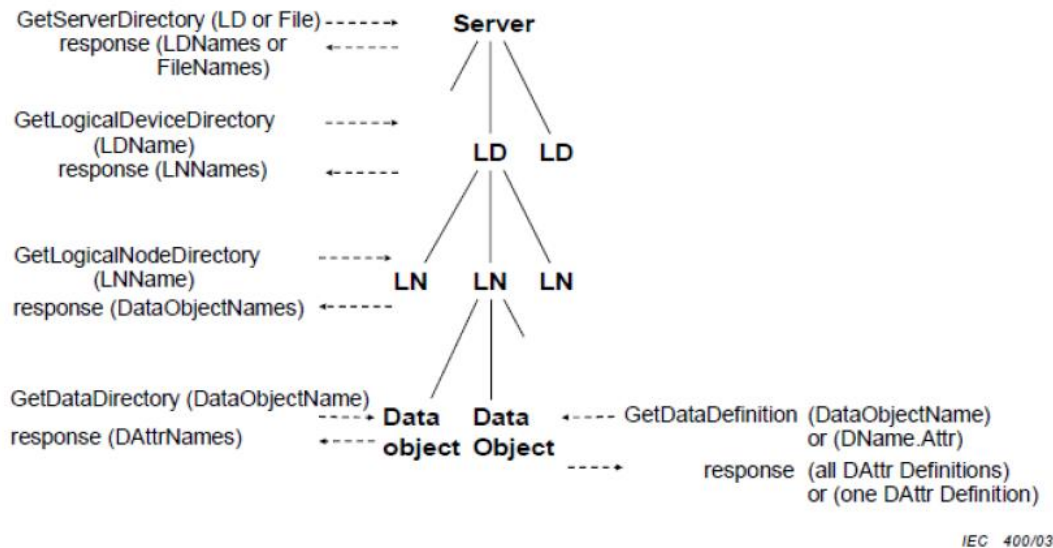
Συνεχίζοντας με την προηγούμενη λογική , το μοντέλο ορίζει και το μοντέλο του Server. Η κλάση GenServerClass ορίζεται στο IEC-61850-7.2 και φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

GenSERVER class		
Attribute name	Attribute type	Value/value range/explanation
ServiceAccessPoint [1..n]	(*)	(*) Type is SCSSM specific
LogicalDevice [1..n]	GenLogicalDeviceClass	
FileSystem [0..1]	FILE-SYSTEM	
TPAppAssociation [0..n]	TWO-PARTY-APPLICATION-ASSOCIATION	
MCAAppAssociation [0..n]	MULTICAST-APPLICATION-ASSOCIATION	
Services		
GetServerDirectory		

Εικόνα12:Ορισμός της GenServerClass

Oserver αποτελείται πολλαπλά ServiceAccessPoint (σημεία πρόσβασης), από λογικές συσκευές και πιθανώς από ένα σύστημα αρχείων (FileSystem). Επίσης, μπορεί να περιλαμβάνει TPAppAssociation ή MCAAppAssociation. Η μόνη υπηρεσία που παρέχει η

κλάση `GenServerClass` είναι η `GetServerDirectory`. Συγκεκριμένα τα `ServiceAccessPoints` δηλώνουν μία διεύθυνση με την οποία μπορεί κανείς να αναφέρεται στον server εντός του δικτύου. Οι λογικές συσκευές (`LogicalDevice`) ορίζονται αναλυτικά παρακάτω, αλλά μπορεί να πει κανείς ότι αναπαριστούν τη φυσική συσκευή που επιτελεί μια ή παραπάνω λειτουργίες. Τέλος, το στοιχείο `two-party-application-association`, αναφέρεται σε υπηρεσίες `client-server`, ενώ το `multicast-application-association` αναφέρεται σε υπηρεσίες `publisher-subscriber`. Όσον αφορά, την υπηρεσία `GetServerDirectory` επιστρέφει μία δομή που μοιάζει με την παρακάτω:



Εικόνα 13: Υπηρεσία `GetServerDirectory`

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 9, δίνεται αντίστοιχα ο ορισμός της λογικής συσκευής μέσω της κλάσης `GenLogicalDeviceClass`. Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι το πρόθεμα `Gen`, προκύπτει από το `generic`, και χρησιμοποιείται στις τελευταίες εκδόσεις του προτύπου για να διαχωρίζει τις κλάσεις από τα αντικείμενα τους. Ο ορισμός της κλάσης αυτής δίνεται στον παρακάτω πίνακα και περιλαμβάνει ένα πεδίο για το όνομα της λογικής συσκευής –`LDName` και ένα πεδίο για τους λογικούς κόμβους που μπορεί να περιέχει. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, κάθε λογική συσκευή, ανεξαρτήτως εφαρμογής που υλοποιεί, έχει τους λογικούς κόμβους `LLN0` και `LPHD`. Τέλος, η κλάση `GenLogicalDeviceClass` προσφέρει την υπηρεσία `GetLogicalDeviceDirectory`, η οποία επιστρέφει τους λογικούς κόμβους που εμπεριέχονται μέσα στη λογική συσκευή.

Στο κεφάλαιο 10, ορίζεται η `GenLogicalNodeClass`, όπως φαίνεται παρακάτω. Κάθε αντικείμενο αυτής της κλάσης έχει ένα μοναδικό όνομα (`LNName`) και μια μοναδική αναφορά/μονοπάτι (`LNRef`). Μεταξύ των άλλων, ένας λογικός κόμβος περιέχει τουλάχιστον ένα `dataobject` και πιθανόν ένα ή περισσότερα `dataset` όπως ορίστηκαν προηγουμένως. Η κλάση `GenLogicalNode` παρέχει δύο υπηρεσίες, τις: `GetLogicalNodeDirectory` και `GetAllDataValues`. Η πρώτη από αυτές επιστρέφει μία

λίστα με τις αναφορές των dataobjects που περιέχονται στο λογικό κόμβο. Η δεύτερη επιστρέφει τις τιμές όλων των στοιχείων που περιέχει ο λογικός κόμβος με την ίδια λειτουργική σταθερά –FunctionalConstraint (FC). Οι FC’s θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω.

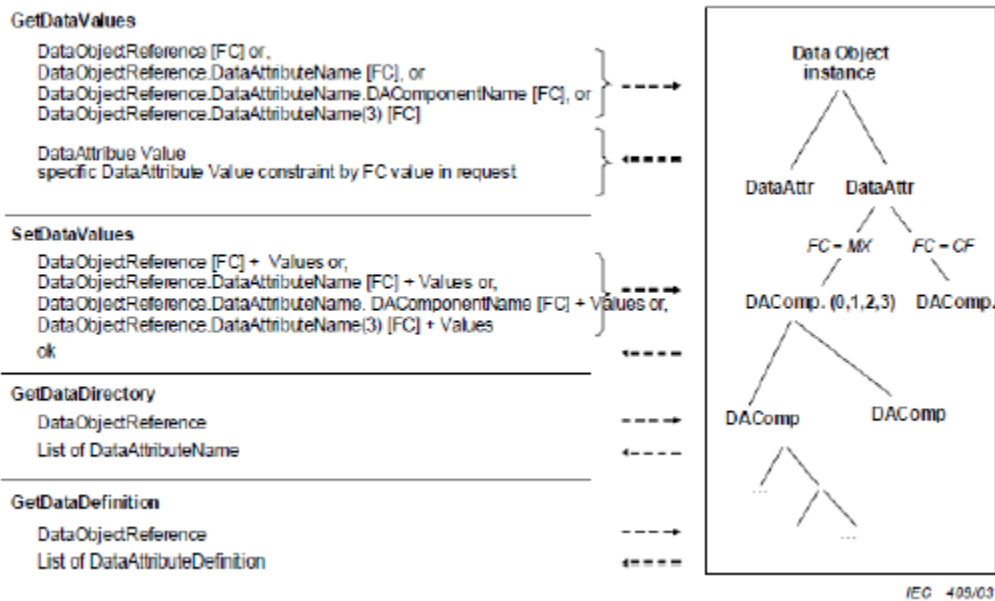
GenLogicalNodeClass		
Attribute name	Attribute type	Explanation
LNName	ObjectName	Instance name of an instance of LOGICAL-NODE
LNRef	ObjectReference	Path-name of an instance of LOGICAL-NODE
DataObject [1..n]	GenCommonDataClass	
DataSet [0..n]	DATA-SET	
BufferedReportControlBlock [0..n]	BRCB	
UnbufferedReportControlBlock [0..n]	URCB	
The following attributes shall only be available if their support is explicitly stated in the definition of a compatible LN class, for example, in IEC 61850-7-4.		
SettingGroupControlBlock [0..1]	SGCB	
Log [0..n]	LOG	
LogControlBlock [0..n]	LCB	
GOOSEControlBlock [0..n]	GoCB	
MulticastSampledValueControlBlock [0..n]	MSVCB	
UnicastSampledValueControlBlock [0..n]	USVCB	
Services		
GetLogicalNodeDirectory		
GetAllDataValues		
NOTE IEC 61850-7-4 defines specialized logical node classes – the compatible logical node classes, for example, XCBR representing circuit-breakers.		

Εικόνα14:Ορισμός της GenLogicalNodeClass

Με την ίδια λογική οδηγούμαστε στον ορισμό της κλάσης GenDataObjectClass που ορίζεται στο κεφάλαιο 11. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ένα DataObject που περιέχεται σε ένα λογικό κόμβο, είναι αντικείμενο μίας CommonDataClass(CDC). Στο παράδειγμα του λογικού κόμβου MMXU περιέχεται το ρhV, το οποίο είναι αντικείμενο της κλάσης WYE. Όπως φαίνεται και παρακάτω, η κλάση GenDataObjectClass έχει το πεδίο DataObjectType που δείχνει ποιας CDC αντικείμενο είναι το συγκεκριμένο DataObject. Τέλος, η υπηρεσία GetDataValues συνοδεύεται από μια αναφορά-path και από μία FC , και ο χρήστης έτσι μπορεί να πάρει τις τιμές των dataobjects με το συγκεκριμένο μονοπάτι(πχ που περιέχονται στο λογικό κόμβο MMXU με το μονοπάτι LD1/MMXU1) και που έχουν την συγκεκριμένη σταθερά FC.

GenDataObjectClass class		
Attribute name	Attribute type	Value/value range/explanation
DataObjectName	ObjectName	Instance name of an instance of a data object class, for example, PhV (1st level), phsA (2nd level). The 1 st level shall start with an upper case letter, all lower levels with lower case letters.
DataObjectRef	ObjectReference	Path-name of an instance of a data object class, for example, myLD/MMXU1.PhV or for example, myLD/MMXU1.PhV.phsA
m/o/c	CODED ENUM	Indicates mandatory/optional/conditional
DataObjectType	GenCommonDataClass	For example, CMV class of IEC 61850-7-3
Services GetDataValues SetDataValues GetDataDirectory GetDataDefinition		

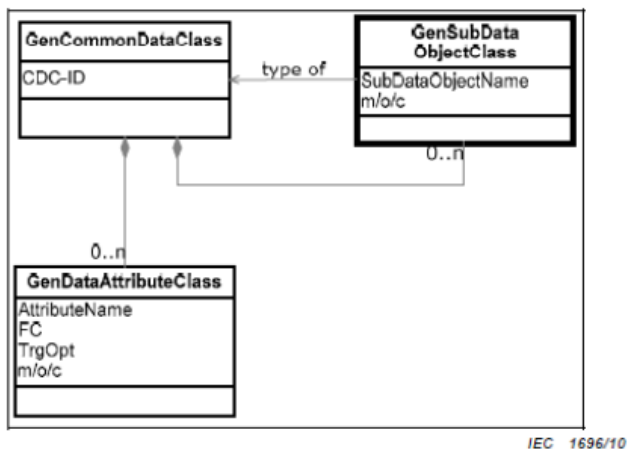
Εικόνα 15:Ορισμός της GenDataObjectClass



Εικόνα 16:Υπηρεσίες της κλάσης GenDataObjectClass

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω , για τον ορισμό του dataobject , χρειάζεται και ο ορισμός της CommonDataClass-CDC ο οποίος φαίνεται στο παρακάτω πίνακα. Εύκολα καταλαβαίνει κανείς ότι πρόκειται για έναν αναδρομικό ορισμό εφόσον η GenCommonDataClass περιέχει τα στοιχεία SubDataObjects τα οποία είναι επίσης τύπου GenCommonDataClass. Επιπλέον μπορεί να και περιέχειDataAttributes , που είναι τύπου GenDataAttributeClass. Το αναδρομικό αυτό μοντέλο παρουσιάζεται και σε διάγραμμα τύπου UML για την πλήρη κατανόηση του.

GenCommonDataClass		
Attribute name	Attribute type	Value/value range/explanation
CDC-ID	Visible String	Use only capital letters; example WYE
Options		
SubDataObject [0..n] or/and	GenCommonDataClass	Recursive class definition
DataAttribute [0..n]	GenDataAttributeClass	



Εικόνα 17: Ορισμός της GenCommonDataClass

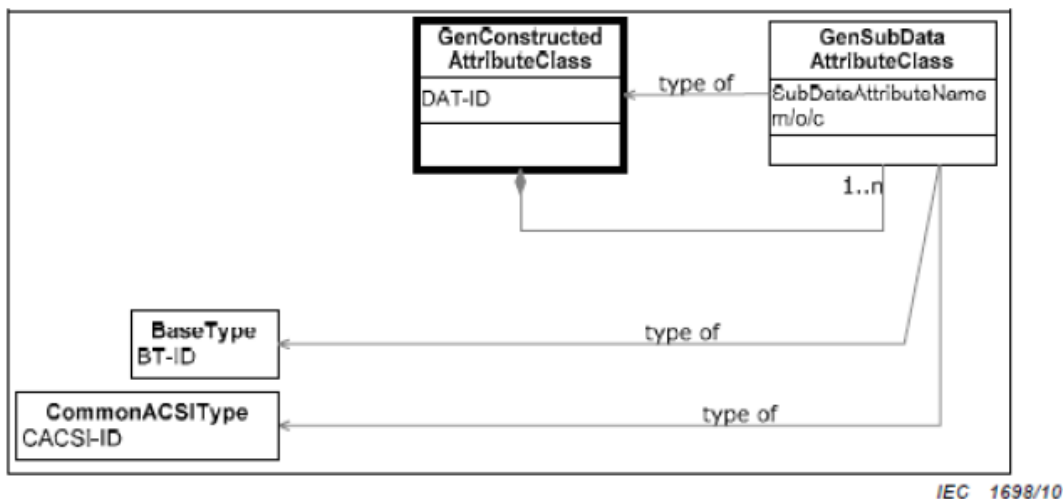
Το αφηρημένο μοντέλο, συνεχίζεται με τον ορισμό της GenDataAttributeClass όπως φαίνεται στην Εικόνα 17. Η κλάση αυτή περιέχει τα εξής πεδία: Name, Functional Constraint –FC, TrgOp, M/O/C και Type Attributes. Το πρώτο πεδίο περιέχει το όνομα του χαρακτηριστικού. Το πεδίο FC, περιέχει μία σταθερά που χαρακτηρίζει το DataAttribute ανάλογα με την ειδική του χρήση και μέσω αυτού δείχνει ποιες υπηρεσίες μπορούν να εφαρμοστούν στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Ένα παράδειγμα είναι η σταθερά MX που χρησιμοποιείται για τιμές μετρήσεων. Τα χαρακτηριστικά με τη συγκεκριμένη σταθερά υποστηρίζουν υπηρεσίες ανάγνωσης, αντικατάστασης, reporting-logging ενώ αντίθετα δεν μπορούν να εγγραφούν. Άλλο παράδειγμα είναι η σταθερά DC (description), που εμφανίζεται σε περιγραφικά dataattributes, τα οποία μπορούν να εγγραφούν ή να διαβαστούν. Το πεδίο TrgOp περιγράφει τις συνθήκες υπό τις οποίες συμβαίνει ένα γεγονός, όπως πχ καταγραφή (logging). Έπειτα, το πεδίο M/O/C δηλώνει εάν το χαρακτηριστικό είναι υποχρεωτικό (mandatory), προαιρετικό (optional) ή χρησιμοποιείται υπό συγκεκριμένες συνθήκες (conditional).

GenDataAttributeClass		
Attribute name	Attribute type	Value/value range/explanation
DataAttributeName	Visible String	Shall start with a lower case letter; example cVal in the CDC CMV
FunctionalConstraint	FC	
TrgOp	TriggerConditions	
M/O/C	CODED ENUM	
Type	GenConstructedAttributeClass OR BaseType OR CommonACSIType	

Εικόνα 18:Ορισμός της GenDataAttributeClass

Το τελευταίο επίπεδο, περιλαμβάνει τον ορισμό του Type. Ένα στοιχείο Type μπορεί να είναι είτε τύπου BaseType ή τύπου CommonACSIType. Τα BaseType στοιχεία που υποστηρίζει το IEC-61850 φαίνονται στην Εικόνα 8. Τα CommonACSITypes , ορίζονται στο μέρος 7.2 και είναι τα εξής: ObjectName, ObjectReference, ServiceError Type , EntryID Type και Packed List Type. Ο ορισμός του Type μπορεί να δοθεί αναδρομικά μέσω της κλάσης GenConstructedAttributeClass (Εικόνα 18).

GenConstructedAttributeClass



Εικόνα 19: Αναδρομικός ορισμός του Type

Στο παραπάνω σχήμα, φαίνεται ότι η κλάση GenConstructedAttributeClass περιέχει ένα ή περισσότερα GenSubDataAttribute τα οποία είναι επίσης τύπου GenConstructedAttributeClass. Τα στοιχεία Type (BaseType και CommonACSIType) είναι αντικείμενα της κλάσης GenSubDataAttributeClass. Αυτή η αναδρομική σχέση φαίνεται στο παράδειγμα του cVal που αναφέρθηκε παραπάνω. Το cVal είναι αντικείμενο της GenConstructedAttributeClass. Το αντικείμενο αυτό αποτελείται-εκτός των άλλων- από τα στοιχεία mag και ang τα οποία είναι τύπου AnalogueValue. Η κλάση

AnalogueValue είναι επίσης τύπου GenConstructedAttributeClass. Φτάνοντας στο τελευταίο επίπεδο , η κλάση AnalogueValue , αποτελείται από τα BasicTypes :i-INT32 και f-FLOAT32.

GenConstructedAttributeClass		
Attribute name	Attribute type	Value/value range/explanation
DAT-ID	Visible String	Example: attribute instCVal (DAT-ID=Vector) of CDC CMV.
SubDataAttribute [1..n]	GenSubDataAttributeClass	

Εικόνα20:Ορισμός της GenConstructedAttributeClass.

GenSubDataAttributeClass		
Attribute name	Attribute type	Value/value range/explanation
SubDataAttributeName	Visible String	Example mag of the instCVal of the CDC CMV
m/o/c	CODED ENUM	
Type	GenConstructedAttributeClass OR BaseType OR CommonACSIType	Identified by DAT-ID, for example, mag (Type=AnalogueValue) of the instCVal of the CMV CDC

Εικόνα21: Ορισμός της GenSubDataAttributeClass.

Από όλα τα παραπάνω , καταλαβαίνει κανείς ότι πρόκειται για ένα αρκετά σύνθετο μοντέλο, και ο χρήστης πρέπει να είναι σε θέση να διακρίνει με ευκολία ανάμεσα σε κλάσεις και αντικείμενα αυτών και σχέσεις «typeof» και «consistsof». Η δυσκολία επίσης έγκειται στο γεγονός ότι το IEC-61850 , προσφέρει ένα αφηρημένο εννοιολογικό μοντέλο και δεν δίνει πρακτικά παραδείγματα για την κατανόηση του. Στο πρότυπο δεν αναφέρονται υλοποιήσεις πάνω σε συγκεκριμένα επικοινωνιακά πρωτόκολλα ή τεχνολογίες. Πρόκειται για ένα πληροφοριακό μοντέλο το οποίο απλά δίνει στο χρήστη μία «φιλοσοφία» της οργάνωσης των δεδομένων και η εφαρμογή του είναι στη διάθεση του χρήστη. Στα μέρη IEC-61850-8/9 γίνεται η αντιστοίχιση του μοντέλου πάνω στα πρωτόκολλα MMS και Ethernet αλλά παρόλα αυτά είναι δυνατή η αντιστοίχιση του μοντέλου και σε άλλα επικοινωνιακά πρωτόκολλα.

2.6 IEC-61850-7.3 Βασική επικοινωνιακή Δομή-CommonDataClasses

Αυτό το μέρος του προτύπου περιλαμβάνει τις Constructedattributeclasses και τις CommonDataClasses. Οι πρώτες, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι οι χαμηλότερες στην ιεραρχία των δεδομένων και παρουσιάζονται στο μέρος IEC-61850-7.3 στο κεφάλαιο 6. Ουσιαστικά οι Constructedattributeclasses αποτελούν CommonDataClasses που περιλαμβάνουν δεδομένα τύπου BasicTypes, δηλαδή αποτελούν τις SimpleCDC. Αναλυτικά, οι Constructedattributeclasses που ορίζονται είναι οι εξής:

- i. Quality
- ii. Analogue Value
- iii. ConfigurationofAnalogueValue
- iv. RangeConfiguration
- v. Step position with transient indication
- vi. Pulse configuration
- vii. Originator
- viii. UnitDefinition
- ix. Vectordefinition
- x. Pointdefinition
- xi. CtlModels definition
- xii. SboClassesdefinition
- xiii. Cell
- xiv. Calendar Time definition

Για παράδειγμα η κλάση Quality περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την πληροφορία που αποστέλλεται από τον server. Ο ορισμός της κλάσης αυτής φαίνεται στην Εικόνα 21. Συγκεκριμένα, η Quality είναι μία δομή τύπου PackedList, που περιέχει 5 στοιχεία, τα: validity, detailQual, source, test και operatorBlocked. Από αυτά, το detailQual είναι επίσης δομή τύπου PackedList, ενώ το source είναι τύπου CodedEnum. Και οι δύο αυτοί τύποι δεδομένων ορίζονται στο IEC-61850-7.2. Να σημειωθεί ότι κατά την υλοποίηση των δύο αυτών τύπων δεδομένων προκύπτουν δυσκολίες, γιατί ενώ από το πρότυπο θεωρούνται ως BasicTypes, από πολλές προγραμματιστικές υλοποιήσεις θεωρούνται σύνθετοι τύποι.

Quality type definition			
Attribute name	Attribute type	Value/Value range	M/O/C
	PACKED LIST		
validity	CODED ENUM	good invalid reserved questionable	M
detailQual	PACKED LIST		M
overflow	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
outOfRange	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
badReference	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
oscillatory	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
failure	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
oldData	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
inconsistent	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
inaccurate	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
source	CODED ENUM	process substituted DEFAULT process	M
test	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M
operatorBlocked	BOOLEAN	DEFAULT FALSE	M

Εικόνα 22: Ορισμός της κλάσης Quality

Ένα επίσης παράδειγμα χαρακτηριστικής ConstructedattributeClass αποτελεί η AnalogueValue , της οποίας ο ορισμός φαίνεται στην Εικόνα 22. Η κλάση αυτή αποτελείται από δύο μόνο χαρακτηριστικά τύπου BasicType , τα : i τύπου INT32 και f τύπου FLOAT32.

AnalogueValue type definition			
Attribute name	Attribute type	Value/Value range	M/O/C
i	INT32	integer value	GC_1
f	FLOAT32	floating point value	GC_1

Εικόνα 23: Ορισμός της κλάσης AnalogueValue

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι ConstructedAttributeClasses χρησιμοποιούνται για να συνθέσουν τις CommonDataClasses, οι οποίες ορίζονται στο κεφάλαιο 7 του IEC-61850-7.3. Όπως αναφέρει το πρότυπο οι CommonDataClasses χωρίζουν τα χαρακτηριστικά τους ανάλογα με τις σταθερές FC και τις TrgOp. Συγκεκριμένα ορίζονται 40 περίπου CDC's οι οποίες είναι δύσκολο να παρουσιαστούν . Ενδεικτικά , παρουσιάζονται οι 6 κατηγορίες τους :

- i. **Status Information** (SPS, DPS, INS,ENS, ACT, ACD, SEC, BCR, HST)
- ii. **Measurand Information** (MV, CMV, SAV, WYE, DEL, SEQ, HMV, HWYE, HDEL)
- iii. **Controls** (SPC, DPD, INC, ENC, BSC, ISC, APC, BAC)
- iv. **Status Settings** (SPG, ING, ENGORG, TSG, CUG, VSG)
- v. **Analogue Settings** (ASG, CURVE, CSG)
- vi. **Description Information** (DPL, LPL, CSD)

Όλες οι CDC συνοδεύονται από έναν πίνακα που περιγράφει τις πληροφορίες που διαχειρίζεται κάθε κλάση. Για την πρώτη κατηγορία –Status Information- ο πίνακας είναι:

Basic status information template					
Attribute name	Attribute type	FC	TrgOp	Value/Value range	M/O/C
DataName	Inherited from GenDataObject Class or from GenSubDataObject Class (see IEC 61850-7-2)				
DataAttribute					
<i>status</i>					
<i>substitution and blocked</i>					
<i>configuration, description and extension</i>					
Services (see IEC 61850-7-2)					
The following services are inherited from IEC 61850-7-2. They are specialized by restricting the service to attributes with a functional constraint as specified below.					
Service model of IEC 61850-7-2	Service	Service applies to Attr with FC		Remark	
GenCommonDataClass model	SetDataValues GetDataValues GetDataDefinition GetDataDirectory	DC, CF, SV, BL ALL ALL ALL			
Data set model	GetDataSetValues DataSetValues	ALL DC, CF, SV, BL			
Reporting model GSE model Sampled values model	Report SendGOOSEMessage SendGSSEMessage SendMSYMessage SendUSYMessage	ALL ST ST ST ST		As specified within the data set that is used to define the content of the message	

Εικόνα 24: Πληροφορίες των StatusInformation κλάσεων.

Κάθε στοιχείο αυτής της κλάσης έχει ένα όνομα (Name), ένα τύπο (Type) συνοδευόμενα και από τη σταθερά FC. Επίσης, είναι δυνατόν να περιλαμβάνονται και τα TrgOp, Value/Value range και τα M/O/C. Η συγκεκριμένη κατηγορία CDC περιλαμβάνει τριών ειδών dataattributes: status, substitutionandblocked και configuration,descriptionandextension. Στον ίδιο πίνακα αναφέρονται επίσης οι υπηρεσίες που παρέχει η συγκεκριμένη ομάδα CDC.

Επιστρέφοντας στο προηγούμενο παράδειγμα, η CDC που περιγράφει τις μετρήσεις φασικών τάσεων σε ένα τριφασικό σύστημα είναι η WYE, η οποία ανήκει στη δεύτερη κατηγορία των CDC -MeasurandInformation. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας –template για αυτήν την κατηγορία, καθώς και ο ορισμός της κλάσης WYE.

Basic measurand information template					
Data attribute name	Type	FC	TrgOp	Value/Value range	M/O/C
DataName	Inherited from GenDataObject Class or from GenSubDataObject Class (see IEC 61850-7-2)				
Data					
DataAttribute					
<i>measured attributes</i>					
<i>substitution</i>					
<i>configuration, description and extension</i>					
Services (see IEC 61850-7-2)					
The following services are inherited from IEC 61850-7-2. They are specialized by restricting the service to attributes with a functional constraint as specified below.					
Service model of IEC 61850-7-2	Service		Service applies to Attr with FC		Remark
GenCommonDataClass model	SetDataValues GetDataValues GetDataDefinition GetDataDirectory		DC, CF, SV, BL ALL ALL ALL		
Data set model	GetDataSetValues DataSetValues		ALL DC, CF, SV, BL		
Reporting model GSE model Sampled values model	Report SendGOOSEMessage SendMSYMessage SendUSVMessage		ALL MX MX MX		As specified within the data set that is used to define the content of the message

Εικόνα 25:Πληροφορίες των MeasurandInformation κλάσεων

WYE class					
Data attribute name	Type	FC	TrgOp	Value/Value range	M/O/C
DataName	Inherited from GenDataObject Class or from GenSubDataObject Class (see IEC 61850-7-2)				
SubDataObject					
phsA	CMV				GC_1
phsB	CMV				GC_1
phsC	CMV				GC_1
neut	CMV				GC_1
net	CMV				GC_1
res	CMV				GC_1
DataAttribute					
<i>configuration, description and extension</i>					
angRef	ENUMERATED	CF	dchg	Va Vb Vc Aa Ab Ac Vab Vbc Vca Vother Aother Synchronphasor	O
phsToNeut	BOOLEAN	CF	dchg	DEFAULT = FALSE	O
d	VISIBLE STRING255	DC		Text	O
dU	UNICODE STRING255	DC			O
cdcNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
cdcName	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
dataNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLN_M
Services					
As defined in Table 29.					

Εικόνα 26:Ορισμός της CDC WYE.

Από τον ορισμό της κλάσης WYE , φαίνεται καθαρά ο αναδρομικός χαρακτήρας των CDC, εφόσον μία CDC ,η WYE, περιέχει στοιχεία άλλης CDC, της CMV. Συγκεκριμένα η WYE περιέχει dataattributes που είναι τύπου BasicType (angRef, phsToNeut, κλπ) και SubDataObjects που είναι τύπου CMV(phsA,phsB κλπ). Στην συνέχεια , από τον ορισμό της CMV (Εικόνα 26), φαίνεται ότι αυτή έχει 25 dataattributes(instCVal,cVal κλπ) , κανένα από τα οποία είναι SubDataObject. Γενικώς είναι αρκετά σύνθηες, η αναδρομή αυτή να εμφανίζεται μόνο σε ένα επίπεδο. Με τη σειρά του το cVal είναι τύπου Vector. Οι κλάσεις Vector και AnalogueValue ορίζονται από το πρότυπο ως ConstructedDataAttributes.

CMV class					
Data attribute name	Type	FC	TrgOp	Value/Value range	M/O/C
DataName	Inherited from GenDataObject Class or from GenSubDataObject Class (see IEC 61850-7-2)				
DataAttribute					
<i>measured attributes</i>					
instCVal	Vector	MX			O
cVal	Vector	MX	dchg, dupd		M
range	ENUMERATED	MX	dchg	normal high low high-high low-low	O
rangeAng	ENUMERATED	MX	dchg	normal high low high-high low-low	O
q	Quality	MX	qchg		M
t	TimeStamp	MX			M
<i>substitution and blocked</i>					
subEna	BOOLEAN	SV			PICS_SUBST
subCVal	Vector	SV			PICS_SUBST
subQ	Quality	SV			PICS_SUBST
subID	VISIBLE STRING64	SV			PICS_SUBST
blkEna	BOOLEAN	BL			O
<i>configuration, description and extension</i>					
units	Unit	CF	dchg	see Annex A	O
db	INT32U	CF	dchg	0 ... 100 000	O
dbAng	INT32U	CF	dchg	0 ... 100 000	O
zeroDb	INT32U	CF	dchg	0 ... 100 000	O
rangeC	RangeConfig	CF	dchg		GC_CON_range
rangeAngC	RangeConfig	CF	dchg		GC_CON_range Ang
magSVC	ScaledValueConfig	CF	dchg		AC_SCAV
angSVC	ScaledValueConfig	CF	dchg		AC_SCAV
angRef	ENUMERATED	CF	dchg	Va Vb Vc Aa Ab Ac Vab Vbc Vca Vother Aother Synchrophasor	O
ampRate	INT32U	CF	dchg		O
d	VISIBLE STRING255	DC		Text	O
dU	UNICODE STRING255	DC			O
cdcNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
cdcName	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLNDA_M
dataNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLN_M
Services					
As defined in Table 29.					

Εικόνα 27:Ορισμός της κλάσης CMV.

Vector type definition			
Attribute name	Attribute type	Value/Value range	M/O/C
mag	AnalogueValue		M
ang	AnalogueValue	-180 < n ≤ +180	AC_CLC_D

Εικόνα 28:Ορισμός της κλάσης Vector.

Εικόνα 27: Ορισμός της κλάσης Vector.

Από τους παραπάνω πίνακες , γίνεται αντιληπτή η αναφορά που πρέπει να κάνεις κανείς για την μέτρηση πχ της φασικής τάσης της φάσης A: “myLD/MMXU1/PhV/phsA/Mag/f”. Στην ακολουθία αυτή το PhV είναι τύπου WYE , το PhsA το CMV,το Mag είναι τύπου Vector και τέλος το f είναι τύπου float,δηλαδή BasicType.

2.7 IEC-61850-7.4 : Βασική επικοινωνιακή δομή-Λογικοί Κόμβοι

Σύμφωνα με το μέρος IEC-61850-7.2, ο λογικός κόμβος ορίζεται ως η στοιχειώδης δομή που μπορεί να σχετιστεί με μία εφαρμογή ,η οποία περιέχει και διαχειρίζεται την πληροφορία.Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι λογικοί κόμβοι ομαδοποιούνται ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται, γεγονός που φαίνεται από το αρχικό τους γράμμα.Για παράδειγμα στην κατηγορία M(measurements) ανήκουν,εκτός των άλλων,οι λογικοί κόμβοι MMXU,MMTR(για μέτρηση ενέργειας) και ο MHAI(για μέτρηση αρμονικών). Αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κατηγορίες των λογικών κόμβων.Οι λογικοί κόμβοι ορίζονται στο μέρος IEC-61850-7.. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι όλο και περισσότεροι λογικοί κόμβοι δημιουργούνται λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας και της διεύρυνσης του προτύπου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το IEC-61850-7-420 που εισάγει νέους λογικούς κόμβους για την μοντελοποίηση στοιχείων διεσπαρμένης παραγωγής.

Group indicator	Logical node groups
A	Automatic control
B	Reserved
C	Supervisory control
D	Distributed energy resources
E	Reserved
F	Functional blocks
G	Generic function references
H	Hydro power
I	Interfacing and archiving
J	Reserved
K ^a	Mechanical and non-electrical primary equipment
L	System logical nodes
M	Metering and measurement
N	Reserved
O	Reserved
P	Protection functions
Q	Power quality events detection related
R	Protection related functions
S ^a	Supervision and monitoring
T ^a	Instrument transformer and sensors
U	Reserved
V	Reserved
W	Wind power
X ^a	Switchgear
Y ^a	Power transformer and related functions
Z ^a	Further (power system) equipment
^a LNs of this group exist in dedicated IEDs if a process bus is used. Without a process bus, LNs of this group are the I/Os in the hardwired IED one level higher (for example in a bay unit) representing the external device by its inputs and outputs (process image).	

Εικόνα29:Κατηγορίες Λογικών κόμβων

Ένας λογικός κόμβος περιέχει dataobjects. Κάθε ένα από αυτά χαρακτηρίζεται από τα πεδία DataObjectName (για το όνομα του), CommonDataClass(για την κλάση στην οποία ανήκει),Explanation(για διευκρίνηση της χρήσης του) ,T(για τα transientdataobjects) και M/O/C.

Για να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω , μπορούμε να πάρουμε ένα παράδειγμα , το λογικό κόμβο MMTR.Ο παρακάτω πίνακας χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο περιέχει το όνομα του λογικού κόμβου συνοδευόμενο από μία σύντομη περιγραφή για τη χρήση του, ενώ το δεύτερο αναφέρεται στα dataobjects που αυτός περιέχει.Ένα από αυτά είναι το TotWh, το οποίο ανήκει στην CDC, BCR, στην οποία πρέπει να ανατρέξει κανείς για να δει την δομή της(IEC-61850-7.3).Το αντικείμενο αυτό, χρησιμοποιείται για να μετρήσει κανείς ενέργεια (Wh), γεγονός που φαίνεται από την περιγραφή

του(netapparentenergy).Επίσης, πρόκειται για ένα προαιρετικό χαρακτηριστικό (Optional),δηλαδή ο χρήστης επιλέγει εάν θα το χρησιμοποιήσει ανάλογα με την εφαρμογή που θα μοντελοποιήσει.

MMTR class				
Data object name	Common data class	Explanation	T	M/O/C
LNName		The name shall be composed of the class name, the LN-Prefix and LN-Instance-ID according to IEC 61850-7-2, Clause 22.		
Data objects				
<i>Measured and metered values</i>				
TotVAh	BCR	Net apparent energy		O
TotWh	BCR	Net real energy		O
TotVArh	BCR	Net reactive energy		O
SupWh	BCR	Real energy supply (default supply direction: energy flow towards busbar)		O
SupVArh	BCR	Reactive energy supply (default supply direction: energy flow towards busbar)		O
DmdWh	BCR	Real energy demand (default demand direction: energy flow from busbar away)		O
DmdVArh	BCR	Reactive energy demand (default demand direction: energy flow from busbar away)		O

Εικόνα 30:Ο λογικός κόμβος MMTR.

2.8 IEC-61850-7.420 Λογικοί Κόμβοι Στοιχείων Διεσπαρμένης Παραγωγής

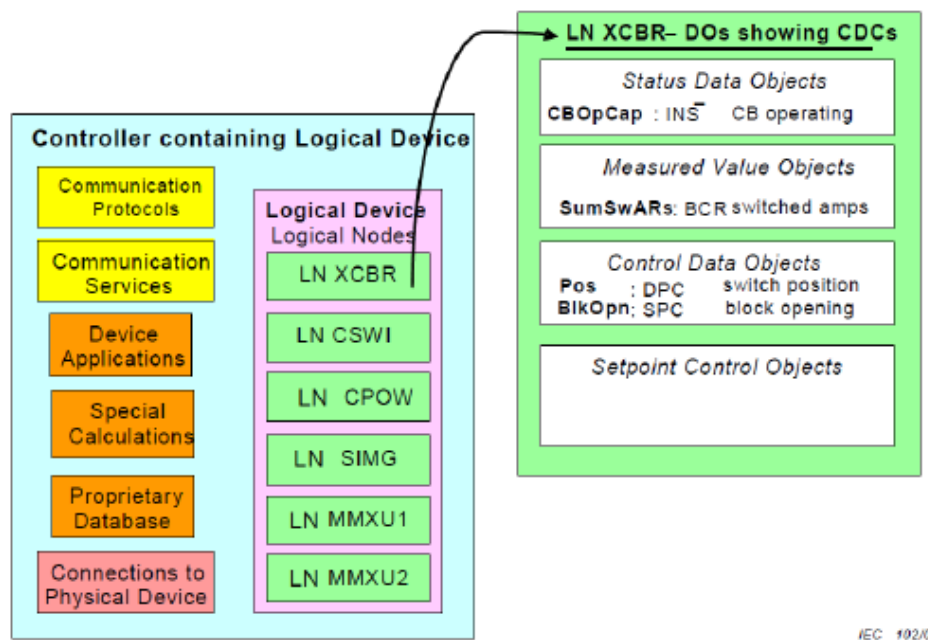
Με το πέρασμα του χρόνου , όλο και περισσότερες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής(DistributeEnergyResources-DER's) συνδέονται στο δίκτυο . Οι μονάδες αυτές συνοδεύονται από διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και κατασκευαστικές προδιαγραφές , γεγονός που κάνει την εγκατάσταση και τη συντήρηση τους αρκετά περίπλοκη.Επιπλέον, δυσκολία εμφανίζεται και στην επικοινωνία με το κυρίως δίκτυο, εφόσον αυτό θα πρέπει να προσαρμόζεται στα εκάστοτε πρωτόκολλα κάθε συσκευής. Επομένως, δημιουργείται η απαίτηση για προτυποποίηση και των διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής , μέσω ενός διεθνούς προτύπου και τον ρόλο αυτό αναλαμβάνει το IEC-61850-7.420. Με την ίδια λογική για να μοντελοποιηθούν οι διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής πρέπει κανείς να εστιάσει σε 4 στάδια:

- ❖ InformationModels: Πληροφοριακά μοντέλα, δομή της πληροφορίας.
- ❖ Service Models: Μοντέλα υπηρεσιών(read, write, report κλπ).
- ❖ CommunicationProtocols: Αντιστοίχιση σε επικοινωνιακά πρωτόκολλα.
- ❖ Telecommunication Media: Φυσικός εξοπλισμός.

Το IEC-61850-7.420 αναφέρεται κυρίως στο πληροφοριακό μοντέλο.Για το μοντέλο υπηρεσιών πρέπει κανείς να ανατρέξει στο 7.2 , ενώ για την αντιστοίχιση σε επικοινωνιακά πρωτόκολλα στα IEC-61850-8/9(για MMS και Ethernet αντίστοιχα).

Τα μοντέλα των λογικών συσκευών που διαχειρίζονται τις φυσικές συσκευές μπορούν να περιέχονται σε έναν ελεγκτή ή σε έναν server. Με τη σειρά του, ο

ελεγκτής/server περιέχει όλη τη δομή της πληροφορίας κατά IEC-61850 σε συνδυασμό με οποιοδήποτε άλλη πληροφορία σχετικά με τις φυσικές συσκευές απαραίτητη τόσο για τις επικοινωνίες ή για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή. Παρόμοια με προηγουμένως, η λογική συσκευή περιέχει έναν ή περισσότερους λογικούς κόμβους (κατάλληλους για κάποια εφαρμογή), ενώ αυτοί περιέχουν ένα ή περισσότερα dataobjects. Η λογική είναι η ίδια με τα IEC-61850-7.2/.3/.4 και φαίνεται στην Εικόνα 30.



Εικόνα 31: Μοντέλο ελεγκτή που περιέχει μία λογική συσκευή, μαζί ειδικές πληροφορίες για τις φυσικές συσκευές

Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι το πρότυπο δεν δίνει ορισμούς για συγκεκριμένες λογικές συσκευές, δηλαδή με συγκεκριμένους λογικούς κόμβους. Αντίθετα, δίνεται μία ποικιλία λογικών κόμβων, και έπειτα είναι θέμα του σχεδιαστή ποιους θα επιλέξει για να κατασκευάσει μία λογική συσκευή, η οποία θα αναπαριστά τη φυσική συσκευή που έχει στη διάθεση του. Από την άλλη το IEC-61850-7.420 κάνει κάποιες προτάσεις-χωρίς να δίνει περεταίρω διευκρινίσεις- σχετικά με το ποιοι λογικοί κόμβοι θα χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιήσουν μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

Το πρώτο στοιχείο που μοντελοποιεί το IEC-61850.7-420 είναι το σημείο σύνδεσης που αναφέρεται ως electrical connection point –ECP. Το ΣΣΔ είναι το σημείο του δικτύου MT ή XT όπου συνδέονται οι εγκαταστάσεις του παραγωγού και βρίσκεται πάντα στην έξοδο των εγκαταστάσεων αυτών. Στο ΣΣΔ εγκαθίσταται η διάταξη μέτρησης της ενέργειας που εισέρχεται ή εξέρχεται από την εγκατάσταση. Η ενέργεια που αποδίδει ο παραγωγός στο δίκτυο και η ενέργεια που απορροφά το δίκτυο ως καταναλωτής μεταφέρεται πάντα μέσω της ίδιας παροχής.

Να σημειωθεί ότι το πρότυπο δεν κάνει διάκριση μεταξύ του σημείου σύνδεσης και του σημείου κοινής σύνδεσης. Το σημείο κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ) είναι το πλησιέστερο προς τις εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου, στο οποίο συνδέεται (ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά) άλλος καταναλωτής ή παραγωγός. Το ΣΚΣ αποτελεί ένα σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό των προκαλούμενων επιπτώσεων στο δίκτυο από την εγκατάσταση παραγωγής. Γενικά, το ΣΣΔ και το ΣΚΣ μπορεί να είναι διαφορετικά.

Σύμφωνα με το πρότυπο το ECP πρέπει να επιτελεί τις λειτουργίες που μοντελοποιούνται από τους παρακάτω λογικούς κόμβους. Πολλοί από αυτούς έχουν οριστεί σε προηγούμενα μέρη του προτύπου (MMXU, MMTR, XCBR, CSWI/IEC-61850-7.4) ενώ άλλοι, ειδικότερης χρήσης, εισάγονται στο 7.420.

DCRP	DER plant corporate characteristics
DOPA	DER operational control authorities
DOPR	DER plant operational characteristics
DOPM	DER operating mode
DPST	Actual status at each ECP
DCCT	Economic dispatch parameters
DSCC	Control of energy and ancillary services schedules
DSCH	Schedule for DER plant to provide energy and/or ancillary services
CSWI	Describes the controller for operation of the various switches
XCBR	Protection relay
MMXU	Measurements
MMTR	Interval Metering Information

Εικόνα 32: Λογικοί Κόμβοι για το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο-ECP

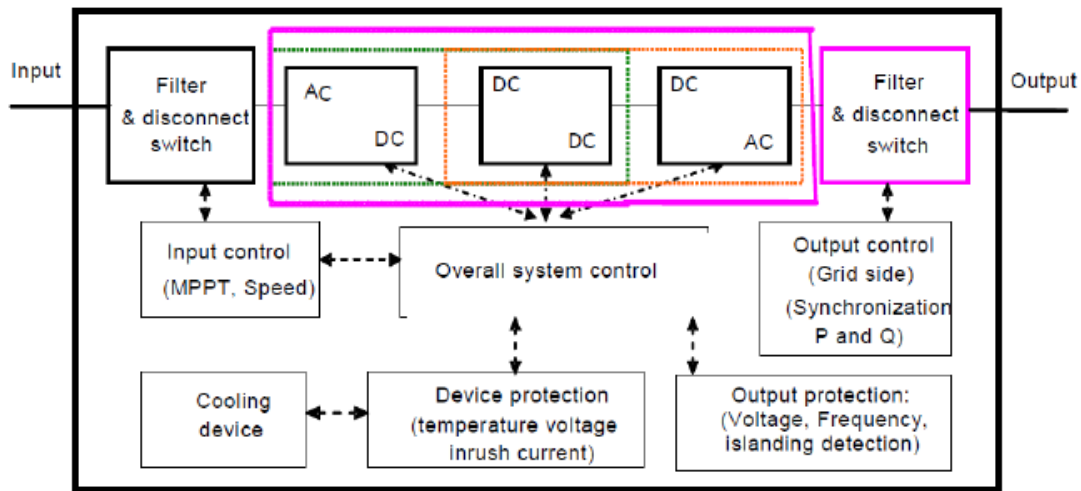
Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των λογικών κόμβων που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μέρος, όπως και κάποια παραδείγματα περιγραφής στοιχείων διεσπαρμένης παραγωγής σύμφωνα με το IEC-61850.

Οι λογικοί κόμβοι που εισάγονται στο IEC-61850-7.420 μπορούν να χωριστούν σε 4 κατηγορίες:

1. Για συστήματα διαχείρισης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής
 - a. για το ECP.
 - b. για τη μονάδα ελέγχου.
2. Για τα συστήματα παραγωγής
 - a. Για τις μονάδες παραγωγής
 - b. Για τις μονάδες διέγερσης
 - c. Για την μονάδα ελέγχου συχνότητας/στροφών
3. Για ειδικούς τύπους στοιχείων διεσπαρμένης παραγωγής
 - a. Για παλινδρομικό κινητήρα

- b. Για γεννήτριες καυσίμων
 - c. Για φωτοβολταϊκά συστήματα
 - d. Για μονάδες συνδυασμένου κύκλου(combined heat and power -CHP)
4. Για βοηθητικά συστήματα
- a. Για το σύστημα καυσίμων
 - b. Για το σύστημα μπαταριών
 - c. Για το σύστημα ασφάλειας
 - d. Για το σύστημα μέτρησης

Για να βρει κανείς τον τυπικό ορισμό για κάθε λογικό κόμβο θα πρέπει να αναφερθεί στο πρότυπο , όπου εισάγονται και 4 καινούριες CDC. Να τονιστεί επίσης ότι οι λογικοί κόμβοι που εισάγονται και αφορούν καθαρά μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, ανήκουν στην ομάδα D(DER's). Παρόλα αυτά το πιο ενδιαφέρον σημείο του μέρους αυτού δεν είναι οι καινούριοι λογικοί κόμβοι που εισάγονται, αλλά η αναπαράσταση πραγματικών μονάδων παραγωγής. Συγκεκριμένα, στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι λειτουργίες ενός inverter και παρακάτω , οι λογικοί κόμβοι που αναπαριστούν αυτές τις λειτουργίες. Το πρότυπο ορίζει έναν λογικό κόμβο για το DC-AC μέρος (αντιστροφέας-inverter) και άλλο ένα λογικό κόμβο για το AC-DC μέρος (ανορθωτής-rectifier).



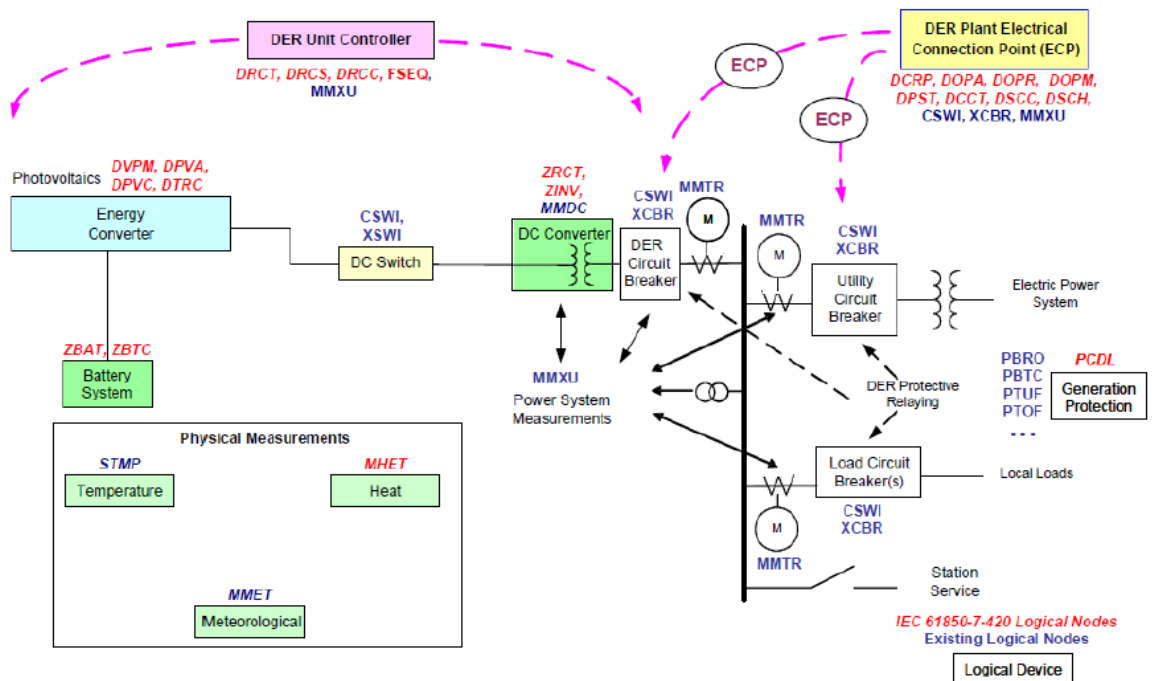
Εικόνα 33: Λειτουργίες ενός inverter προς μοντελοποίηση

Οι λογικοί κόμβοι που εισάγει το πρότυπο για την αναπαράσταση του inverter κατά IEC-61850 είναι:

- ❖ ZRCT: Rectifier (AC/DC)

- ❖ ZINV: Inverter (DC/AC)
- ❖ DRAT: Inverter nameplate data
- ❖ MMDC: Measurement of intermediate DC
- ❖ MMXU: Measurement of AC input
- ❖ MMXU: Measurement of AC output
- ❖ CCGR: Cooling group control for cooling fans

Πιο αναλυτικά, η Εικόνα 33 , δείχνει ένα δίκτυο που αποτελείται από φωτοβολταϊκές μονάδες παραγωγής, που συνδέονται σε ένα ζυγό , στον οποίο είναι συνδεδεμένα και φορτία. Το φωτοβολταϊκό σύστημα μοντελοποιείται από τους λογικούς κόμβους DVPM,DPVA,DPVC και DTRC , ενώ το σύστημα μπαταριών από τους ZBAT και ZBTC. Στη συνέχεια έπεται ένας DC διακόπτης (CSWI , XSWI) και ακολουθεί ο inverter (ZINV, ZRCT,MMDC,MMXU). Τέλος την σύνδεση στο ζυγό υπάρχει ένας αποζεύκτης με τους λογικούς κόμβους CSWI και XCBR. Το μικροδίκτυο της διεσπαρμένης παραγωγής είναι υπό την επιτήρηση ενός ελεγκτή (DERUnitController), ο οποίος αναπαρίσταται από τους λογικούς κόμβους DRCT , DRCS, DRCC και FSEQ.



IEC 113/09

Εικόνα 34: Μοντελοποίηση μικροδικτύου φωτοβολταϊκής παραγωγής.

Στο παραπάνω σχήμα, τα παραλληλόγραμμα δηλώνουν λογικές συσκευές. Πάνω από κάθε λογική συσκευή υπάρχουν οι λογικοί κόμβοι που αυτή περιέχει. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι λογικοί κόμβοι που εισάγονται στο IEC-61850-7.420, ενώ με μπλε αυτοί που προϋπήρχαν από το IEC-61850-7.2 Είναι σημαντικό το γεγονός ότι στο 7.420

δίνονται προτάσεις για ενδεχόμενες υλοποιήσεις και έτσι το μέρος αυτό διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα.

Παρόλα αυτά , το μοντέλο που φαίνεται στην Εικόνα 33 δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση κανόνα. Κάθε μικροδίκτυο διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να έχει δομικές και λειτουργικές διαφορές από το συγκεκριμένο μοντέλο. Οι διαφορές αυτές μοντελοποιούνται με άλλους λογικούς κόμβους ή ακόμα και με άλλες λογικές συσκευές. Δηλαδή, ο σχεδιαστής επιλέγει πως θα μοντελοποιήσει το σύστημα του, ανάλογα με τα ειδικά του χαρακτηριστικά.

2.9 Ο ρόλος των αρχείων XML στο IEC-61850(IEC-61850-6)

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε η οργάνωση των δεδομένων κατά IEC-61850 και δόθηκε και ένα παράδειγμα μοντελοποίησης δικτύου διεσπαρμένης παραγωγής. Τα αρχεία XML κατέχουν σπουδαία θέση στο πρότυπο εφόσον μπορούν να περιγράψουν με ένα αυστηρό τρόπο τη ρύθμιση μιας συσκευής ή ενός συστήματος. Κάθε συσκευή(IED) , προτυποποιημένη κατά IEC-61850, έχει ένα αρχείο XML που αποτελεί την «αυτό - περιγραφή» της. Έτσι , κάθε IED μπορεί να διαθέσει το αρχείο αυτό στο σύστημα με το οποίο θέλει να συνδεθεί ,κάνοντας την επικοινωνία τους ένα απλό θέμα.

Όπως αναφέρει το πρότυπο ο ρόλος των XML αρχείων είναι η διαλειτουργική ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών , σε σαφώς καθορισμένα στάδια. Μελλοντικά , το IEC-61850 , αποσκοπεί να προσδώσει το χαρακτηριστικό του “plug-n-play” στα στοιχεία ενός ηλεκτρικού δικτύου, γεγονός που βασίζεται στα XML αρχεία. Εφόσον οι συσκευές χαρακτηρίζονται από “plug-n-play” , θα έχουν τη δυνατότητα να «αυτορυθμίζονται» και να συνεργάζονται χωρίς επιπλοκές , με ελάχιστη ή και καθόλου χειρονακτική ρύθμιση. Η χρήση και η δομή τέτοιων αρχείων XML βρίσκεται στο μέρος IEC-61850-6.

2.9.1Η γλώσσα XML

Η XML είναι μία νέα σχετικά “mark-up” γλώσσα και το όνομα της είναι συντομογραφία του “eXtensibleMarkupLanguage”. Ακριβώς όπως η HTML, η XML κάνει χρήση ετικετών (tags).Στην XML όμως ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει tags ειδικού νοήματος , για να περιγράψει το πεδίο εφαρμογής τους. Εάν μια συσκευή , για παράδειγμα, μετρά την τάση μιας φάσης και αποθηκεύει την τιμή της ως float, θα μπορούσε κανείς να προσθέσει το tag<phsAf> , δίνοντας έτσι στον καθένα μια απλή και κατανοητή περιγραφή της λειτουργίας της συσκευής. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να προσθέσει νέα tags στην περίπτωση αλλαγών του συστήματος, πχ εάν προστεθεί μία νέα συσκευή. Για αυτόν ακριβώς το λόγο η XML χαρακτηρίζεται ως extensible.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η XML είναι μία γλώσσα mark-up, δηλαδή μία γλώσσα σήμανσης. Ο χαρακτηρισμός mark-up αναφέρεται στο γεγονός ότι το αρχείο XML δεν περιέχει απλά μία μεγάλη συμβολοσειρά. Με τη σήμανση του αρχείου μπορεί κανείς να δώσει συγκεκριμένη αξία και πλαίσιο σε κάθε μέρος του εγγράφου. Η XML δεν είναι μία γλώσσα προγραμματισμού, αλλά προφανώς και αποτελεί γλώσσα, εφόσον η δομή και το συντακτικό της περιγράφονται από ένα σύνολο αυστηρών κανόνων.

2.9.3 Substation Configuration Language (SCL)

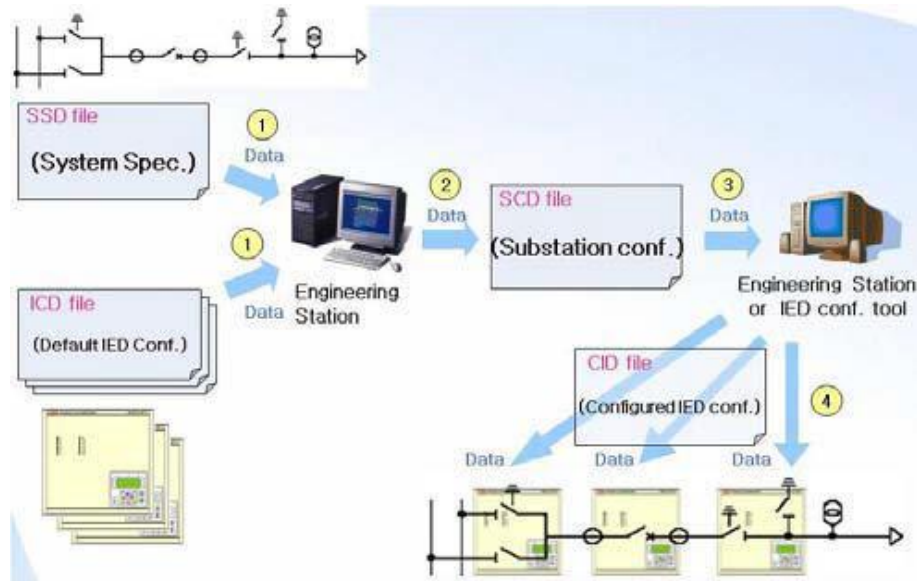
Το κυρίως αρχείο XML που χρησιμοποιείται είναι το Substation Configuration File-SCL. Ένα αρχείο SCL περιέχει πληροφορίες για τη δομή του υποσταθμού. Ο σκελετός της πληροφορίας, που στην περίπτωση του IEC-61850 είναι αντικειμενοστραφής περιγραφή, έχει τη μορφή ενός δέντρου και περιγράφεται μέσω της XML. Κάθε εφαρμογή όμως έχει συγκεκριμένους περιορισμούς, γεγονός που πρέπει να αντικατοπτρίζεται και στην περιγραφή κατά XML. Αυτοί οι κανόνες κάθε εφαρμογής είναι μέρος του «σχήματος XML» (XMLscheme). Το σχήμα XML ουσιαστικά περιγράφει τη δομή του αρχείου XML και λειτουργεί ως πρότυπο για τη σήμανση του.

Το μέρος IEC-61850-6 περιγράφει τα αρχεία SCL μέσω της XML. Όπως αναφέρεται, η χρήση των αρχείων είναι για να περιγράψουν τη συνδεσιμότητα και τη διαμόρφωση κάθε συσκευής, τα συστήματα επικοινωνίας όπως επίσης και τις σχέσεις συστήματος-συστήματος και συστήματος-κέντρου ελέγχου. Σύμφωνα με το ίδιο μέρος, τα αρχεία αυτά περιγράφουν το μονογραμμικό σχέδιο του υποσταθμού, τις συσκευές IED που χρησιμοποιούνται και τα επικοινωνιακά interface. Υπάρχουν 4 τύποι αρχείων XML που χρησιμοποιούνται στο IEC-61850:

- ❖ SSD(System Specification Description): Περιγράφει το μονογραμμικό σχέδιο του υποσταθμού και τις λειτουργικές του απαιτήσεις που αναπαριστούνται από τους λογικούς κόμβους.
- ❖ ICD(IED Capability Descriptions): Τα αρχεία αυτά περιγράφουν τις δυνατότητες μιας IED. Επίσης περιέχουν τους λογικούς κόμβους που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της συσκευής και τις δυνατότητες που έχει για επικοινωνιακές υπηρεσίες.
- ❖ SCD(Substation Configuration Description): Τα αρχεία αυτά περιέχουν την περιγραφή του υποσταθμού και την επικοινωνιακή διαμόρφωση όλων των IED.
- ❖ CID(Configured IED Description): Αυτά τα αρχεία είναι στην πραγματικότητα διαμορφωμένα αρχεία ICD, δηλαδή περιέχουν συγκεκριμένα ονόματα και διευθύνσεις του υποσταθμού.

Όπως προαναφέρθηκε το πρότυπο ορίζει την SCL-System Configuration Description Language η οποία βασίζεται στην XML και στην οποία βασίζεται η ιδέα του «plug and play», εφόσον αυτή είναι το μέσο ρύθμισης των συσκευών. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στην εικόνα 38. Το αρχείο

SSD(SystemSpecificationDescription) περιέχει μία περιγραφή του υπάρχοντος συστήματος, με τη μορφή μονογραμμικού σχεδίου. Παράλληλα το αρχείο ICD((IEDConfigurationDescription), παρέχεται από τον κατασκευαστή της συσκευής και περιέχει χαρακτηριστικά της και default ρυθμίσεις της. Αφού τα δύο παραπάνω επεξεργαστούν και συνδυαστούν, προκύπτει το SCD(SystemConfigurationDescription) αρχείο. Τέλος, αυτό επεξεργάζεται περαιτέρω αντικαθιστώντας τις προκαθορισμένες τιμές της συσκευής με τις πραγματικές τιμές του συστήματος, και έτσι προκύπτει το αρχείο CID (ConfiguredIEDDescription). Το προκύπτον αυτό αρχείο διαμοιράζεται πλέον σε όλες τις υπόλοιπες συσκευές (IED), με βάση το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων FTP(FileTransferProtocol).

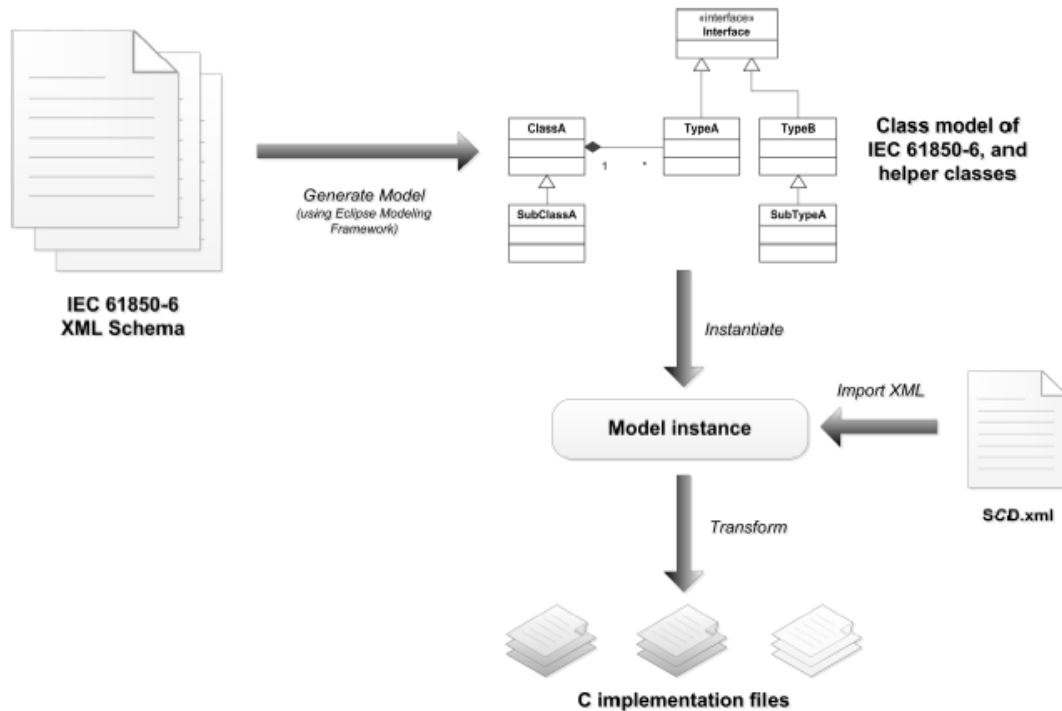


Εικόνα35:Εφαρμογή της SCL

Επιπλέον γίνονται έρευνες που περιγράφουν τις εφαρμογές της SCL που μπορεί να είναι εκτός πεδίου IEC-61850, αλλά υποστηρίζονται από την SCL. Τέτοια εφαρμογή μπορεί να είναι για παράδειγμα ένας έλεγχος για το εάν το σύστημα είναι συνεπές, δηλαδή εάν λειτουργεί σωστά κατά την εκκίνηση και κατά την αλλαγή ρυθμίσεων Αρχεία SCL μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης και για εφαρμογές συντήρησης: Όταν μια IED πρέπει να αντικατασταθεί η επόμενη IED πρέπει να ρυθμιστεί όπως η πρώτη, και ο τρόπος αυτός φαίνεται στο SCL αρχείο.

Σε άλλη έρευνα η SCL χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει αυτόματα κώδικα σε C , που θα υλοποιεί τη λογική συσκευή που ορίζεται στο SCD αρχείο. Σκοπός της έρευνας αυτής είναι να περιγράψει μια προσέγγιση για αυτόματη δημιουργία κώδικα χαμηλού επιπέδου για GSE (GenericSubstationEvent) και SampledValues μηνύματα. Ουσιαστικά η παραπάνω διαδικασία είναι εφαρμογή του IEC-61850-8.1 και του IEC-61850-9.2

Συγκεκριμένα το EclipseModelingFramework μπορεί να εισάγει αρχεία XML μαζί με το σχήμα τους και να παράγει κώδικα σε Java που αναπαριστά το μοντέλο, ο οποίος μπορεί να μεταφραστεί σε C για συγκεκριμένες εφαρμογές. Έτσι η ιεραρχία των κλάσεων δημιουργείται αυτόματα με δεδομένα από αρχείο SCD. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να γίνει και χειροκίνητα, εφόσον κάποιος κατασκευάσει τις κλάσεις με την ιεραρχία τους και έπειτα δημιουργήσει τα αντικείμενα αυτών, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην παρακάτωεικόνα



Εικόνα36: Δημιουργία κώδικα C από XML σχήμα.

Παρόμοια λογική παρουσιάζεται και σε ακόμα μία έρευνα, όπου στόχος της είναι να δημιουργείται αυτόματα το μοντέλο δεδομένων και ο χαμηλού επιπέδου κώδικας της επικοινωνίας για μία ή περισσότερες IED, από το SCD αρχείο. Η προσέγγιση αυτή είναι πολύ σημαντική γιατί εξοικονομεί αρκετό χρόνο για την υλοποίηση των μοντέλων.

2.10 Επικοινωνιακά πρωτόκολλα του IEC-61850

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα επικοινωνιακά πρωτόκολλα που αναφέρονται στο IEC-61850 προκειμένου ο αναγνώστης να έχει μία ευρύτερη άποψη για το πρότυπο.

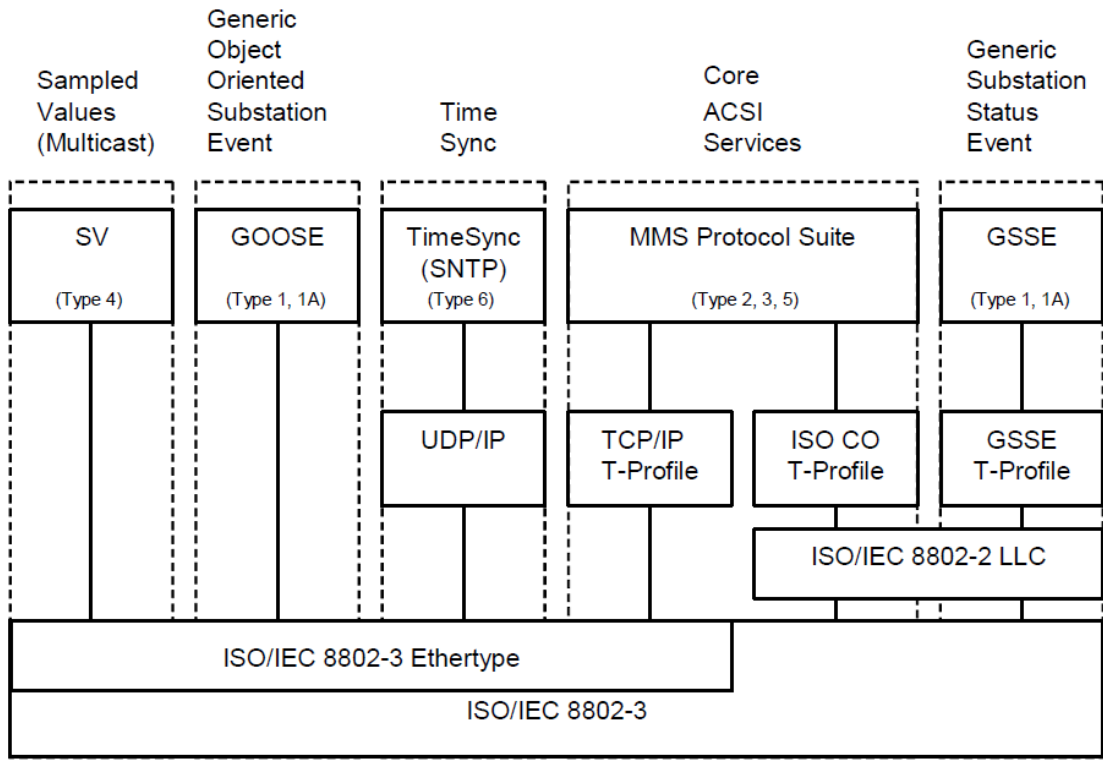
Αρχικά , το IEC 61850-8-1 περιγράφει την εφαρμογή των αντικειμένων και των υπηρεσιών που παρουσιάζονται στο IEC 61850-7 χρησιμοποιώντας διάφορα πρωτόκολλα όπως φαίνονται παρακάτω. Από την εικόνα 35 φαίνεται ότι τα μηνύματα GOOSE(GenericObjectOrientedSubstationEvents)και GSSE(GenericSubstationStateEvents)αντιστοιχούνται κατευθείαν σε ξεχωριστά Ethertypesγια βελτιστοποίηση της αποκωδικοποίησης. ΣυγκεκριμέναταγεγονόταGOOSEανήκουνσεένα μοντέλο έλεγχου όπου τα δεδομένων(τιμών, statusκλπ)ομαδοποιούνται σε data-setsκαι στέλλονται μέσα σε χρονικό διάστημα 4ms. Τα μηνύματα αυτά αντιστοιχούνται απευθείας στοEthernetκαι αυτό τα καθιστά αρκετά γρήγορα και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σε θέματα προστασιών. Το ίδιο ισχύει και για τα μηνύματα SampledValues.

Από την άλλη, τα μηνύματα χαμηλής ή μέτριας ταχύτητας , όπως επίσης και η μεταφορά αρχείων υλοποιούνται με το πρωτόκολλο MMS(ManufacturingMessageSpecification). Το MMSείναι ένα διεθνές προτυποποιημένο σύστημα , για ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο όπως επίσης και για εφαρμογές ελέγχου και εποπτείαςμεταξύ συσκευών του δικτύου και άλλων εφαρμογών.

Συγκεκριμένα το πρότυπο(IEC 61850-7-2 Ed.2), κατηγοριοποιεί τα μηνύματα σε 6 κατηγορίες:

- ❖ Type 1 (Fast messages)
- ❖ Type 1A (Trip)
- ❖ Type 2 (Medium speed messages)
- ❖ Type 3 (Low speed messages)
- ❖ Type 4 (Raw data messages)
- ❖ Type 5 (File transfer functions)
- ❖ Type 6 (Timesynchronisationmessages)

Ο απαιτούμενος χρόνος μεταφοράς εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής . Για παράδειγμα τα μηνύματα τύπου 1A (Trip) που αφορούν την εντολή να ανοίξει ένας διακόπτης προστασίας, πρέπει να είναι αρκετά γρήγορα ,περίπου 3 ms, έτσι ώστε να αποφευχθεί βλάβη του συστήματος. Από την άλλη το χρονικό διάστημα μεταφοράς αρχείων δεν χρειάζεται να είναι μικρό , γιατί δεν πρόκειται κρίσιμα μηνύματα. Για αυτό το λόγο κυμαίνεται από 1000 έως 10000 ms



Εικόνα 37:Πρωτόκολλα επικοινωνίας του IEC-61850.

Αναλυτικά, το IEC-61850-8.1 ασχολείται με την αντιστοίχιση των δομών που αναφέρονται στο IEC-61850-7(server, λογική συσκευή , λογικός κόμβος, DATA, dataattributeκαι basictypes) στο επικοινωνιακό πρωτόκολλο MMS.Συγκεκριμένα στο μέρος αυτό παρέχονται πίνακες που αντιστοιχούν ολόκληρο το ACSI(AbstractCommunicationServiceCommunicationInterface) στο MMS. Ένα παράδειγμα είναι η υπηρεσία της κλάσης DATA,GetDataValues .Στην Εικόνα 36, φαίνεται αναλυτικά η αντιστοίχιση αυτής της υπηρεσίας στο πρωτόκολλο MMS . Τέτοιοι πίνακες υπάρχουν τόσο για το πληροφοριακό μοντέλο όσο και για όλες τις παρεχόμενες υπηρεσίες.

Επιπλέον, και οι υπηρεσίες GOOSEμπορούν να αντιστοιχηθούν στο MMS (όπως πχ GOOSE controlblockπου ορίζεται στο IEC-91850-2).

GetDataValues parameters	MMS service or parameter
Request	Read request service
Reference	variableAccessSpecification
Response+	Read response service
DataAttributeValue[1..n]	listOfAccessResult
Response-	Read response service
ServiceError	listOfAccessResult

Εικόνα 38:Αντιστοίχιση της υπηρεσίας GetDataValues στο MMS.

Όπως καταλαβαίνει κανείς από τα παραπάνω , ο ρόλος των επικοινωνιών στο πρότυπο είναι πολύ σημαντικός. Όμως δεν πρέπει να ξεχνάει κανείς ότι το IEC-61850 είναι ένα πρότυπο και όχι ένα επικοινωνιακό πρωτόκολλο. Αυτό σημαίνει ότι περιγράφει τις επικοινωνίες ανεξαρτήτως εκάστοτε πρωτοκόλλου. Από την άλλη, προσφέρει αντιστοιχίσεις σε πρωτόκολλα, όπως το MMS. Το πρωτόκολλο αυτό επιλέχθηκε γιατί θεωρείται γενικώς επιτυχημένο και αξιόπιστο, αλλά αυτό δεν αποκλείει αντιστοιχίσεις σε άλλα πρωτόκολλα.

2.10.1 Το πρωτόκολλο MMS

Το MMS είναι ένα επικοινωνιακό μοντέλο client-server. Το MMS ορίζει τη διαφορά μεταξύ της οντότητας που ορίζει/απαιτεί τη σύνδεση και της οντότητας που δέχεται τη σύνδεση. Η πρώτη οντότητα καλείται client, ενώ η δεύτερη καλείται server. Σε αυτό το μοντέλο, ο client μπορεί να ζητά δεδομένα, κάθε στιγμή που η σύνδεση είναι έγκυρη, και έτσι τα μηνύματα ακολουθούν ένα demand/response μηχανισμό.

Το MMS επιπλέον παρέχει υπηρεσίες αναφοράς (reportservices). Σε αυτές τις υπηρεσίες τα αντικείμενα των report-control-blocks διαμορφώνονται στο server, ο οποίος μπορεί να περιορίσει την πρόσβαση σε αυτά , από έναν ή περισσότερους clients. Η αναφορά πρέπει να ενεργοποιείται ανάλογα με κάποιες δεδομένες συνθήκες που αντικατοπτρίζονται στο dataattributeTrgOps. Κάποιες τυπικές συνθήκες για δημιουργία αναφοράς είναι : data-change, quality-change, data-update. Στο πρωτόκολλο MMS οι συνθήκες αυτές κωδικοποιούνται ως PACKED_LIST με δεδομένα τύπου bit-string που αναπαριστά ένα διατεταγμένο σύνολο τιμών, που δείχνει πότε ενεργοποιείται καθένα από αυτά.

- ❖ Bit 0 reserved
- ❖ Bit 1 data-change
- ❖ Bit 2 quality-change
- ❖ Bit 3 data-update
- ❖ Bit 4 integrity
- ❖ Bit 5 general-interrogation

Το Application Profile του MMS μπορεί να αντιστοιχηθεί στο TCP-IPT-Profile ή στο OSIT-Profile. Παρακάτω φαίνεται το A-Profile του MMS.

OSI model layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Application	Manufacturing Message Specification	ISO 9506-1:2003	ISO 9506-2:2003	m
	Association Control Service Element	ISO/IEC 8649:1996	ISO/IEC 8650:1996	m
Presentation	Connection Oriented Presentation	ISO/IEC 8822:1994	ISO/IEC 8823-1:1994	m
	Abstract Syntax	ISO/IEC 8824-1:1999	ISO/IEC 8825-1	m
Session	Connection Oriented Session	ISO/IEC 8326:1996	ISO/IEC 8327-1:1997	m

Εικόνα 39: Υπηρεσίες και πρωτόκολλα για client-server επικοινωνίες A-profile

Το TCP/IPT-profile (transport profile) παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

OSI Model Layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Communication	Requirement for internet host	RFC 1122		m
Transport	ISO Transport on top of TCP	RFC 1006		m
	Internet Control Message Protocol (ICMP)	RFC 792		m
	Transmission Control Protocol (TCP)	RFC 793		m
Network	Internet Protocol	RFC 791		m
	An Ethernet Address Resolution Protocol (ARP)	RFC 826		m
Link Redundancy	Parallel Redundancy Protocol and High Availability Seamless Ring	IEC 62439-3		o
DataLink	Standard for the transmission of IP datagrams over Ethernet networks	RFC 894		m
	Carrier Sense Multiple Access with collision detection (CSMA/CD)	ISO/IEC 8802-3:2001		m
Physical (option 1)	10Base-T/100Base-T	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Interface connector and contact assignments for ISDN Basic Access Interface. ^a	ISO/IEC 8877:1992		
Physical (option 2)	Fibre optic transmission system 100Base-FX	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Basic Optical Fibre Connector. ^b	IEC 60874-10-1, IEC 60874-10-2 and IEC 60874-10-3		
^a This is the specification for the 10BaseT connector. ^b This is the specification for the ST connector. c1 It is recommended to implement at least one of the two Physical interfaces. Additional or future technologies may be used.				

Εικόνα40: TCP/IP T-profile

2.10.2 Υπηρεσίες GOOSE

Οι υπηρεσίες GOOSE-Generic Object Oriented Substation Events, παρέχουν γρήγορη και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων βάσει του μηχανισμού publisher-subscriber (Generic Substation Event – GSE management). Συγκεκριμένα, το GOOSE είναι η μία από τις δύο κλάσεις ελέγχου που παρέχονται στο μοντέλο του GSE. Η άλλη είναι η GSSE-Generic Substation State Events.

Το GOOSE χρησιμοποιεί data-sets για να ομαδοποιήσει τα δεδομένα προς αποστολή. Η χρήση των data-sets επιτρέπει τη νομαδοποίηση πολλών διαφορετικών data και data-

attributes .ΟπαρακάτωπίνακαςδείχνειτοApplicationProfile(A-Profile)
τωνGSE/GOOSEυπηρεσιών.

OSI model layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Application	GSE/GOOSE protocol	See Annex A		m
Presentation	Abstract Syntax	NULL		m
Session				

Εικόνα41:GOOSE Communication A-Profile.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το GOOSEδεν αντιστοιχείται σε OSI TCP/IP
προφίλ(πχ MMS) , αλλά αντιστοιχείται κατευθείαν στοEthernetπρωτόκολλο.

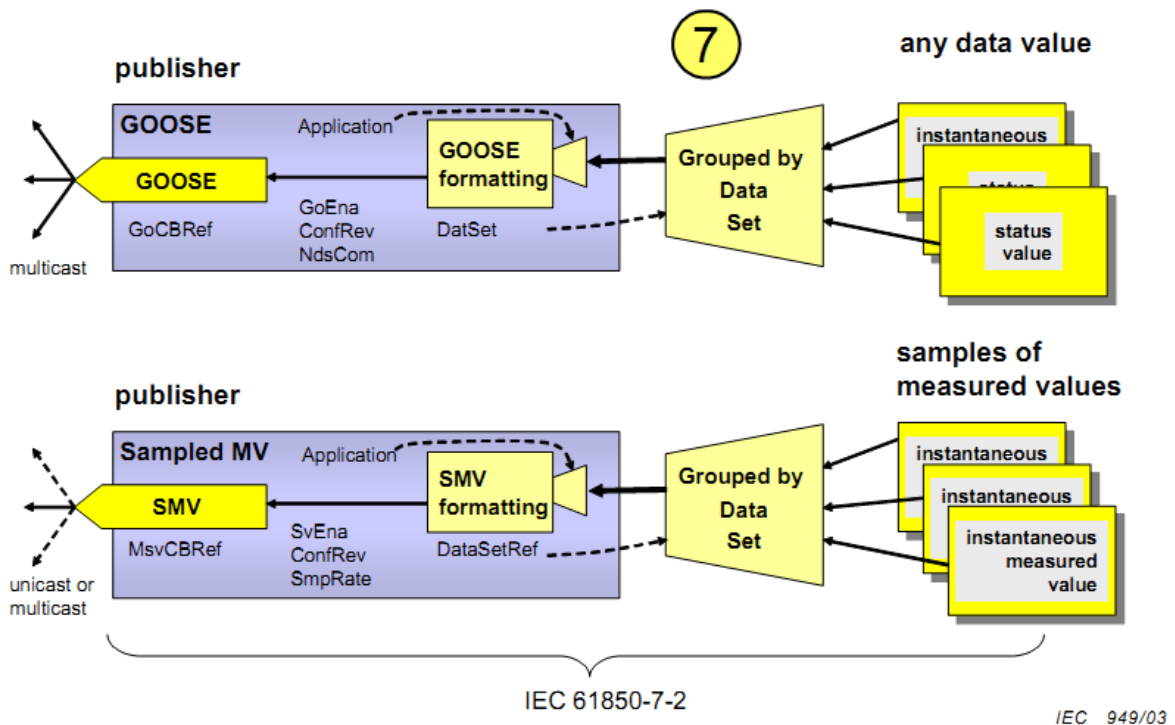
OSI model layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Transport				
Network				
Link Redundancy	Parallel Redundancy Protocol and High Availability Seamless Ring	IEC 62439-3		o
DataLink	Priority Tagging/ VLAN	IEEE 802.1Q		m
	Carrier Sense Multiple Access with collision detection (CSMA/CD).	ISO/IEC 8802-3:2001		m
Physical (option 1)	10Base-T/100Base-T	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Interface connector and contact assignments for ISDN Basic Access Interface. ^a	ISO/IEC 8877:1992		
Physical (option 2)	Fibre optic transmission system 100Base-FX	ISO/IEC 8802-3:2001		c1
	Basic Optical Fibre Connector. ^b	IEC 60874-10-1, IEC 60874-10-2 and IEC 60874-10-3		
^a This is the specification for the 10BaseT connector. ^b This is the specification for the ST connector. c1 It is recommended to implement at least one of the two physical interfaces. Additional or future technologies may be used.				

Εικόνα42:GOOSE T-Profile

Ανάμεσα τις υπηρεσίες GOOSE, παρέχεται και η ταυτόχρονη παράδοση τις ίδιας πληροφορίας, συγκεκριμένα όπως αναφέρεται, του ίδιου «genericsubstationevent», σε περισσότερες από μία συσκευές (multicast). Επιπλέον , τα μηνύματα GOOSEπεριέχουν πληροφορίες που δίνουν τη δυνατότητα στις συσκευές που τα δέχονται, να καταλαβαίνουν μία αλλαγή κατάστασης(status) και την ώρα τελευταίας αλλαγής.

2.10.3 Sampled Values

Το πρωτόκολλο Sampled Values ασχολείται με τη μετάδοση αναλογικών μετρήσεων τάσης και ρεύματος. Αυτού του τύπου τα μηνύματα ανταλλάσσονται μέσω ενός μηχανισμού peer-to-peer, subscriber/publisher, όπως τα μηνύματα GOOSE. Από την άλλη, τα μηνύματα GOOSE είναι multicast, ενώ τα μηνύματα Sampled Values μπορεί να είναι είτε multicast είτε unicast.

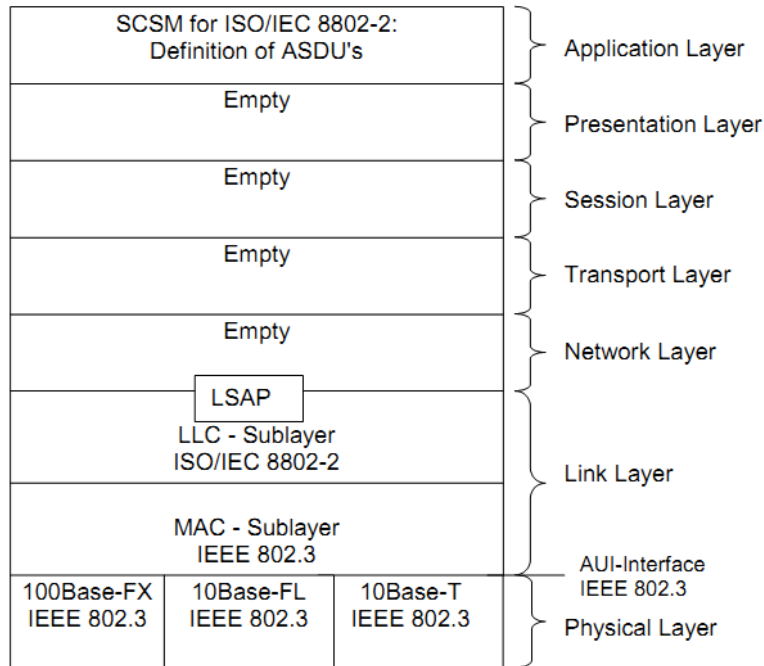


Εικόνα 43: Μοντέλο peer-to-peer μετάδοσης μηνυμάτων GOOSE και Sampled Values.

Η μετάδοση των Sampled Values ελέγχεται από το MULTICAST-SAMPLE-VALUE-CONTROL-BLOCK – MSVCB ή από το UNICAST-SAMPLE-VALUE-CONTROL-BLOCK – USVCB ανάλογα αν πρόκειται για multicast ή unicast μετάδοση.

Ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να μεταβάλλεται ρυθμίζοντας το dataattributeSmpMod, το οποίο ορίζει τη μονάδα δείγματος (για παράδειγμα: δείγματα ανά ονομαστική χρονική περίοδο, δείγματα ανά δευτερόλεπτο ή δευτερόλεπτα ανά δείγμα) και το dataattributeSmpRate, το οποίο ορίζει το ρυθμό μετάδοσης χρησιμοποιώντας τον ορισμό του SmpMod.

Η αντιστοίχιση των Sampled Values στο πρωτόκολλο Ethernet γίνεται στο μέρος 9.1 και 9.2 του IEC-61850. Η επόμενη εικόνα δείχνει το επικοινωνιακό προφίλ που ορίζεται στο 9.1.



Εικόνα44:: SMV mapped to serial unidirectional multidrop point to point link

2.10.4 GSSE-Generic Substation State Events

Το μοντέλο ελέγχου GSSE είναι παρόμοιο με το GOOSE. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι το GSSE υποστηρίζει μόνο μία δεδομένη μορφή πληροφορίας προς μετάδοση (publishing), ενώ τα μηνύματα GOOSE λειτουργούν με data-sets, επιτρέποντας οποιαδήποτε μορφή δεδομένων.

2.10.5 TimeSync

Το μοντέλο συγχρονισμού είναι σημαντικό να παρέχει ακριβή χρόνο σε όλες τις συσκευές του συστήματος γιατί αυτές θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστούν λειτουργίες διαφορετικού χρονικού εύρους. Για παράδειγμα, εφαρμογές reporting/logging και ελέγχου έχουν εύρος millisecond, ενώ μηνύματα SampledValues έχουν εύρος microsecond. Το πρωτόκολλο συγχρονισμού που χρησιμοποιεί το IEC-61850, για να είναι συγχρονισμένες μεταξύ τους όλες οι συσκευές (IED) είναι το Simple Network Time Protocol – SNTP. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το Application Profile της υπηρεσίας TimeSync.

OSI model layer	Specification			m/o
	Name	Service specification	Protocol specification	
Application	Simple Network Time Protocol	RFC 2030		m
Presentation				
Session				

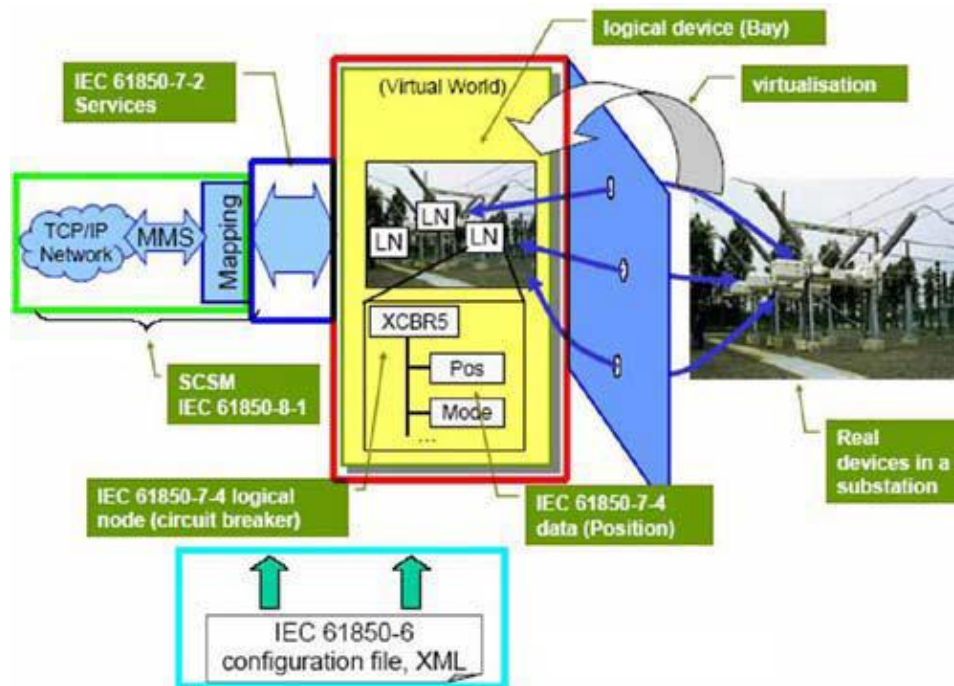
Εικόνα45:TimeSyncA-Profile

2.10.6 Μελλοντική αντιστοίχιση στο BACnet

Ενδιαφέρον θα ήταν η αντιστοίχιση του προτύπου σεBACnet. Το πρωτόκολλο BACnet χρησιμοποιείται κυρίως σε οικιακούς αυτοματισμούς. Έτσι μία αντιστοίχιση σε αυτό, θα λάμβανε υπόψη τη χρήση IEC-61850 όχι απλώς ως πρότυπου αυτοματισμών υποσταθμών , αλλά ως πρότυπο στον ευρύτερο χώρο των έξυπνων δικτύων. Επιπλέον, το BACnet έχει προταθεί διεθνώς ως κατάλληλο πρωτόκολλο για το χώρο των έξυπνων δικτύων.(2)

Κεφάλαιο 3: Εφαρμογή του IEC-61850

Συνοψίζοντας αυτά που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια , το IEC-61850 , είναι ένα πρότυπο που ορίζει τόσο μοντέλα πληροφορίας όσο και μοντέλα υπηρεσιών. Συγκεκριμένα ορίζει τα μοντέλα του server, της λογικής συσκευής , του λογικού κόμβου, του dataattributeκλπ. Με βάση αυτά μπορεί κανείς να μοντελοποιήσει μία φυσική συσκευή. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η φιλοσοφία της μοντελοποίησης αυτής με βάση το πρότυπο.



Εικόνα 45: Μοντελοποίηση φυσικής συσκευής με βάση το IEC-61850.

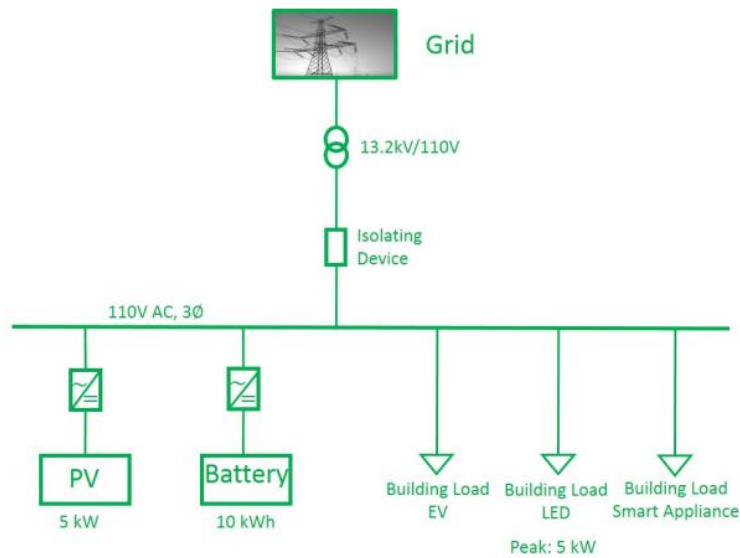
Για να γίνει κατανοητή η περίπλοκη δομή του προτύπου, στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται παραδείγματα μοντελοποίησης εξοπλισμού ή και δικτύων, που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Έτσι, το κεφάλαιο αυτό θέλει να καταλήξει στην περιγραφή κατά IEC-61850 ενός μικροδικτύου, αφού προηγηθεί περιγραφή των επιμέρους στοιχείων.

3.1 Βιβλιογραφικές Εφαρμογές Μοντελοποίησης κατά IEC-61850.

3.1.1 Μοντελοποίηση Κτιρίου UCLA SMERC

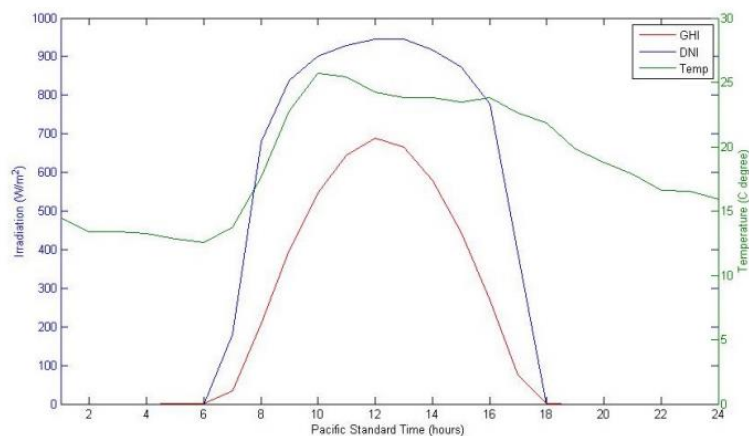
Στη παγκόσμια βιβλιογραφία μπορεί να συναντήσει κανείς πολλά παραδείγματα εφαρμογής του IEC-61850 , για αυτό και έγινε επιλογή για το ποια θα παρουσιαστούν.

Αρχικά, ένα ενδιαφέρον παράδειγμα δίνεται στο (3), όπου ένα κτίριο ,το UCLA SMERC, αντιμετωπίζεται σαν ένα DERσύστημα, με εφαρμογή του IEC-61850. Το σύστημα αυτό αποτελείται από φωτοβολταϊκή παραγωγή (PV), μονάδες αποθήκευσης-μπαταρίες και διάφορα άλλα φορτία όπως ηλεκτρικά οχήματα, φωτισμό και άλλες «έξυπνες» συσκευές. Η πληροφορία σε όλο αυτό το σύστημα προτυποποιείται κατά IEC-61850. Μία απλοποιημένη μορφή του συστήματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



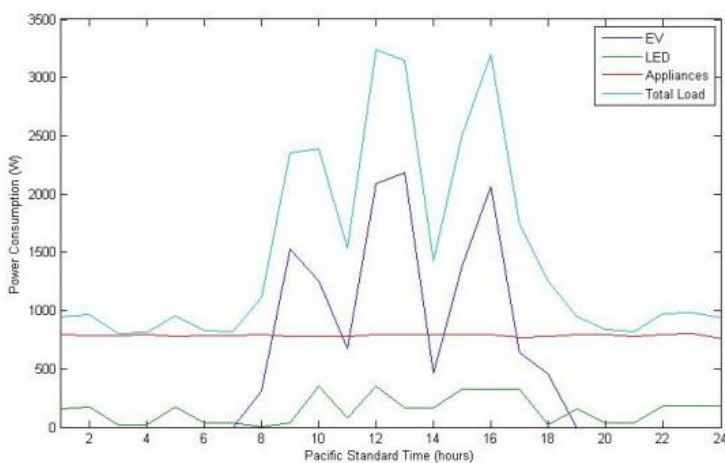
Εικόνα 46:Σύστημα προς μοντελοποίηση

Η εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύς είναι 5 kW.Με βάση πραγματικές μετεωρολογικές συνθήκες για τη θέση εγκατάστασης τους (όπως θερμοκρασία-T, ωριαία γενική οριζόντια ακτινοβολία-GHI και ωριαία άμεση ακτινοβολία-DNI) και βάσει της εξίσωσης $P = a \times (GHI + DNI) \times S \times n$, κατασκευάζεται μία προσομοίωση για την 24-ωρη καμπύλη παραγωγής των φωτοβολταϊκών. Στην παραπάνω σχέση Σείναι η επιφάνεια των panel, και no βαθμός απόδοσης τους. Έτσι προκύπτει η παρακάτω 24-ωρη καμπύλη:



Εικόνα 47:24-ωρη καμπύλη παραγωγής φωτοβολταϊκών.

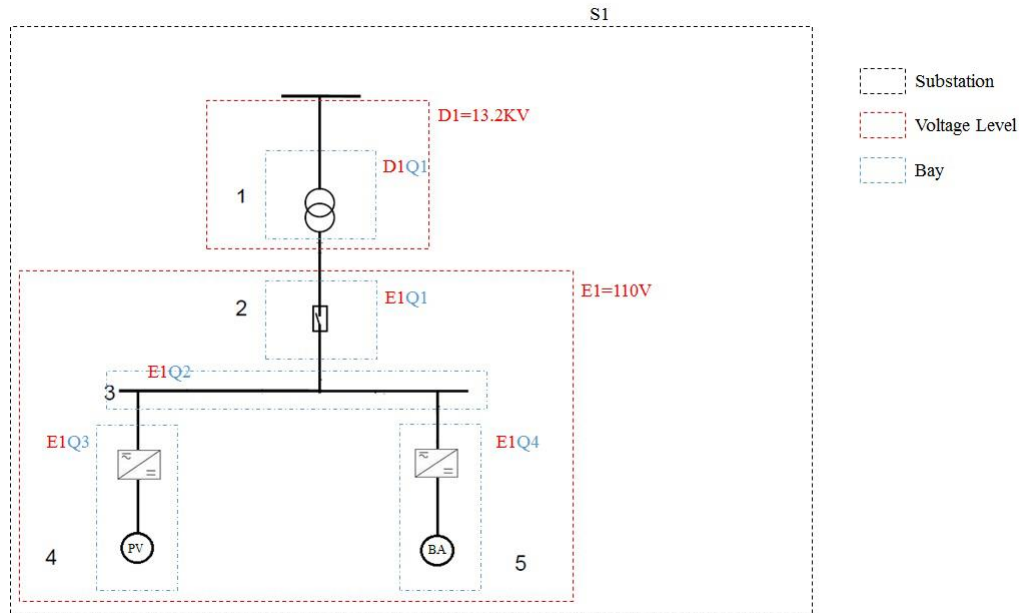
Αντίστοιχα , κατασκευάζεται και η αντίστοιχη 24-ωρη καμπύλη φορτίου , όπου φαίνεται παρακάτω. Σε αυτή, φαίνονται οι 3 τύποι φορτίων και το συνολικό φορτίο.



Εικόνα 48: 24-ωρη καμπύλη φορτίου.

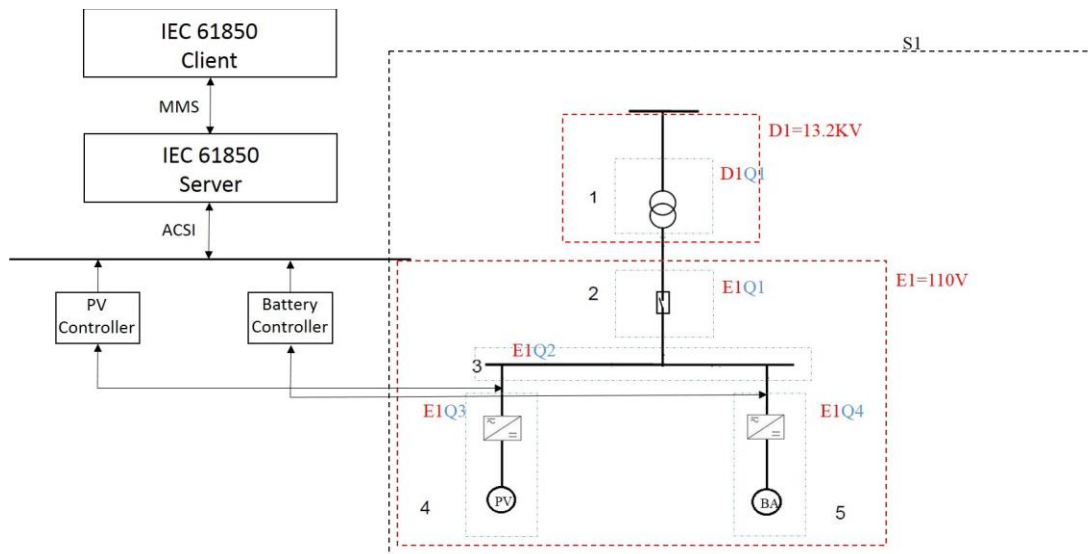
Τέλος, δίνεται και το προφίλ ρύθμισης των μπαταριών, στο οποίο ο ρυθμός φόρτισης/εκφόρτισης εξαρτάται από την διαφορά μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης σε κάθε χρονικό διάστημα.

Αρχικά, σύμφωνα με το IEC-61850-5, το σύστημα μπορεί να χωριστεί σε επίπεδα: SubstationLevel, VoltageLevel και BayLevel. Για το συγκεκριμένο σύστημα , η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 49:Επίπεδα συστήματος

Με βάση το παραπάνω σχέδιο, ορίζονται και οι επικοινωνιακές απαιτήσεις κατά IEC-61850. Υπάρχουν δύο IED's : ο ελεγκτής των μπαταριών και ο ελεγκτής των φωτοβολταϊκών. Στο προτυποποιημένο δίκτυο , η IED(IntelligentElectronicDevice) , είναι απλά ένα ενδιάμεσο στάδιο που δέχεται την πληροφορία από τη φυσική συσκευή, και την αποστέλλει στον serverπου είναι επίσης προτυποποιημένος κατά IEC-61850, χρησιμοποιώντας τα αρχεία SCL.Ο serverμε τη σειρά του , επεξεργάζεται τα δεδομένα και επικοινωνεί με έναν IEC-61850 client (όπως πχ ένα κέντρο ελέγχου) χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MMS. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 50: Επικοινωνιακή Υποδομή του Συστήματος.

Το πιο βασικό μέρος της διαδικασίας μοντελοποίησης είναι η επιλογή των λογικών κόμβων για κάθε μία από τις λογικές συσκευές. Συγκεκριμένα, για το φωτοβολταϊκό σύστημα επιλέγονται οι εξής κόμβοι: DPVM (PV module characteristics), DPVA (PV array characteristics), MMET (meteorological measurement) και MMXU (measuring and metering). Αντίστοιχα, για τις μπαταρίες επιλέγονται οι λογικοί κόμβοι: ZBAT (battery discharging system) και ZBTC (battery charging system). Συγκεκριμένα στους παρακάτω πίνακες φαίνονται και τα συγκεκριμένα data attributes από κάθε λογικό κόμβο, που θα χρησιμοποιηθούν.

Logical Device	PV	
Data object name	CDC	Explanation
DPVM		
MaxMdulV	ASG	Module voltage at max power point, 41 Vdc
MaxMdulA	ASG	Module current at max power point, 5.25 Adc
MdulOpnCctV	ASG	Module open circuit voltage, 47.7 Vdc
MdulSrtCctA	ASG	Module short circuit current, 5.75 A dc
DPVA		
MdulCnt	ING	Number of modules per string, 8
ArrArea	ASG	Array Area, 19.904 m ²
Tilt	ASG	Fixed tilt, 20°
MMET		
GHI	MV	Global Horizontal Irradiation
DNI	MV	Direct Normal Irradiation
Temp	MV	Temperature
MMXU		
Power	MV	Array power output
Voltage	MV	Array voltage
Current	MV	Array current

Εικόνα 51: Λογικοί Κόμβοι για το Φωτοβολταϊκό Σύστημα.

Logical Device	Battery	
Data object name	CDC	Explanation
ZBAT		
BatSt	SPS	Battery system status
BatTyp	ENG	Type of battery, 1: Lead-acid
DisChaRte	ASG	Discharge efficiency, 80%
MinBatSt	ASG	Minimum battery discharging status, 9 kWh
ChaSOC	MV	State of Charge
ZBTC		
ChaRte	ASG	Charge efficiency, 80%
MaxBatSt	ASG	Maximum battery charging status, 1 kWh
DisSOC	MV	State of Discharge

Εικόνα 52: Λογικοί Κόμβοι για το Σύστημα Μπαταριών.

Να σημειωθεί ότι το DataAttributeChaSOC δεν υπάρχει στο πρότυπο, και είναι προσθήκη των συγγραφέων της αναφοράς. Αποτελεί έλλειψη του πρότυπου η απουσία χαρακτηριστικού για το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, καθώς είναι ένα μέγεθος που πρέπει να γνωρίζεις κανείς οπωσδήποτε όταν αναφέρεται στις μπαταρίες.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ένα σημαντικό μέρος είναι η δημιουργία και η αποστολή των αρχείων SCL. Τα αρχεία αυτά περιέχουν την περιγραφή του συστήματος, τις CommonDataClasses –CDC για κάθε λογική συσκευή και πληροφορίες για την

τρέχουσα κατάσταση των συσκευών σύμφωνα με το IEC-61850. Δύο παραδείγματα τέτοιων αρχείων φαίνονται παρακάτω. Τα αρχεία αυτά περιέχουν την περιγραφή των λογικών κόμβων για κάθε μία από τις λογικές συσκευές, δηλαδή είναι η μετάφραση των παραπάνω πινάκων σε IEC-61850.

```
<DataSet name="PV model characteristic">
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="DPVM" lnInst="1" doName="MaxMdulV" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="DPVM" lnInst="2" doName="MaxMdulA" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="DPVM" lnInst="3" doName="MdulOpnCctV" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="DPVM" lnInst="4" doName="MdulSrtCctA" fc=""/>
</DataSet>
<DataSet name="PV array characteristic">
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="DPVA" lnInst="1" doName="MdulCnt" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="DPVA" lnInst="2" doName="ArrArea" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="DPVA" lnInst="3" doName="Tilt" fc=""/>
</DataSet>
<DataSet name="Meteorological Measurements">
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="MMET" lnInst="1" doName="GHI" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="MMET" lnInst="2" doName="DNI" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="MMET" lnInst="3" doName="Temp" fc=""/>
</DataSet>
<DataSet name="Measuring and Metering">
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="MMXU" lnInst="1" doName="Power" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="MMXU" lnInst="2" doName="Voltage" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="MMXU" lnInst="3" doName="Current" fc=""/>
</DataSet>
```

Εικόνα 53:SCL αρχείο για τη λογική συσκευή των φωτοβολταϊκών

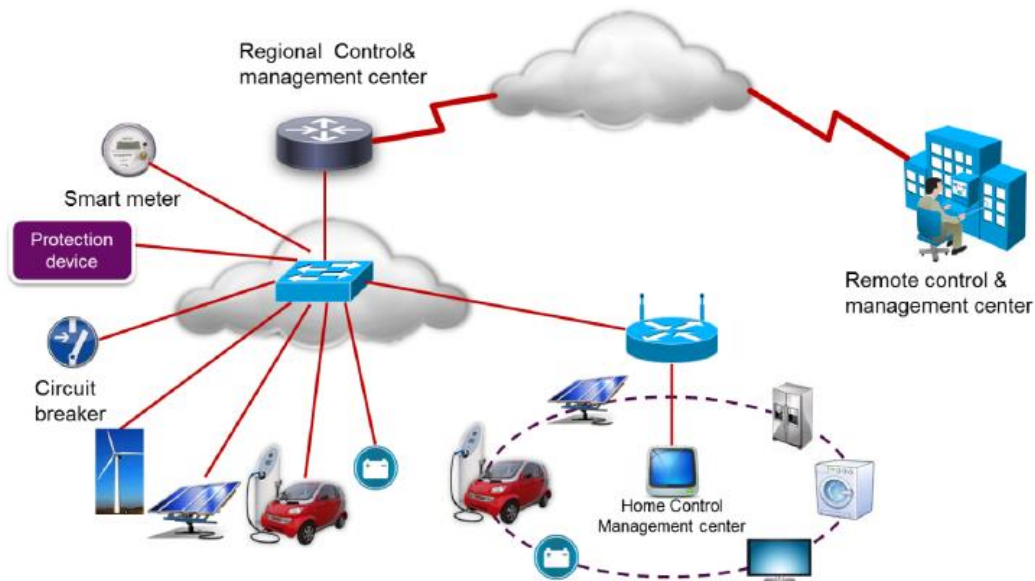
```
<DataSet name="Battery discharging system">
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBAT" lnInst="1" doName="BatSt" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBAT" lnInst="2" doName="BatTyp" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBAT" lnInst="3" doName="DisChaRte" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBAT" lnInst="3" doName="MinBatSt" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBAT" lnInst="3" doName="ChaSOC" fc=""/>
</DataSet>
<DataSet name="Battery charging system">
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBTC" lnInst="1" doName="ChaRte" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBTC" lnInst="2" doName="MaxBatSt" fc=""/>
  <FCDA ldInst="C1" prefix="" lnClass="ZBTC" lnInst="3" doName="DisSOC" fc=""/>
</DataSet>
```

Εικόνα 54:SCL αρχείο για τη λογική συσκευή των μπαταριών.

3.1.2 Μοντελοποίηση στοιχείων μικροδικτύου χαμηλής τάσης.

Η αναφορά αυτή (4) ασχολείται με ένα μικροδίκτυο χαμηλής τάσης, το οποίο αποτελείται από καταναλωτές και παραγωγούς, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες. Συγκεκριμένα το μικροδίκτυο αποτελείται από «έξυπνους» οικιακούς καταναλωτές, φωτοβολταϊκό και αιολικό παραγωγό, μπαταρίες και ηλεκτρικό όχημα. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας σχεδιάστηκε το επικοινωνιακό δίκτυο, το οποίο έχει ιεραρχική δομή. Κάθε «έξυπνο» σπίτι, θεωρείται ως ένα υποδίκτυο, και συνδεδεμένα αυτά τα υποδίκτυα μαζί με τις μονάδες παραγωγής και αποθήκευσης, απαρτίζουν ένα τοπικό δίκτυο. Το έλεγχο του δικτύου αυτού αναλαμβάνει ένας τοπικός ελεγκτής ο RCMC (Regional Control and Management Center). Από την άλλη κάθε υποδίκτυο, ελέγχεται από

ένανοικιακό ελεγκτή τον HCMC (HomeControlandManagementCenter). Η παραπάνω τοπολογία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 55: Τοπολογία μικροδικτύου χαμηλής τάσης.

Όπως φαίνεται παραπάνω ο HCMC είναι υπεύθυνος για όλες τις συσκευές εντός κάθε σπιτιού. Επιπλέον, μπορεί να δέχεται demand/response μηνύματα από το RCMC και έτσι να διαμορφώνει την ενεργειακή κατανάλωση/παραγωγή του σπιτιού που ελέγχει. Αυτό γίνεται γιατί ο HCMC ελέγχει όλες τις συσκευές και μπορεί να ρυθμίζει τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά. Από την άλλη ο RCMC δέχεται πληροφορίες από όλους τους HCMC και έχει τη δυνατότητα εποπτείας ολόκληρου του δικτύου.

Τα παραπάνω, θα μοντελοποιηθούν ως δεδομένα με βάση το πρότυπο IEC-61850. Δηλαδή θα επιλεγούν οι κατάλληλοι λογικοί κόμβοι που θα χαρακτηρίζουν κάθε λογική συσκευή ανάλογα με τις δυνατότητες της.

Προκειμένου να απλοποιηθεί η εφαρμογή, για τις οικιακές συσκευές ορίζονται κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που θα μοντελοποιηθούν, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. Για κάθε χαρακτηριστικό, αντιστοιχείται ο λογικός κόμβος που το αντιπροσωπεύει:

Χαρακτηριστικό	Λογικός κόμβος
ON/OFF	ZAPL
Τάση	MMXN-MMTN
Ρεύμα	MMXN-MMTN
Συχνότητα	MMXN-MMTN
Μέτρηση Κατανάλωσης	MMTN
Πληροφορίες Κατασκευαστή	LPHD
Θερμοκρασία	STMP
Ταχύτητα (ΣΑΛ)	KFAN
Ενεργειακό πρόγραμμα	ZAPL

Πίνακας 2: Μοντελοποίηση χαρακτηριστικών οικιακών συσκευών με λογικούς κόμβους του IEC-61850

Ο λογικός κόμβος ZAPL, δεν ορίζεται από το πρότυπο αλλά έχει προταθεί ως συμπλήρωση. Τα dataobjects που περιλαμβάνει είναι : ενεργοποίηση/απενεργοποίηση συσκευής, χρόνο λειτουργίας, επιλογή τρόπου λειτουργίας (manual, autonomous, schedule), στόχος φορτίου σε ποσοστό του μέγιστου.

Επιπλέον στον λογικό κόμβο STMP έγινε η προσθήκη του TmpSpt για το setpoint της θερμοκρασίας.

Για τον αντιστροφέα θα χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω λογικοί κόμβοι:

Αντιστροφέας
DSCH
DSCC
DRCT
DOPM
ZINV
ZBAT

Πίνακας 3: Λογικοί κόμβοι μοντελοποίησης αντιστροφέα

- ❖ DSCH: Προκαθορισμός ενός προγράμματος ενέργειας στον .
- ❖ DSCC: Έλεγχος/επιλογή του προγράμματος ενέργειας. Τα προγράμματα αφορούν 1 ημέρα.
- ❖ DRCT: Ρύθμιση ισχύος εξόδου του αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας ως λογική συσκευή περιέχει τους λογικούς κόμβους DRCT1 και DRCT2 για τα φωτοβολταϊκά και τις μπαταρίες αντίστοιχα.
- ❖ DOPM: Για τη ρύθμιση του ρυθμού αποφόρτισης των μπαταριών, σε περίπτωση που δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο ή υπάρχουν αυξημένες ανάγκες φορτίου.

Η αναφορά αυτή παρουσιάζει και κάποιες εφαρμογές, ανάμεσα στις οποίες είναι η επιλογή προγράμματος ενέργειας με βάση τις τρέχουσες μετεωρολογικές προβλέψεις. Για την εφαρμογή αυτή παρουσιάζονται τα μηνύματα που ανταλλάσσονται και οι υπηρεσίες του IEC-61850 που χρησιμοποιούνται.

Η τοπολογία του δικτύου είναι ιεραρχική. Δηλαδή το κάθε σπίτι αποτελεί ένα μικροδίκτυο, και όλα αυτά τα μικροδίκτυα συνδέονται σχηματίζοντας ένα ευρύτερο δίκτυο. Θεωρούμε ότι κάθε μικροδίκτυο έχει έναν ελεγκτή HCMC (HomeControlandManagementCenter) που είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των συσκευών εντός του μικροδικτύου. Επίσης, ο ελεγκτής αυτός έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας με έναν τοπικό ελεγκτή (RCMC) που είναι συνδεδεμένος με το ευρύτερο δίκτυο. Ένα παράδειγμα επικοινωνίας τους είναι η αποστολή μετεωρολογικής πρόβλεψης από τον RCMC στον HCMC, όπου αυτός με τη βάση και στοιχεία του παρελθόντος, ελέγχει και προσαρμόζει τα στοιχεία του μικροδικτύου σε ένα κατάλληλο πρόγραμμα ενέργειας.

Θεωρούμε ότι οι μετεωρολογικές προβλέψεις βρίσκονται στον RCMC, στο λογικό κόμβο MMET.

Αναλυτικά η διαδικασία επικοινωνίας και η ανταλλαγή πληροφοριών για την επιλογή ενός προγράμματος ενέργειας, φαίνεται παρακάτω:

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ
HCMC	RCMC	Ο HCMC απαιτεί από τον RCMC την μετεωρολογική πρόβλεψη
RCMC	HCMC	Ο RCMC απαντά στο αίτημα του HCMC για μετεωρολογική πρόβλεψη
HCMC	HCMC	Ανάκτηση παλιών δεδομένων ζήτησης ενέργειας
HCMC	HCMC	Υπολογισμός αναμενόμενης ζήτησης ενέργειας βάσει μετεωρολογικών προβλέψεων και παλιότερων δεδομένων
HCMC	HCMC	Υπολογισμός επιθυμητής ισχύος εξόδου των φωτοβολταϊκών
HCMC	INVERTER	Αίτημα προς τον inverter για την τρέχουσα ισχύ των φωτοβολταϊκών και των μπαταριών
INVERTER	HCMC	Απόκριση του inverter για την τρέχουσα ισχύ των φωτοβολταϊκών και των μπαταριών

HCMC	INVERTER	Αίτημα ενεργοποίησης του κατάλληλου προκαθορισμένου προγράμματος ενέργειας στον inverter
INVERTER	HCMC	Απόκριση του inverter για το αν η ενεργοποίηση ήταν επιτυχής

Πίνακας 4: Ανταλλαγή μηνυμάτων ελεγκτών για επιλογή προγράμματος ενέργειας

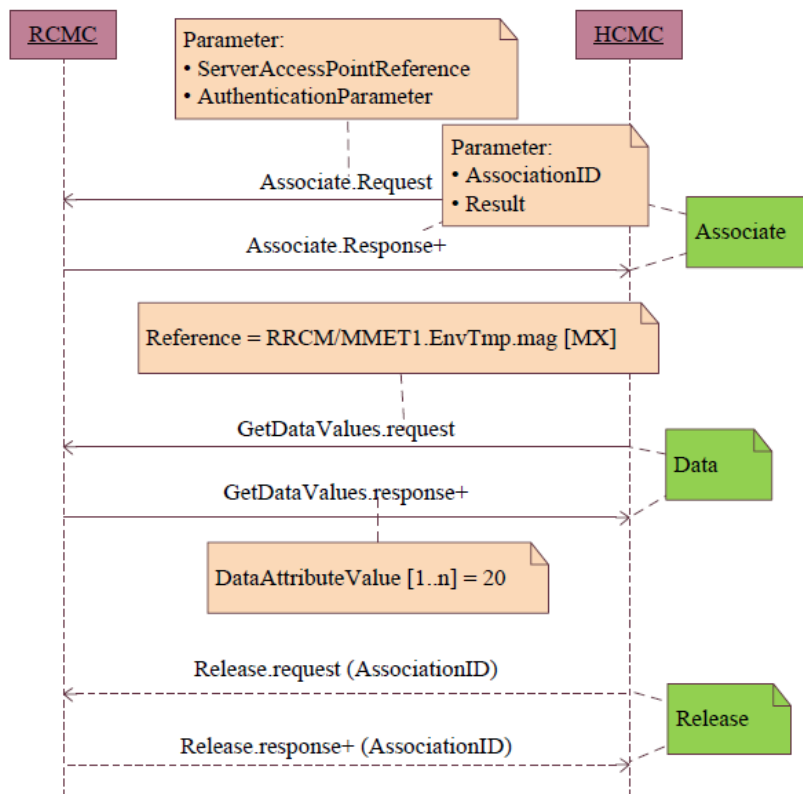
Ο τρόπος που σχετίζονται δύο στοιχεία για την ανταλλαγή μηνυμάτων καθορίζεται από το πρότυπο IEC-61850-7-2 με την υπηρεσία TPAΑ(TWO-PARTY-APPLICATION-ASSOCIATION). Με βάση αυτή, το στοιχείο που ζητά τη σύνδεση παίζει το ρόλο του client και το στοιχείο που αποκρίνεται στο αίτημα παίζει το ρόλο του server.

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ RCMC-HCMC

Σύμφωνα με το IEC-61850-7-2 υπάρχουν 3 τρόποι επικοινωνίας με βάση τις υπηρεσίες:

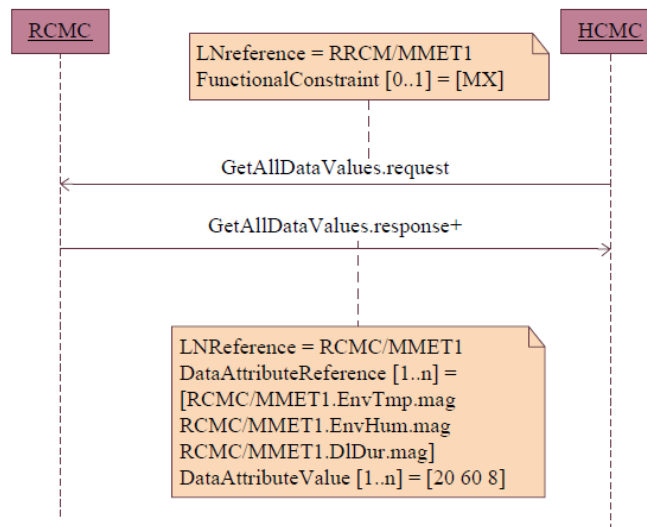
1) GetDataValues που ανήκει στο GenDataObjectClass, για ανάκτηση ενός dataobject από ένα λογικό κόμβο.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση που το RCMC απαιτεί την θερμοκρασία περιβάλλοντος, θα πρέπει να απευθυνθεί στο RCMC/MMET1.EnvTmp.mag



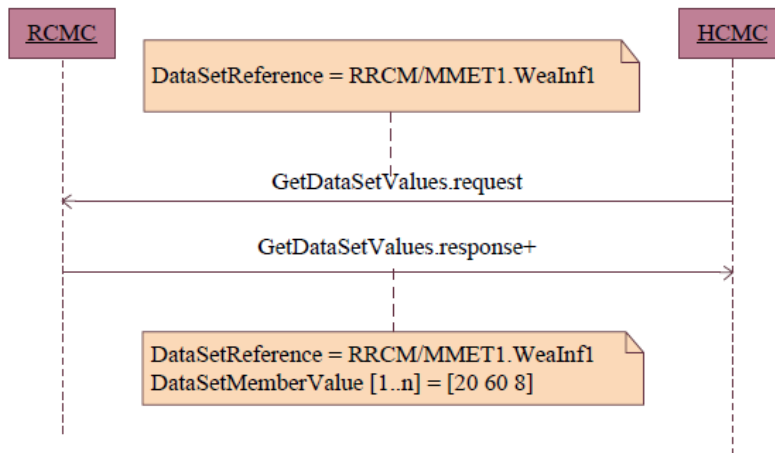
Εικόνα 56:Υπηρεσία GetDataValues

2) GetAllDataValues που ανήκει στο GenLogicalNodeClass για την ανάκτηση όλων των τιμών των dataobjects από έναν λογικό κόμβο



Εικόνα 57:Υπηρεσία GetAllDataValues

3) **GetDataSetValues** που ανήκει στο **DATA-SET** class για την ανάκτηση ομαδοποιημένων dataobjects από έναν ή περισσότερους λογικούς κόμβους.



Εικόνα58:Υπηρεσία GetDataSetValues

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑHCMC-INVERTER

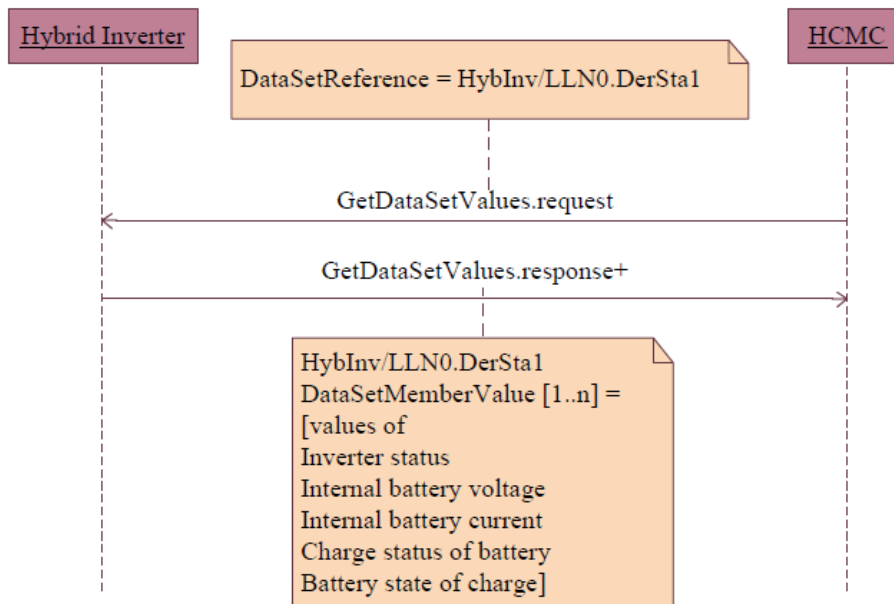
Ο inverter χειρίζεται τα φωτοβολταϊκά και λειτουργεί παράλληλα ως ρυθμιστής φόρτισης των μπαταριών. Ο HCMC χρειάζεται πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση και των δύο , όπως για παράδειγμα η ισχύς των φωτοβολταϊκών και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών (stateofcharge). Πιο συγκεκριμένα, για την επιλογή του κατάλληλου ενεργειακού προγράμματος οHCMC αιτεί από τον inverter τις παρακάτω πληροφορίες: (Η λογική συσκευή που αναπαριστά το inverter είναι η HybInv)

HybInv/ZINV1.GridModSt.stVal	Τρέχουσα σύνδεση του inverter
HybInv/ZBAT1.InBatV.mag	Τάση των μπαταριών
HybInv/DRCS.ChaSt.stVal	Κατάσταση φόρτισης των μπαταριών
HybInc/DRCS.Soc.mag	Επίπεδο φόρτισης των μπαταριών

Πίνακας 5: Προτυποποιημένες πληροφορίες αντιστροφέα κατά IEC-61850

(Τα dataobjectsChaSt και Soc στο λογικό κόμβο DRCS δεν υπάρχουν στο πρότυπο και προστέθηκαν για πρακτικούς λόγους.)

Όπως φαίνεται παραπάνω , επειδή απαιτούνται οι τιμές dataobject από διάφορους λογικούς κόμβους , θα γίνει χρήση της υπηρεσίας **GetDataSetValues**. Θεωρούμε ότι σύνολο των δεδομένων DATA-SET ονομάζεται DerSta1. Έτσι στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η εφαρμογή της υπηρεσίας **GetDataSetValues**στα πλαίσια του TPAΑ.



Εικόνα 59: Εφαρμογή υπηρεσίας GetDataSetValues

ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στον inverter υπάρχουν προκαθορισμένα προγράμματα ενέργειας, τα οποία ορίζονται μέσω του λογικού κόμβου DSCH. Θεωρούμε ότι με βάση την ημερήσια μετεωρολογική πρόβλεψη ο HCMC ειδοποιεί τον inverter για το ποιο πρόγραμμα να επιλέξει. Επίσης είναι δυνατό ο HCMC να δημιουργεί δυναμικά τα προγράμματα ενέργειας στον inverter, με βάση μετεωρολογικές προβλέψεις και παλαιότερα δεδομένα (πχ φορτίων).

Για τον ορισμό των προγραμμάτων ενέργειας στον inverter μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι υπηρεσίες που ορίζονται από το πρότυπο, **CreateDataSet** και **SetDataSetValues**. Ένα παράδειγμα ορισμού ενός προγράμματος για την έξοδο των φωτοβολταϊκών φαίνεται παρακάτω.

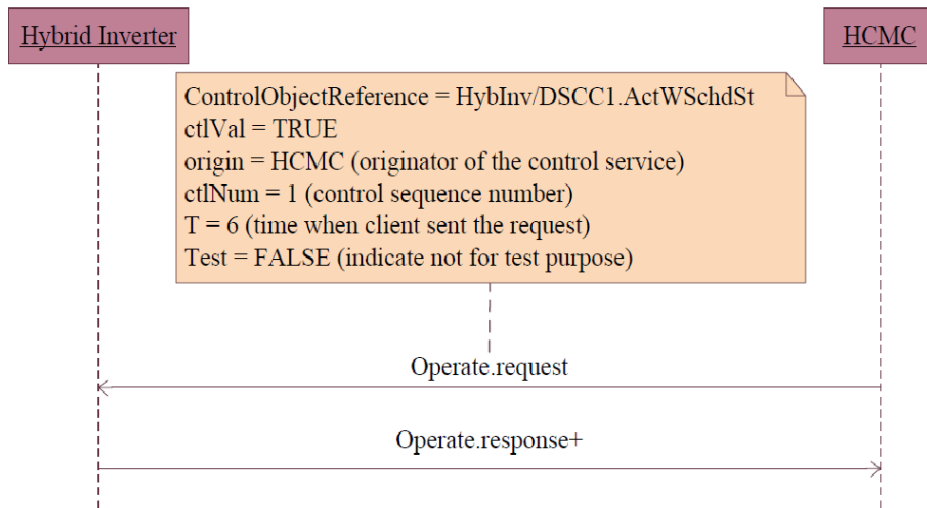
DSCH			
Data object	Data Attribute	Value	Explanation
SchdID	stVal	1	Schedule ID – uniquely identify the schedule within an IED
SchdCat	stVal	1	Category of the schedule - regular
SchdTyp	stVal	1	Operational mode - energy
SchdAbsTm	numPts	24	24 hours – absolute time
	val	[0.2, 0.3, 0.5...]	Power for each hour
	time	[t0, t1, t2, ...]	Start time of each hour
	valUnit	1	KW
SchdVal	stVal	1	Active power

Εικόνα 60:Ορισμός λογικού κόμβου DSCH

Ο λογικός κόμβος DCSH αρχικά περιλαμβάνει ως υποχρεωτικά dataobjects τα SchdID και SchdCat τα οποία απαιτούνται για τον ορισμό του αναγνωριστικού του προγράμματος και για την κατηγορία στην οποία ανήκει. Το παραπάνω πρόγραμμα έχει ως αναγνωριστικό το '1' και ανήκει στα κανονικά προγράμματα (regular). Υποχρεωτικό dataobject είναι επίσης το SchTyp που δείχνει κάτω από ποιες συνθήκες θα ενεργοποιείται το συγκεκριμένο. Το SchdAbsTm έχει 4 dataattributes : το numPts για την διάρκεια του προγράμματος, το Val για την ωριαία ισχύ , το time για την έναρξη κάθε ώρας και το valUnit για τη μονάδα μέτρησης του Val (KW). Τέλος το dataobjectSchdVal χρησιμοποιείται για την ερμηνεία του Val στο SchdAbsTm που στην προκειμένη σημαίνει ισχύς.

Ο έλεγχος των προγραμμάτων ενέργειας γίνεται μέσω του λογικού κόμβου DSCC. Για παράδειγμα , για την ενεργοποίηση ενός προγράμματος ενέργειας ή βοηθητικών υπηρεσιών, αναφερόμαστε αντίστοιχα στα dataobjects **ActWSchd** ή **ActAncSchd**. Επιπλέον, ο λογικός κόμβος DSCC δίνει τη δυνατότητα ένδειξης του τρέχοντος ενεργοποιημένου προγράμματος μέσω του **ActWSchdSt** που περιέχει στο stVal έναν ακέραιο/αναγνωριστικό κάθε προγράμματος (ID).

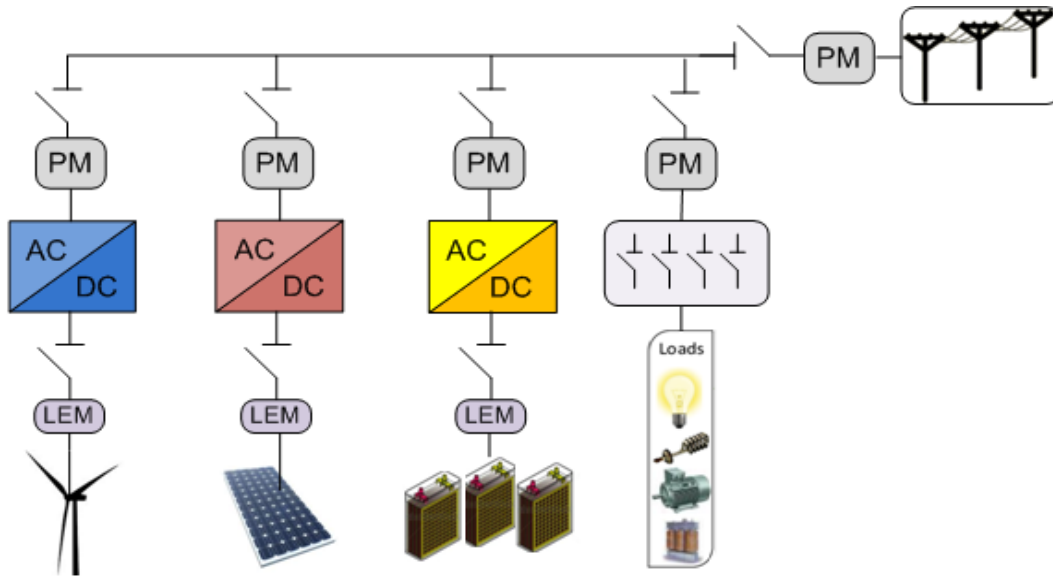
Παρακάτω φαίνεται η χρήση της υπηρεσίας **Operate**, έτσι όπως ορίζεται από το IEC 61850-7-2 στα μοντέλα ελέγχου (controlmodel).



Εικόνα 61: Υπηρεσία Operate

3.2 Περιγραφή στοιχείων του μικροδικτύου του εργαστηρίου

Το μικροδίκτυο του εργαστηρίου φαίνεται απλοποιημένα στην παρακάτω εικόνα και πρόκειται για ένα μονοφασικό μικροδίκτυο χαμηλής τάσης.



Εικόνα 62:Μονοφασικό Μικροδίκτυο Χαμηλής Τάσης

Αναλυτικά τα στοιχεία του μικροδικτύου είναι :

3.2.1 SunnyIsland

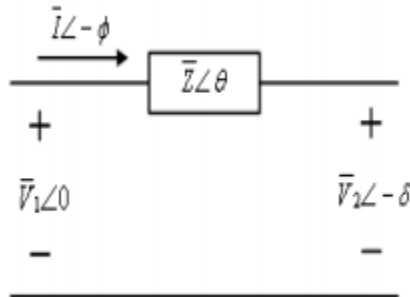
Ο inverter **SunnyIsland** (SI) που είναι υπεύθυνος για τις μπαταρίες που είναι και το πιο σημαντικό στοιχείο του μικροδικτύου. OSI μπορεί να λειτουργήσει είτε σε grid-connected mode (διασυνδεδεμένη λειτουργία) είτε σε island mode (απομονωμένη λειτουργία). Σε κάθε περίπτωση, λειτουργεί ως ρυθμιστής φόρτισης ελέγχοντας το ρυθμό φόρτισης/εκφόρτισης των μπαταριών, βάση συγκεκριμένων αλγορίθμων φόρτισης. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης και με άλλες μονάδες παραγωγής, προσφέροντας υψηλού επιπέδου ενεργειακή διαχείριση ολόκληρου του μικροδικτύου. Αναλυτικά όπως αναφέρεται στο manual του SI, υπάρχουν τρεις καταστάσεις λειτουργίας:

- 1) GridForming, όπου κρατάει την AC τάση σταθερή στα επίπεδα του δικτύου (230V 50/60 Hz),
- 2) Grid-tied, όπου ακολουθεί την τάση και τη συχνότητα, την οποία ορίζει μία άλλη πηγή (δίκτυο, μία σύγχρονη γεννήτρια κλπ). Σε αυτή την περίπτωση ο SI δεν ελέγχει την τάση και τη συχνότητα δικτύου, αλλά το DC ρεύμα που πηγαίνει στις μπαταρίες.
- 3) Droop-mode: Το συγκεκριμένο mode δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης πολλών SI παράλληλα, όπου καθένα θα λειτουργεί σαν grid-forming inverter. Συγκεκριμένα, η

λειτουργία αυτή δίνει έλεγχο την ενεργού ισχύος Ρ μέσω της συχνότητας f, και έλεγχο της άεργου ισχύος Q μέσω της τάσης V. Αναλυτικά ο έλεγχος droop παρουσιάζεται παρακάτω.

3.2.1.1 Έλεγχος Droop

Η ροή ενεργού και άεργου ισχύος σε μία γραμμή με σύνθετη αντίσταση Z, τάση αναχώρησης V1 και τερματική τάση V2, όπως στο σχήμα, δίνεται από τις σχέσεις:



Εικόνα 63: Γραμμή μεταφοράς Z

$$P = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta$$

$$Q = \frac{V_1^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta$$

Εάν η γωνία δ της τάσης V2 είναι μικρή, τότε μπορούμε να πούμε ότι $\sin \delta = \delta$, $\cos \delta = 1$, με αποτέλεσμα οι σχέσεις να απλοποιούνται σε :

$$\delta \cong \frac{XP}{V_1 V_2}$$

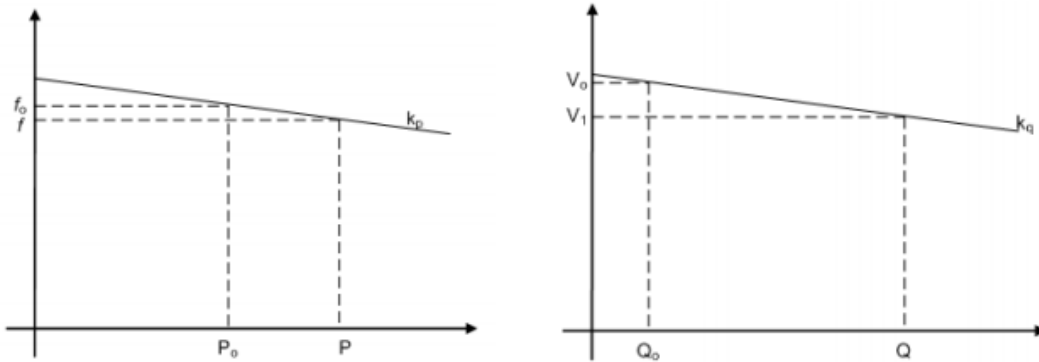
$$V_1 - V_2 \cong \frac{XQ}{V_1}$$

Οι εξισώσεις αυτές δείχνουν ότι η γωνία δ εξαρτάται ανάλογα από την ενεργό ισχύ P, και η πτώση/ανύψωση τάσης εξαρτάται από την άεργο ισχύ Q. Έτσι, ο έλεγχος της γωνίας δ γίνεται μέσω του ελέγχου της P και ο έλεγχος των τάσεων γίνεται μέσω της άεργου ισχύος Q, και αντίστροφα. Στο μοντέλο Droop, αντί της γωνίας δ, επιλέγεται ο έλεγχος της συχνότητας για τον έλεγχο της ισχύος, γιατί δεν είναι δυνατόν πάντα να είναι γνωστές οι αρχικές γωνίες των τάσεων. Οι εξισώσεις Droop είναι :

$$f = f_0 - k_p (P - P_0)$$

$$V_1 = V_0 - k_v (Q - Q_0)$$

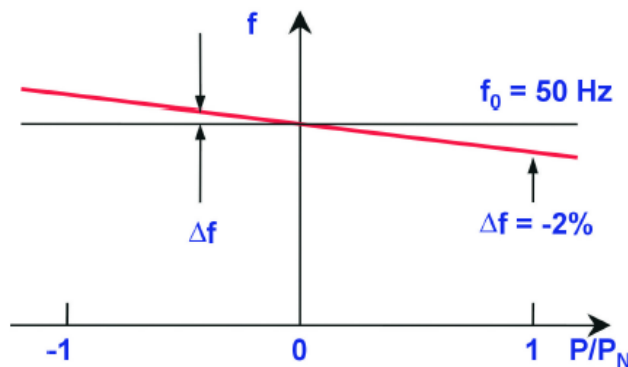
Όπου f_0, V_0 είναι οι ονομαστική συχνότητα και τάση του δικτύου και P_0, Q_0 οι ονομαστικές τιμές ενεργού και άεργου ισχύος. Οι k_p, k_v είναι οι κλίσεις των καμπυλών για τη ρύθμιση της ενεργού και της άεργου ισχύος αντίστοιχα.



Εικόνα 64:Καμπύλες Droop.

Η πρώτη καμπύλη ερμηνεύεται ως εξής : Μία πτώση της συχνότητα από f_0 δίνει τη δυνατότητα στις μονάδες παραγωγής να αυξήσουν την ενεργό ισχύ τους από P_0 σε P . Άρα η πτώση της συχνότητας απαιτεί αύξηση της ενεργού ισχύος. Πολλές μονάδες παράλληλα, με τις ίδιες καμπύλες Droop, μπορούν να ανταποκριθούν σε πτώση της συχνότητας , με ταυτόχρονη αύξηση της ενεργού τους ισχύος. Παρόμοια λογική ακολουθεί και η καμπύλη άεργου ισχύος.

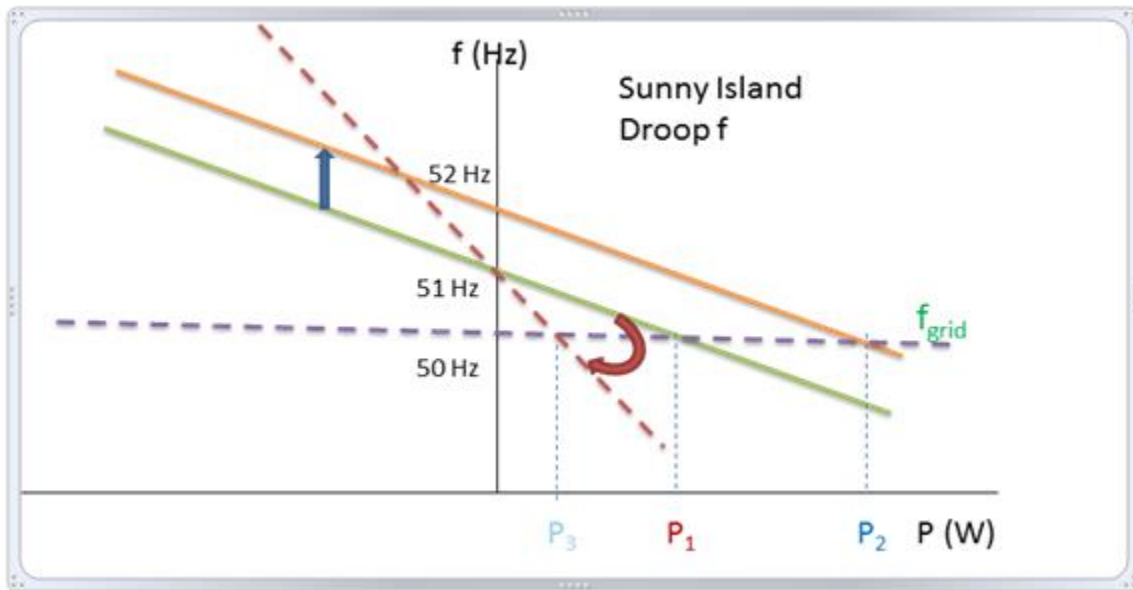
Ο SunnyIsland ακολουθεί έλεγχο Droop, για τον καθορισμό της ενεργού και άεργου ισχύος εξόδου του. Στον αντιστροφέα υπάρχει μία προκαθορισμένη ευθεία $P=f(f)$,σε σύστημα αξόνων P-f. Η ευθεία αυτή χαρακτηρίζεται από την κλίση της df/dP και από το σημείο τομής f_0 με τον άξονα των y. Σε αυτό το σύστημα αξόνων υπάρχει και μία οριζόντια ευθεία , στα 50 Hz που δίνει τη συχνότητα του δικτύου. Σε κάθε περίπτωση το σημείο λειτουργίας του αντιστροφέα ,καθορίζεται από το σημείο τομής των δύο αυτών ευθειών. Μία καμπύλη Droop φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 65:Καμπύλη Droop για έλεγχο ενεργού ισχύος του SunnyIsland.

Μέσω των δύο χαρακτηριστικών της (κλίση ή σημείο τομής με τον άξονα f), δίνεται η δυνατότητα μετακίνησης της ευθείας και κατά συνέπεια αλλαγής του σημείου λειτουργίας του.

Ένα παράδειγμα φαίνεται παρακάτω: Αρχικά το σύστημα δίνει ισχύ P_1 , και η συχνότητα droop, δηλαδή το σημείο τομής με τον άξονα f , είναι 50 Hz. Για να αυξήσουμε την ισχύ εξόδου από P_1 σε P_2 θα πρέπει να ανεβάσουμε την καμπύλη, δηλαδή να αυξήσουμε τη συχνότητα droop από 51 σε 52 Hz.



Εικόνα 66:Αύξηση της ισχύος εξόδου με αύξηση της συχνότητας droop.

Παρόμοια πρακτική ακολουθείται και για το έλεγχο της άεργου ισχύος. Οι τιμές της συχνότητας και της τάσης droop, βρίσκονται στο SunnyIsland στις παραμέτρους 420_DroopFreq και 421_DroopVolt.

Ο SunnyIsland έχει ονομαστική ισχύ 4500 W.

3.2.1.2 Λογισμικό για έλεγχο της ενεργού ισχύος του SunnyIsland.

Για τον έλεγχο της ενεργού ισχύος του SunnyIsland, σχεδιάστηκε ένα λογισμικό που μεταβάλλει τη συχνότητα Droop f_0 . Η κλίση της ευθείας Droop θεωρείται σταθερή και ίση με $\alpha=0,0003$. Το πρόγραμμα έγινε σε Java και επίσης έγινε χρήση της πλατφόρμας Jade για multi-agent συστήματα. Έτσι, δημιουργήθηκε ένας agent για τον SunnyIsland, ο οποίος μπορεί να παίρνει διάφορες μετρήσεις (ισχύος, τάσης, συχνότητας κλπ), αλλά και να αλλάζει κάποιες παραμέτρους του inverter όπως για παράδειγμα η καμπύλη Droop. Αφού δοθεί η επιθυμητή ισχύς εξόδου P_{des} , ο agent υπολογίζει την συχνότητα droop στην οποία αντιστοιχεί η συγκεκριμένη ισχύς. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι:

- ❖ Γίνεται μέτρηση της τρέχουσας ισχύος P_{inv}
- ❖ Υπολογίζεται η επιθυμητή διαφορά της συχνότητας Droop. Δηλαδή το πόσο θα μετακινηθεί η ευθεία

$$\Delta f_0 = (P^{des} - P^{inv})/3000$$

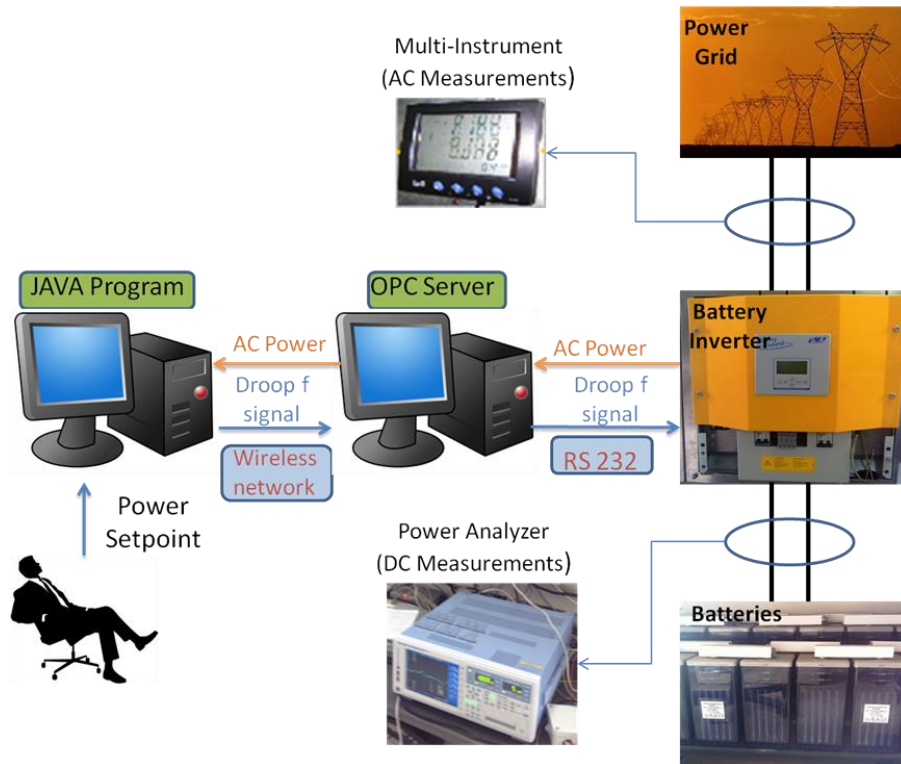
Εάν η διαφορά $|P^{des} - P^{inv}| < 20W$ τότε το Δf_0 τίθεται 0, δηλαδή η ευθεία δεν μετακινείται καθόλου εφόσον έχει επιτευχθεί ο στόχος.

- ❖ Η συχνότητα Droop δε μπορεί να μεταβάλλεται πολύ γρήγορα, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία του συστήματος, για αυτό οι τιμές του Δf_0 είναι στο διάστημα -0,08 έως 0,08 Hz.
- ❖ Μετά την ανάκτηση της τρέχουσας συχνότητας $Droop f_0^1$, προστίθεται η διαφορά Δf_0 και έτσι υπολογίζεται η νέα συχνότητα $Droop f_0^2$, και αφού ελεγχθεί ότι είναι εντός ορίων (f_{0min} - f_{0max}), τίθεται στον inverter.
- ❖ Τα προηγούμενα βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι που να μηδενιστεί η Δf_0 .

Το σύστημα υποθέτει σταθερή συχνότητα δικτύου 50 Hz. Για λόγους ασφαλείας, η ισχύς εξόδου δεν πρέπει να ξεπεράσει τα ± 3000 W. Έτσι τα όρια για τη συχνότητα Droop που αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές ισχύος είναι:

$$f_{max} = f_{grid} + bP_{prod}^{max} \rightarrow b_{max} = 50.9 \text{ Hz}$$

$$f_{min} = f_{grid} - bP_{cons}^{max} \rightarrow b_{min} = 49.1 \text{ Hz}$$



Εικόνα 67:Επικοινωνία και σύνδεση SunnyIsland.

3.2.2 SunnyBoy

Στο εργαστήριο ΣΗΕ είναι εγκατεστημένος ο φωτοβολταϊκός αντιστροφέας SunnyBoy 1100 της SMA. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τεχνικά του χαρακτηριστικά:



Εικόνα 68:Ο αντιστροφέας SunnyBoy 1100.

Χαρακτηριστικά ισχύος εισόδου	
Μέγιστη DC ισχύς	1210 W
Μέγιστη DC τάση	400 V
Εύρος λειτουργίας DC τάσης	139 V- 400 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	10:00 AM
Χαρακτηριστικά ισχύος εξόδου	
Μέγιστη AC ισχύς	1100 W
Ονομαστική AC ισχύς	1000 W
Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης THD	< 4%
Μέγιστη απόδοση	39%

Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά SunnyBoy 1100

3.2.3 Μπαταρίες

Πρόκειται για συσσωρευτές μολύβδου 30 κελιών και συγκεκριμένα ο τύπος κελιού είναι ο 2 V 5 OPzS 250 Solar LA-b .Χωρητικότητα μιας μπαταρίας , δηλαδή η ενέργεια που μπορεί να προσφέρει, εξαρτάται από το ρυθμό εκφόρτισης της. Όσο πιο γρήγορα εκφορτίζεται μία μπαταρία , τόσο πιο μικραίνει η χωρητικότητά της, ενώ όσο πιο αργά εκφορτίζεται, τόσο αυξάνει η χωρητικότητά της. Όπως αναφέρεται στο manual η χωρητικότητα C_{10} —δηλαδή η χωρητικότητα εάν η μπαταρία εκφορτιστεί σε 10 ώρες—είναι 273 Ah , ενώ η χωρητικότητα C_{120} είναι 380 Ah. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{sc}) είναι 2800 A , ενώ η εσωτερική αντίσταση του κάθε κελιού (R_i) είναι 0,73 mΩ.

3.2.4 Γραμμή Χαμηλής Τάσης

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στοιχεία των διάφορων γραμμών χαμηλής τάσης:

Είδος Αγωγού	Πραγματική Διατομή Αγωγού (mm^2)	R (Ω/km)	X (Ω/km)
4x16	27	1.218	0.318
4x35	57	0.574	0.294
4x50	82	0.397	0.279

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά γραμμών χαμηλής τάσης

Στο εργαστήριο διατίθενται τρεις αντιστάσεις $R=5.24 \Omega$ και τρία πηνία με $L=6mH$ για την προσομοίωση των γραμμών χαμηλής τάσης. Επιλέγουμε να συνδέσουμε τρεις αντιστάσεις παράλληλα ($R = 1.218 \Omega$), και σε σειρά με μία αυτεπαγωγή ίση με $X = \omega L = 0.3 \Omega$ προσεγγίζοντας έτσι τον πρώτο αγωγό.

3.2.5 Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες

Σο Φ/σύστημα διαθέτει 11 συλλέκτες συνολικής επιφάνειας $9.42 m^2$ που είναι τοποθετημένα στην ταράτσα του εργαστηρίου. Έχουν προσανατολισμό $\gamma = 22^\circ$ (νότιο-νοτιοδυτικό) και κλίση $\beta = 36^\circ$. Κατασκευάστρια εταιρία είναι η Isofoton και το μοντέλο το I-110/12. Κάθε

συλλέκτης έχει ονομαστική μέγιστη ισχύ $P_{nom}=110W_p$, άρα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι $P_{TOT}=1210W_p$. Οι Φ/Β συλλέκτες του εργαστηρίου παρουσιάζονται στην Εικόνα 70,. Για τις Πρότυπες Συνθήκες Λειτουργίας (STC – Standard Test Conditions, $25^{\circ}C$, $1kW/m^2$, $AM=1.5$) τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε συλλέκτη παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.



Εικόνα 69: Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες εργαστηρίου

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά	
Τύπος	Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο
Ονομαστική Ισχύς	110 W
Τάση λειτουργίας στη μέγιστη ισχύ	17.4 V
Ρεύμα λειτουργίας στη μέγιστη ισχύ	6.32 A
Τάση ανοιχτοκύκλωσης	21.6 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	6.76 A
Απόδοση	12.90%
Μηχανικά Χαρακτηριστικά	
Μέγιστη AC ισχύς	1100 W
Ονομαστική AC ισχύς	1000 W
Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης THD	< 4%
Μέγιστη απόδοση	39%

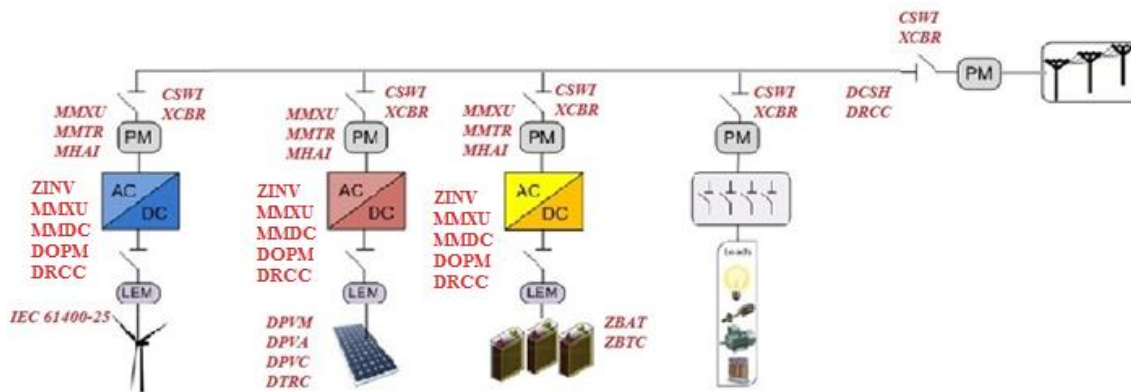
Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συλλεκτών

3.3 Μοντελοποίηση στοιχείων

Στο μέρος αυτό θα παρουσιαστούν οι λογικοί κόμβοι του IEC-61850 που μοντελοποιούν τα στοιχεία του μικροδικτύου:

3.3.1 Λογικοί Κόμβοι

- ❖ Inverter (Sunny Island , Sunny Boy):
 - ZINV
 - DOPM
 - MMXU
 - DRCC
 - MMDC
- ❖ Μπαταρίες
 - ZBAT
 - ZBTC
- ❖ Μετρητικό πολυόργανο
 - MMXU
 - MMTR
 - MHAI
- ❖ AC Διακόπτης
 - CSWI
 - XCBR
- ❖ Σημείο Σύνδεσης στο δίκτυο
 - DSCH
 - DRCC



Εικόνα 70: Μοντελοποίηση μικροδικτύου κατά IEC-61850.

3.3.2 Περιγραφή Λογικών Κόμβων

3.3.2.1 Σημείο σύνδεσης στο δίκτυο ECP

1) **DSCH:** Ο λογικός αυτός κόμβος, ορίζει τα προγράμματα ενέργειας και βοηθητικών υπηρεσιών(ancillaryservices) . Ο ορισμός περιλαμβάνει τον χαρακτηρισμό ως regular, backup, emergency κλπ, όπως επίσης σε ποια κατάσταση λειτουργίας θα ενεργοποιείται το συγκεκριμένο πρόγραμμα μέσω του SchdTyp .Πιο αναλυτικά κάποιες από τις καταστάσεις λειτουργίας που προτείνονται από το SchdTyp είναι οι εξής:

Energy: Πρόκειται για έναν προγραμματισμό παραγωγής ενέργειας, ανάλογο με τις απαιτήσεις των φορτίων του δικτύου.

Contingencyreserve “spinning”: Η στρεφόμενη εφεδρεία αφορά την άμεση κάλυψη ενεργειακών αναγκών , με την αύξηση ισχύος εξόδου ήδη διασυνδεδεμένων μονάδων.

Contingencyreservesupplemental: Η μη στρεφόμενη εφεδρεία αποσκοπεί στη άμεση κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με την ένταξη νέων μονάδων παραγωγής.Για αυτόν τον λόγο παρουσιάζει καθυστέρηση σε σχέση με τη στρεφόμενη.

Reactivepower: Χρησιμοποιείται για ρύθμιση της τάσης μέσω της άεργου ισχύος. Με την παραγωγή άεργου ισχύος επιτυγχάνεται αύξηση του μέτρου της τάσης και έτσι διορθώνονται τυχόν πτώσεις τάσεις.

BlackStart: Είναι η δυνατότητα μιας γεννήτριας (ή ενός σταθμού παραγωγής) να επανεκκινούν μόνες τους ύστερα από διακοπή, χωρίς να βασίζονται στο υπόλοιπο δίκτυο ή σε κάποια εξωτερική παροχή ενέργειας. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης (π.χ. γενικευμένη διακοπή –blackout) για την εκκίνηση και των σταθμών χωρίς αυτή τη δυνατότητα, με σκοπό την αποκατάσταση του δικτύου.

2) **DSCC:** Αυτός ο λογικός κόμβος παρέχει έλεγχο για την ενέργεια στο σημείο σύνδεσης στο δίκτυο. Συγκεκριμένα δίνει την ένδειξη για το ποιο πρόγραμμα ενέργειας είναι ενεργοποιημένο, όπως επίσης και ποιο πρόγραμμα βοηθητικών υπηρεσιών. Επιπλέον, δίνει την δυνατότητα ενεργοποίησης αυτών των προγραμμάτων.

3.3.2.2 POWERMETER

1) **MMXU:** Ο λογικός αυτός κόμβος χρησιμοποιείται για την μέτρηση μεγεθών, όπως τάσεις , ρεύματα , ισχύς κλπ, σε ένα τριφασικό σύστημα(measuredvalues). Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις αυτές αφορούν τριφασική και μονοφασική ισχύ, πολικές και

φασικές τάσεις, συντελεστή ισχύος, συχνότητα και σύνθετη αντίσταση γραμμής.
Σημείωση: Το πρότυπο ορίζει το λογικό κόμβο *MMXN* που χρησιμοποιείται για μονοφασικές μετρήσεις. Παρόλα αυτά, επιλέγουμε το *MMXU* για μεγαλύτερη ευελιξία του *powermeter*, δηλαδή να υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του και σε τριφασικά κυκλώματα, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση νέων λογικών κόμβων. Έτσι, για το συγκεκριμένο μονοφασικό κύκλωμα θα γίνεται χρήση φασικών μεγεθών του *MMXU* που αναφέρεται σε μία από τις τρεις φάσεις (π.χ. A) αγνοώντας τις υπόλοιπες.

2) **MMTR:** Χρησιμοποιείται για μετρήσεις μεγεθών που γίνονται σε ένα χρονικό διάστημα (*metered values*). Ειδικότερα, χρησιμοποιείται για μέτρηση ενέργειας ως παραγωγή και ως ζήτηση. Αναφέρεται σε τριφασικά συστήματα

3) **MHAI:** Χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση μετρήσεων που σχετίζονται με την αρμονική παραμόρφωση. Πχ THD (%)

3.3.2.3 AC ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ

1) **XCBB:** Χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει διακόπτες με δυνατότητα διακοπής τόσο σε κανονική λειτουργία, όσο και σε περίπτωση σφάλματος σε ένα AC σύστημα. Οι εντολές για άνοιγμα ή κλείσιμο του διακόπτη δίνονται από τον λογικό κόμβο *CSWI*. Ο λογικός αυτός κόμβος έχει ως υποχρεωτικά *dataobjects* τα εξής: *Loc* που δείχνει αν ο διακόπτης ελέγχεται τοπικά ή απομακρυσμένα (*local-remoteoperation*), *OpCnt* που είναι μετρητής για τον αριθμό της εναλλαγής των καταστάσεων του διακόπτη, *Pos* που δείχνει την τρέχουσα θέση του διακόπτη, *BlkOrn* που εμποδίζει την εντολή ανοίγματος του διακόπτη από έναν άλλο λογικό κόμβο, *BlkCls* που αντίστοιχα εμποδίζει την εντολή κλεισίματος του διακόπτη και *CBOPCar* δείχνει τις φυσικές δυνατότητες λειτουργίας του διακόπτη μέσω ενός αριθμού που δείχνει τον δυνατό αριθμό εναλλαγής καταστάσεων (καμιά, ανοιχτός, ανοιχτός-κλειστός, ανοιχτός-κλειστός-ανοιχτός, κλειστός-ανοιχτός-κλειστός-ανοιχτός).

2) **CSWI:** Ο λογικός αυτός κόμβος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο διακοπών. Ως υποχρεωτικά του *dataobjects* ορίζονται το: *Pos* που δείχνει την τρέχουσα θέση του διακόπτη. Ανάλογα με τη λειτουργία που θέλουμε να εκτελέσει ο διακόπτης, χρησιμοποιούμε είτε το *OpOrn* για το άνοιγμα του ή το *OpCls* για το κλείσιμό του.

3.3.2.4 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

1) **ZBTC:** Ο λογικός αυτός κόμβος χρησιμοποιείται για εξωτερικό φορτιστή μπαταριών, αλλά στην προκειμένη περίπτωση αυτόν τον ρόλο τον παίζει ο *inverter*. Περιέχει *dataobjects* για το συνολικό χρόνο φόρτισης, για το είδος της φόρτισης, για την ισχύ που απαιτείται για τη πλήρη φόρτιση των μπαταριών και για τις τρέχουσες τιμές της τάσης και του ρεύματος φόρτισης.

2) **ZBAT:** Ο λογικός κόμβος *ZBAT* χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει το σύστημα μπαταριών. Περιέχει πληροφορίες για το είδος των μπαταριών, τη χωρητικότητα των μπαταριών (Ah), την ονομαστική τάση των μπαταριών, την μέγιστη

τάση και ρεύμα φόρτισης των μπαταριών, ένδειξη για πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή τάση μπαταριών κλπ. Στην κατηγορία των μετρούμενων τιμών (measuredvalues) αναφέρονται η εσωτερική και η εξωτερική τάση των μπαταριών, το εσωτερικό ρεύμα και η θερμοκρασία των μπαταριών .

3.3.2.5 INVERTER

1) **ZINV:** Ο λογικός αυτό κόμβος μοντελοποιεί το dc→ac μέρος του inverter. Αναλυτικά ως υποχρεωτικά data ορίζονται τα εξής: WRtg ορίζει την ονομαστική ισχύ του inverter , που στην προκειμένη είναι 4500 W. ACTyp για τον τύπο του συστήματος (μονοφασικό , διφασικό , τριφασικό). PQVLimSet που δίνει τα χαρακτηριστικά της καμπύλης p_{qvn} και OutWSet που αφορά το setpoint της ισχύος εξόδου. Κάποια από τα προαιρετικά data που ορίζονται είναι τα : SwTyp, CoolTyp για το είδος των διακοπών και της ψύξης αντίστοιχα, PQVLim για τις οριακές καμπύλες p_{qvn}, GridModSt για την τρέχουσα κατάσταση σύνδεσης στο δίκτυο, CmutTyp και IsoTyp όπως περιγράφονται και για το ZRCT, SwHz που αφορά τη διακοπτική συχνότητα, GridMod για τη σύνδεση του inverter με το δίκτυο. Επιπλέον , δίνονται τα OutVarSet, OutPFSet, OutHzSet, InALim, InVLim για τα setpoints της άεργου ισχύος εξόδου, του συντελεστή ισχύος και της συχνότητας και για τα όρια του ρεύματος και της τάσης εισόδου αντίστοιχα.

2) **DRCC:** DERsupervisorycontrol. Ο λογικός αυτός κόμβος παρέχει έλεγχο για τη λειτουργία του αντιστροφέα. Υποχρεωτικά data είναι τα DERStk και DERStor για την εκκίνηση και διακοπή του αντιστροφέα, το AutoManCtl για την επιλογή αυτόματης ή χειρονακτικής λειτουργίας και το LocRemCtl για τη ρύθμιση απομακρυσμένου ή τοπικού ελέγχου. Ενδιαφέροντα προαιρετικά data είναι επίσης τα OutWSet , για ρύθμιση setpoint ενεργού ισχύος ως ποσοστό της ονομαστικής, ImExSet για σταθερό λόγο εισερχόμενης/εξερχόμενης ισχύος και OutVSet για σταθερή τάση ως ποσοστό της ονομαστικής,

3) **MMXU:** Ο λογικός αυτός κόμβος χρησιμοποιείται για την μέτρηση μεγεθών, όπως τάσεις , ρεύματα , ισχύεις κλπ, σε ένα τριφασικό σύστημα(measuredvalues). Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις αυτές αφορούν τριφασική και μονοφασική ισχύ, πολικές και φασικές τάσεις, συντελεστή ισχύος, συχνότητα και σύνθετη αντίσταση γραμμής.

4) **MMDC:** Ο λογικός αυτός κόμβος χρησιμοποιείται για μετρήσεις DC τάσεων και ρευμάτων. Προστέθηκε στη δεύτερη έκδοση του IEC-61850-7.4

5) **DOPM:** Χρησιμοποιούμε αυτόν τον λογικό κόμβο για να μοντελοποιήσουμε την κατάσταση λειτουργίας του inverter. Περιέχει μόνο προαιρετικά data , που δηλώνουν τον τρόπο λειτουργίας, όπως για παράδειγμα σταθερή ενεργός ισχύς, σταθερή τάση, σταθερή άεργος.

Κεφάλαιο 4: Το μοντέλο πληροφορίας του IEC-61850.

4.1 Εισαγωγή

Στο παρελθόν τα πρότυπα που χρησιμοποιούνταν στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ήταν αρκετά απλά και αυτό γιατί ασχολούνταν με σχετικά μικρό αριθμό διαφορετικών τύπων δεδομένων (datatypes) και μικρό αριθμό επικοινωνιακών υπηρεσιών. Επίσης, οι τύποι δεδομένων ήταν απλοί και πλησίαζαν τους πρωταρχικούς τύπους δεδομένων (πχ integer, float κλπ). Η αντιστοίχιση σε επικοινωνιακά πρωτόκολλα ήταν επίσης άμεση και απλή, αφού στα ίδια τα πρότυπα ορίζονταν όλα τα επίπεδα της επικοινωνιακής δομής (επίπεδα με την έννοια του μοντέλου ISO/IEC που αποτελείται από 7 επίπεδα).

Η απλότητα αυτή των προτύπων μετατράπηκε σε πολυπλοκότητα για αρκετούς λόγους: α) Εμφανίστηκε η ανάγκη για περισσότερο σύνθετες δομές δεδομένων β) Η υιοθέτηση σύνθετων επικοινωνιακών τεχνικών οδήγησε στην υλοποίηση περίπλοκων μοντέλων υπηρεσιών. Για παράδειγμα τέτοιες τεχνικές βασίζονται σε επιβεβαιωμένες και μη επιβεβαιωμένες υπηρεσίες, υπηρεσίες ασφάλειας, υποστήριξη συναλλαγής, event models κλπ. γ) Είναι επιθυμητό τα πρότυπα να χρησιμοποιούν τα υπάρχοντα επικοινωνιακά επίπεδα ή προφίλ (όπως για παράδειγμα πρωτόκολλο Ethernet για τα physical και link επίπεδα - δηλαδή τα επίπεδα φυσικής σύνδεσης και σύνδεσης δεδομένων -, το IP και TCP για τα επίπεδα network και transport αντίστοιχα κλπ).

Παρόλα αυτά, η πολυπλοκότητα των δεδομένων και των υπηρεσιών, περιορίζεται από το γεγονός ότι οι εφαρμογές ελέγχου και εποπτείας των ΣΗΕ γίνονται σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, οι απαιτήσεις των εφαρμογών σε συνδυασμό με τη χρήση των ήδη υπάρχοντων επικοινωνιακών τεχνολογιών οδήγησε σε μεγάλα και περίπλοκα πρότυπα με πολλές εξαρτήσεις ανάμεσα στα μέρη τους. Επίσης σε αυτό συμβάλλει και το γεγονός ότι τα εξειδικευμένα αυτά πρότυπα δημιουργούνται από ειδικούς στις συγκεκριμένες εφαρμογές που όμως έχουν περιορισμένη γνώση σε Information Technology (IT). Συνεπώς τα πρότυπα περιέχουν μεγάλο όγκο εξειδικευμένης γνώσης που είναι δύσκολα προσεγγίσιμη από τους σχεδιαστές λογισμικού.

Το IEC-61850 δεν αποτελεί εξαίρεση στην παραπάνω κατάσταση. Συγκεκριμένα ορίζει τρία επίπεδα που αφορούν το λογισμικό του εξοπλισμού: α) Ένα περιεκτικό μοντέλο δεδομένων (τί) β) Τις επικοινωνιακές υπηρεσίες για την πρόσβαση και την ανταλλαγή δεδομένων (πως) γ) Τη γλώσσα SCL (Substation Configuration Language), που είναι ένας αυστηρός τρόπος για να περιγράψει κανείς το πως ρυθμίζεται η κάθε συσκευή. Δηλαδή ορίζει το ποιες υπηρεσίες υποστηρίζονται από κάθε συσκευή.

Μια σημαντική συνεισφορά του IEC-61850, παρά την πολυπλοκότητα του, είναι ο ορισμός μίας σύνθετης συλλογής δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των συσκευών ενός υποσταθμού. Αυτή η συλλογή καλείται μοντέλο δεδομένων (data model) και δείχνει

τη σημασιολογία των δεδομένων για την εκάστοτε εφαρμογή. Παρόλα αυτά, εκτός από τη SCL , η οποία ορίζεται σαν ένα W3CXMLσχήμα, όλοι οι υπόλοιποι κανόνες/προδιαγραφές ορίζονται σε φυσική γλώσσα μέσω πινάκων. Πολλοί από αυτούς τους πίνακες καθώς και στοιχεία αυτών , έχουν ρητές αναφορές σε άλλους πίνακες ή στοιχεία , αλλά είναι πολύ συχνό να μην υπάρχουν τέτοιες σαφείς συνδέσεις. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση πρέπει ο αναγνώστης να έχει κατανοήσει πλήρως το πεδίο της εφαρμογής (τους αυτοματισμούς υποσταθμών) , για να μπορέσει μόνος του να δημιουργήσει λογικές συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων όταν αυτό είναι απαραίτητο. Το γεγονός αυτό είναι αρκετά δύσκολο γιατί το πρότυπο περιέχει περισσότερους από 150 πίνακες, σε 5 άρθρα μεγαλύτερα από 600 σελίδες. Τα προβλήματα που εμφανίζονται στο IEC-61850 μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες :

- ❖ Υπάρχει έλλειψη ενός ρητού πρωταρχικού ορισμού για τα μοντέλα δεδομένων και τις σχέσεις αυτών , έτσι ώστε τα υπόλοιπα μέρη του προτύπου να βασιστούν σε αυτόν και να κατασκευάσουν τους δικούς τους κατηγορηματικούς ορισμούς.
- ❖ Παρόλο που θα ήταν πλήρως επιθυμητό να διαχωριστούν τα μοντέλα δεδομένων με τα επικοινωνιακά μοντέλα , αυτό δεν επιτυγχάνεται πλήρως στο πρότυπο. Στο μοντέλο δεδομένων εμφανίζονται έννοιες που σχετίζονται με τα επικοινωνιακά ζητήματα.
- ❖ Ενώ η SCLορίζεται σαφώς ως ένα W3C XML σχήμα, εκεί εμφανίζονται έννοιες ασυνεπείς με τα άλλα μέρη του προτύπου. Συνεπώς, χρειάζεται μία αντιστοίχιση μέσα στο ίδιο το πρότυπο ώστε να διατηρείται η συνέπεια ανάμεσα στη SCL και τα μοντέλα δεδομένων.

Για τους παραπάνω λόγους , θα κατασκευαστεί το μοντέλο δεδομένων του IEC-61850 , με τη βοήθεια της UMLχρησιμοποιώντας τοEMF(EclipseModelingFramework) του Eclipse.

ΤοEMFείναι ένα εργαλείο μοντελοποίησης και παραγωγής κώδικα. Από ένα δεδομένο μοντέλο που περιγράφεται σε XMI(XML Metadata Interchange), το EMFπαρέχοντας το κατάλληλο περιβάλλον και εργαλεία μπορεί να παράγει κλάσεις σε Java.

4.2 Το μοντέλο δεδομένων

Το μοντέλο δεδομένων του IEC-61850 ορίζει τη δομή και τη σημασιολογία όλων των δεδομένων που ανταλλάσσονται μέσα σε έναν υποσταθμό. Το μοντέλο αυτό δεν είναι εύκολο να γίνει κατανοητό, αρχικά λόγω της ασυνεπούς ορολογίας του και κατά δεύτερον γιατί υπάρχουν δευτερεύοντα μοντέλα(meta-models) που υπόκεινται του βασικού. Θα μπορούσε κανείς να χωρίσει όλη τη δομή σε 4 μέρη:

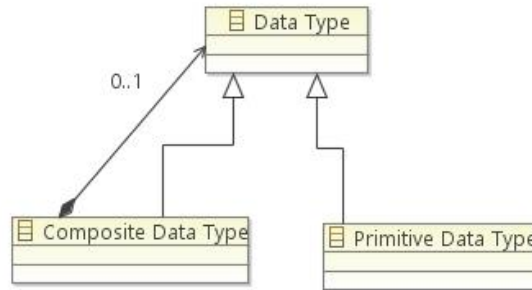
- ❖ Meta-metamodel: Ασχολείται με τα πολύ γενικά θέματα του προτύπου. Για παράδειγμα , σε πολλά σημεία του προτύπου αναφέρεται ότι

τα data αποτελούνται από data και έτσι μπορούν να είναι σύνθετα (complex) ή πρωταρχικά (primitive). Τα σύνθετα αποτελούνται από data, δηλαδή επιτρέπουν ένα επίπεδο αναδρομής, σε αντίθεση με τα πρωταρχικά που δεν επιτρέπουν περαιτέρω αποδόμηση.

- ❖ Meta-model: Στο σημείο αυτό περιγράφονται τα βασικά, αλλά και ακόμα αφηρημένα, στοιχεία και οι σχέσεις αυτών. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι οι λογικοί κόμβοι (logical nodes) έχουν έναν αριθμό από data attributes, που καλούνται data. Παρόλα αυτά δεν αναφέρονται ποιοι συγκεκριμένοι λογικοί κόμβοι είναι αυτοί και ποια συγκεκριμένα data περιέχονται σε αυτούς. Το μοντέλο αυτό είναι ανεξάρτητο της εκάστοτε εφαρμογής, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εξειδικευμένη εφαρμογή.
- ❖ Domain Type Model: Σε αυτό το επίπεδο οι έννοιες του meta-model γίνονται συγκεκριμένες. Δηλαδή σε αυτό το σημείο αναφέρονται αναλυτικά οι λογικοί κόμβοι και τα data που υπάρχουν. Για αυτόν τον λόγο, η σημασιολογία των δεδομένων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, γιατί πρέπει να είναι ξεκάθαρος ο ρόλος τους στην εφαρμογή που πρέπει να υλοποιηθεί.
- ❖ Data Instance Model: Το επίπεδο αυτό ασχολείται με συγκεκριμένα πλέον αντικείμενα των κλάσεων του IEC-61850. Για παράδειγμα, μία λογική συσκευή περιέχει κάποιους συγκεκριμένους λογικούς κόμβους, με συγκεκριμένα ονόματα.

4.3 Meta-metamodel

Στο meta-metamodel στηρίζεται η φιλοσοφία του προτύπου για τη μοντελοποίηση κάθε τύπου δεδομένων. Η φιλοσοφία αυτή είναι απλή, και εκφράζει το είδος των δεδομένων και το τι αυτά περιέχουν. Συγκεκριμένα, ορίζει ότι ένας τύπος δεδομένων (datatype) μπορεί να είναι είτε σύνθετος (Composite) είτε απλός (Primitive). Ένας σύνθετος τύπος δεδομένων αποτελείται άλλα δεδομένα (διαφόρων τύπων), και έτσι με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται «φώλιασμα» (nesting). Τα περιεχόμενα αυτά δεδομένα μπορεί να είναι είτε σύνθετα (composite), επιτρέποντας έτσι και δεύτερο επίπεδο nesting, είτε απλά. Για κάποιους τύπους δεδομένων το πρότυπο ορίζει συγκεκριμένο αριθμό επιτρεπόμενων nesting. Ολόκληρο το πρότυπο IEC-61850 κατασκευάζεται από κάποιους πρωταρχικούς τύπους, τους λεγόμενους basic types, και για αυτό το λόγο κάθε σύνθετος τύπος δεδομένων, με οποιοδήποτε αριθμό nesting, πρέπει να καταλήγει σε ένα τέτοιο στοιχείο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η φιλοσοφία του meta-metamodel, όπως υλοποιήθηκε στο EMF:



Εικόνα 71: Το meta-meta μοντέλο.

4.4 Metamodel

Το μοντέλο δεδομένων του IEC-61850 είναι αρκετά περίπλοκο και έτσι πολλές φορές εμφανίζεται δυσκολία στην κατανόηση του. Η δυσκολία αυτή θα μπορούσε να εντοπιστεί σε τρία σημεία:

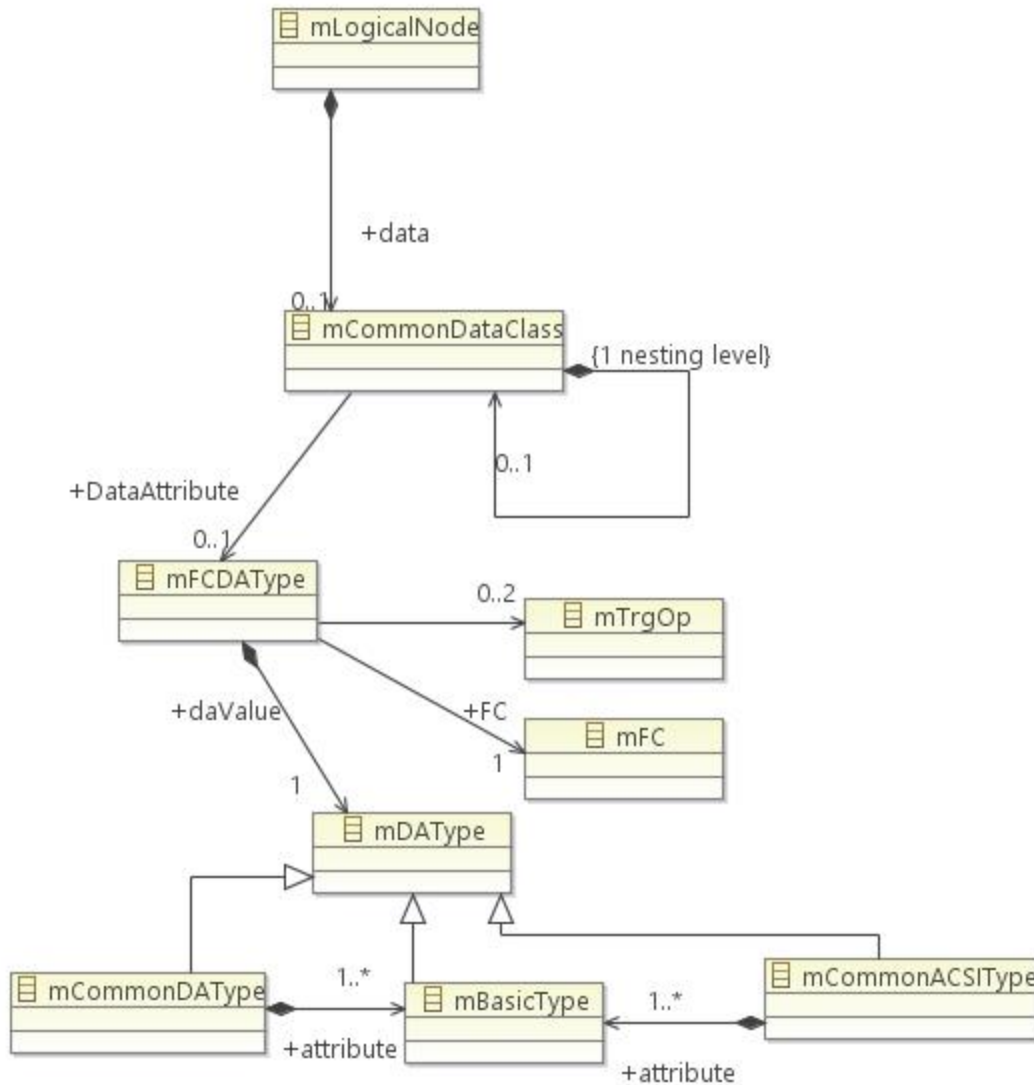
- ❖ Γενικώς το πρότυπο προσπαθεί να εξηγήσει το μοντέλο δεδομένων με μία αντικειμενοστραφή προσέγγιση χρησιμοποιώντας για παράδειγμα την έννοια της κληρονομικότητας των κλάσεων. Παρόλα αυτά, αυτό που συνήθως εννοείται είναι η έννοια του «σύνθετου στοιχείου», δηλαδή ότι ένα στοιχείο αποτελείται από επιμέρους στοιχεία.
- ❖ Η έννοια του μέταμοντέλου δεν εμφανίστηκε από την αρχή στο IEC-61850 και για αυτό το λόγο δημιουργήθηκαν οι βοηθητικοί τύποι CommonXXX που σκοπό έχουν να συνδυάσουν τόσο την αφηρημένη ιδέα του μοντέλου (logicalnodes, dataκλπ), όπως επίσης και να παρέχουν μία σαφή διαδρομή ολόκληρης της δομής των δεδομένων.
- ❖ Ενώ θα ήταν απολύτως θεμιτό, δεν γίνεται σαφής διαχωρισμός των επικοινωνιακών ζητημάτων με το μοντέλο δεδομένων.

Η κατασκευή του meta-model, βασίζεται στην επαναλαμβανόμενη εφαρμογή του meta-metamodel και συγκεκριμένα απαρτίζεται από τρία στάδια:

- ❖ Ένας λογικός κόμβος (logicalnode) αποτελείται από ένα ή περισσότερα δεδομένα (data). Κάθε ένα από αυτά ορίζεται σε κάποια CommonDataClass (CDC).

- ❖ Κάθε δεδομένο (data) αποτελείται από dataattributes. Κάθε ένα από αυτά μπορεί να είναι είτε τύπου DATypeενώ παράλληλα περιέχει έως δύο TriggerOptions και υποχρεωτικά μία σταθερά FunctionalConstraint. Ενώ δεν ορίζεται στο πρότυπο, προκειμένου να συγκεντρώσουμε την κλάση που ανήκουν τα dataattributes, μπορούμε να την ορίσουμε ως FCDAType.
- ❖ Όπως αναφέρθηκε παραπάνω , κάθε dataattributeείναι τύπου DAType. Στην κλάση αυτή ανήκουν είτε απλοί/βασικοί τύποι (BasicTypes), είτε σύνθετοι τύποι. Στους τελευταίους ανήκουν οι CommonACSTypesπου ορίζονται στο 7.2 (πχ ObjectName,ObjectReference κλπ) και οι CommonDataAttributeTypesπου ορίζονται στο 7.3 (πχ quality, validityκλπ).

Έτσι, ακολουθώντας τους παραπάνω κανόνες, κατασκευάστηκε το Μέτα-μοντέλο δεδομένων με το EclipseEMF.



Εικόνα 72: Το Μέτα-μοντέλο δεδομένων.

Έτσι κάθε λογικός κόμβος είναι αντικείμενο της κλάσης `mLogicalNode` και περιέχει δεδομένα που είναι αντικείμενα της κλάσης `mCommonDataClass`. Τα δεδομένα αυτά με τη σειρά τους περιέχουν `dataattribute`τα οποία είναι «τύπου» `mFCDAType`.

4.5 DomainTypeModel

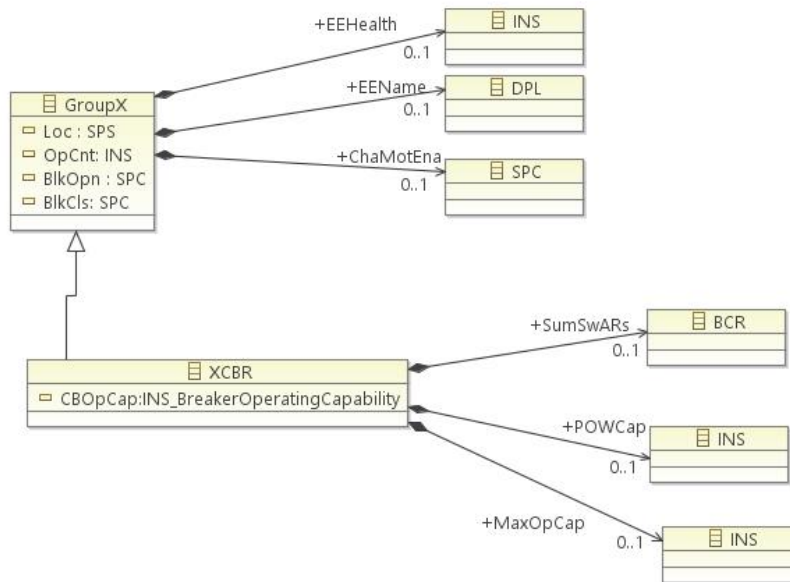
Στο σημείο αυτό ορίζονται

- ❖ το σύνολο των λογικών κόμβων και τα δεδομένα (data) που περιέχουν
- ❖ το σύνολο των Common Data Class (CDC)
- ❖ το σύνολο των καθορισμένων DATypes που συνθέτουν τις CDC.

Τα παραπάνω καλύπτονται από τα μέρη 7.2, 7.3, 7.4 του IEC-61850.

4.5.1 LogicalNodes –CDC

Το πρότυπο ορίζει 89 τύπους λογικών κόμβων (και επιπλέον του LLN0 και LPHD) που είναι οργανωμένοι σε 12 ομάδες (ενώ οι LLN0 και LPHD ανήκουν σε μία 13^η. Στην παρακάτω εικόνα δίνεται η υλοποίηση μιας μικρής ομάδας λογικών κόμβων, της ομάδας X, με έναν από τους δύο λογικούς κόμβους που περιέχει, τον XCBR. Κάθε λογικός κόμβος περιέχει μία λίστα με τα χαρακτηριστικά του, όπως πχ MaxOpCap. Όπως καταλαβαίνουμε πρόκειται για data , που ορίζονται στο meta-model. Τα δεδομένα αυτά (data) είναι αντικείμενα με συγκεκριμένη ονομασία των διάφορων CommonDataClass. Για κάθε λογικό κόμβο ορίζονται έως και 41 οντότητες Data, εκ των οποίων κάποια είναι υποχρεωτικά και κάποια είναι προαιρετικά. Συνολικά, υπάρχουν περίπου στα 500 ορισμένα Data. Να σημειωθεί ότι είναι το όνομα κάθε οντότητας Data και ίσως το πλαίσιο που βρίσκεται (για παράδειγμα ο λογικός κόμβος που περιέχεται) που δηλώνει την σημασιολογία/ερμηνεία του για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί.



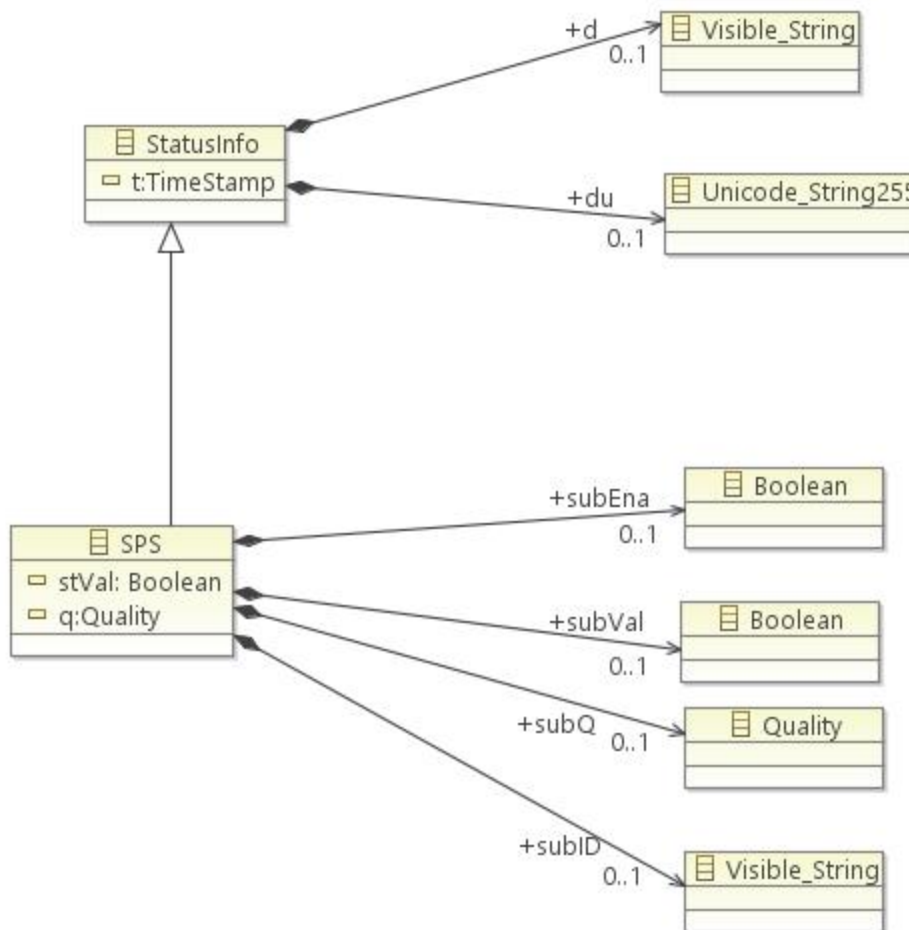
Εικόνα 73: Μοντέλο λογικού κόμβου XCBR

Το παραπάνω μοντέλο κλάσεων κατασκευάστηκε με το EclipseEMF , και ερμηνεύεται ως εξής: Όλοι οι λογικοί κόμβοι της ομάδας X, έχουν υποχρεωτικά τα 4 data Loc ,OpCnt, BlkOpn και BlkCls προαιρετικά τα data EEHealth, EEName και ChaMotEna. Τα χαρακτηριστικά αυτά τα κληρονομούν όλοι οι λογικοί κόμβοι που ανήκουν στη συγκεκριμένη ομάδα, δηλαδή ο XCBR και ο XSWI (που δεν φαίνεται στο σχήμα). Ο XCBR έχει ως υποχρεωτικό data το CBOpCap που αποτελεί αντικείμενο/οντότητα της CDCINS. Από την άλλη έχει ως προαιρετικά data τα: SumSwARs που είναι αντικείμενο της CDCBCR και τα POWCap και MaxOpCap που είναι τύπου INS.

Οι `CommonDataClasses` ορίζονται κατά έναν προτυποποιημένο, γενικό σύστημα. Το σύστημα αυτό είναι γενικό υπό την έννοια ότι οι οριζόμενες CDC χρησιμοποιούνται σε οποιαδήποτε εφαρμογή ισχύος ενώ παράλληλα προσφέρει τους βασικούς τύπους για τον ορισμό δεδομένων για συγκεκριμένες μόνο εφαρμογές. Παρόλο που οι CDC είναι χωρισμένες σε κατηγορίες (`AnalogueInfo`, `StatusCt` κλπ) αξίζει να σημειωθεί ότι το όνομα ενός συγκεκριμένου `data` δεν είναι συνυφασμένο με μία μόνο `CommonDataClass`. Ένα παράδειγμα είναι το `data«Amp»` το οποίο ορίζεται ως `MV-MeasuredValue-` στους λογικούς κόμβους `MMXN`, `ZBAT`, `ZAXN`, `PTTR` ορίζεται και ως τύπου `SAV-SampledValue-` στο λογικό κόμβο `TCTR`.

Σε γενικές γραμμές τα `data` αποτελούνται από `dataattributes` (όπως ορίζεται στο `meta-model`). Τα `dataattributes` είναι σύνθετοι τύποι, που κατασκευάζονται από τους τύπους `FCDataTypes`, που θα αναλυθούν παρακάτω. Στην Εικόνα 65 φαίνεται ένα παράδειγμα της `CDCSPS-SinglePointStatus`, όπου διακρίνονται τα υποχρεωτικά και τα προαιρετικά `dataattributes` που αυτή περιέχει. Οι επιτρεπόμενοι τύποι των `dataattribute`, ορίζονται στην κλάση `FCDataType`.

Το παρακάτω σχήμα μπορεί να ερμηνευθεί ως εξής: Η `CDCSPS`, αρχικά έχει ως υποχρεωτικά `dataattribute` τα `stVal` και `q`. Από την άλλη, έχει ως προαιρετικά `dataattribute` τα `subEna`, `subVal`, `subQ` και `subID`. Επίσης, κληρονομεί από την κλάση `StatusInfo` το υποχρεωτικό πεδίο `t` και τα προαιρετικά χαρακτηριστικά `d` και `dU`. Ο λόγος που αυτά τα χαρακτηριστικά εισάγονται με τη σχέση της κληρονομικότητας είναι ότι από την κλάση `StatusInfo` κληρονομούν και άλλες `CommonDataClasses` τα χαρακτηριστικά αυτά. Στην προκειμένη οι κλάσεις αυτές δεν απεικονίζονται.



Εικόνα74:Περιγραφήτης Common Data Class SPS.

4.5.2 FCDA Types

Γενικώς , τα FCDA Types μπορούν να χαρακτηριστούν ως μία προέκταση των DA Types. Αυτή η επέκταση περιλαμβάνει τον ορισμό υποχρεωτικά μίας (λειτουργικής σταθεράς) FunctionalConstraint-FC- και μέχρι δύο προαιρετικά TriggeringOptions(TrgOp). Παρόλα αυτά , ορισμένες λειτουργικές σταθερές (FC) πραγματικά περιορίζουν την κανονική λειτουργία ορισμένων DA Types , όπως πχ απενεργοποιώντας κάποιες υπηρεσίες τους. Αυτό το γεγονός εμποδίζει τον ορισμό των FCDA Types ως επέκταση των DA Types και έτσι οι δύο αυτές κλάσεις συνδέονται με τη σχέση της σύνθεσης(όπως φαίνεται στο metamodel). Έτσι τα FCDA Types κατασκευάζονται από τα DA Types , δηλαδή τα CommonACSI Types και τα Basic Types. Επίσης να σημειωθεί ότι η κλάση των FCDA Types δεν ορίζεται σαφώς στο IEC-61850.

Ο ορισμός των FCDA Types με αναφορά ταυτόχρονα στα DA Types και στα FC και TrgOps, κατά κάποιο τρόπο συνδέει τα επικοινωνιακά ζητήματα με το μοντέλο δεδομένων. Τόσο η σταθερά FC όσο και οι TrgOps συνδέονται με τις υπηρεσίες των

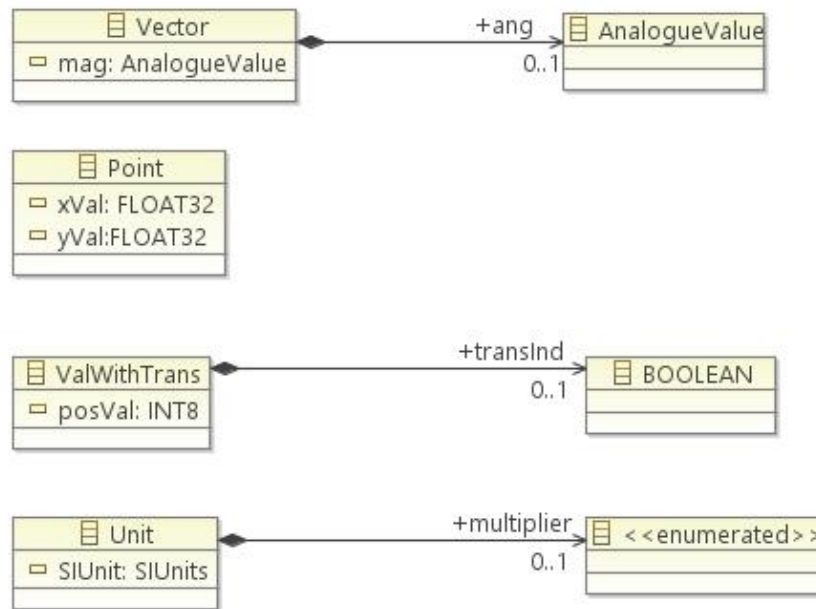
αντίστοιχων δεδομένων. Στη γενική περίπτωση, σύμφωνα με τις τωρινές προδιαγραφές του προτύπου, είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί κάποια υπηρεσία άμεσα. Για παράδειγμα, δεν μπορούμε να πούμε ότι κάποιο δεδομένο με συγκεκριμένη FC μπορεί να παρέχει όλες τις υπηρεσίες. Με άλλα λόγια κάθε FC πρέπει να περιέχει πληροφορίες και μεθόδους από διάφορες υπηρεσίες και για αυτό το λόγο οι σταθερές αυτές αναπαριστούνται σαν ένα interface από ένα συνδυασμό υπηρεσιών, σύμφωνα με το μέρος 7.3 του προτύπου. Τα παραπάνω δείχνουν πόσο περίπλοκος είναι ο ορισμός της κλάσης FCDataType και τον τρόπο που εμπλέκονται οι επικοινωνιακές υπηρεσίες με το μοντέλο δεδομένων.

4.5.3 DataTypes

Όπως φαίνεται στο μέτα-μοντέλο (Εικόνα 64) η κλάση FCDataType κατασκευάζεται από την κλάση DataType (DataAttributeType). Ένα στοιχείο τύπου DataType μπορεί να είναι είτε ένας από τους ορισμένους βασικούς τύπους (BasicTypes) είτε ένας σύνθετος τύπος που αποτελείται από βασικούς. Οι σύνθετοι τύποι ορίζονται ως CommonDataAttributeTypes στο μέρος 7.3 και ως CommonACSTypes στο μέρος 7.2. Στο μέρος 7.2 ορίζονται επίσης και οι βασικοί τύποι. Όλοι οι παραπάνω τύποι εισήχθησαν για να αναπαραστήσουν τους διαφορετικούς υποτύπους του DataType. Όπως καταλαβαίνει κανείς, και η κλάση αυτή χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα στον ορισμό της, εφόσον θα ήταν αρκετό να κλάση DataType να αποτελείται από βασικούς τύπους (BOOLEAN, INT8, FLOAT 32, ENUMERATED κλπ), και από σύνθετους που συνθέτονται από τους βασικούς, σύμφωνα με τη λογική του Μέτα-Μέτα-μοντέλου.

Επίσης να σημειωθεί ότι στην κλάση των DataType στο πρότυπο εισάγει τον τύπο ENUMERATED (απαρίθμηση) ως έναν αφηρημένο τύπο για απαριθμήσεις χωρίς να ορίζει συγκεκριμένους τύπους αυτού του είδους δημιουργώντας ασάφειες.

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται 4 παραδείγματα dataattributes μέσω των διαγραμμάτων UML. Το πρώτο είναι το Vector, το οποίο έχει ένα υποχρεωτικό πεδίο (mag) τύπου AnalogueValue και ένα προαιρετικό (ang) που είναι και αυτό τύπου AnalogueValue. Το στοιχείο Vector είναι ένα σύνθετο στοιχείο, και μάλιστα εμφανίζεται nesting σε δύο επίπεδα εφόσον και η κλάση AnalogueValue είναι σύνθετου τύπου. Το επόμενο DataAttribute είναι το Point, που έχει δύο υποχρεωτικά πεδία, τα οποία είναι τύπου FLOAT32. Το τρίτο attribute είναι το ValWithTrans που έχει ένα υποχρεωτικό πεδίο posVal τύπου INT8 και ένα προαιρετικό, το transInd τύπου BOOLEAN. Τέλος, το dataattributeUnit έχει υποχρεωτικά το πεδίο SIUnit τύπου SIUnits και προαιρετικά το multiplier που αποτελεί μία απαρίθμηση ENUMERATED.



Εικόνα 75: Παραδείγματα DataAttributes.

4.6 Πλεονεκτήματα μοντέλου δεδομένων – Μελλοντική Έρευνα

Το Μέτα-μοντέλο αποτελεί μία μειωμένη και απλούστερη έκδοση των προδιαγραφών που ορίζονται στα μέρη 7.2 ,7.3 και 7.4. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον ορισμό ενός DomainTypeModel αποκαλύπτουν πολλές ασυνέπειες στην τρέχουσα έκδοση του προτύπου. Για παράδειγμα από το 2002, όταν ξεκίνησε η μοντελοποίηση μερών του IEC-61850, αναγνωρίστηκαν πολλές ελλείψεις και αντιφάσεις , και έτσι εκατοντάδες διορθώσεις και σχόλια εστάλησαν στους συγγραφείς του προτύπου. Κάποιοι από αυτούς πρότειναν οι διορθώσεις να ενσωματωθούν αμέσως στο πρότυπο, άλλοι ξεκίνησαν συζητήσεις περί αυτών ενώ άλλοι δεν τις έλαβαν καθόλου υπόψη.

Κάποια μέρη του UML μοντέλου έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα πρωτότυπο εργαλείο που μετατρέπει μέρη του IEC-61850 σε ένα άλλο πρότυπο ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, το CIM-CommonInformationModel. Το CIM πρόσφατα εκδόθηκε ως μέρος του προτύπου IEC-61970. Το εργαλείο αυτό υλοποιήθηκε από προσωπικό, εξειδικευμένο στην ανάπτυξη λογισμικού, χωρίς να έχουν γνώση των υποσταθμών και γενικότερα των ηλεκτρικών δικτύων. Σε αυτή την περίπτωση το Meta-Model και το DomainTypeModel , σε UML, αποδείχθηκαν πολύ χρήσιμα.

Μία άλλη χρήση του μοντέλου UML είναι , η αυτόματη παραγωγή έγγραφων κειμένου του μέρους 7.4 (Compatible logical node classes and data classes). Τα έγγραφα αυτά , που είναι σχεδόν ίδια με ένα έγγραφο MS Word, περιέχουν πίνακες, με τα στοιχεία τους να είναι συνεπή μεταξύ τους. Παράλληλα αναπτύχθηκε και ένα άλλο εργαλείο , το SoDA,

το οποίο προσφέρει ένα πλήρως προσαρμόσιμο template και επιτρέπει την αυτόματη παραγωγή του κλώνου του 7.4 απευθείας από το UML μοντέλο. Τα αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής μαζί με τα κατάλληλα εργαλεία, έχουν υποβληθεί στο IEC με σκοπό τα μοντέλα UML να ενσωματωθούν πλήρως στο πρότυπο ώστε να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη του και την καλύτερη εφαρμογή του. Ενδεικτικά, όπως αναφέρεται στο (5) κάποια πλεονεκτήματα των μοντέλων UML είναι:

- ❖ *Ευκολότερες επεκτάσεις και συντήρηση του υπάρχοντος μοντέλου:* Ένα τυπικό μοντέλο επιτρέπει συνεπείς τροποποιήσεις από την μία έκδοση του προτύπου στην άλλη. Για παράδειγμα εάν αλλάξει το όνομα ενός τύπου, αυτό γίνεται σε ένα μέρος μέσα στο μοντέλο, επιτρέποντας έτσι τις πολλαπλές δοκιμές και ανάλυση των επιπτώσεων της αλλαγής. Από την άλλη, η αλλαγή ενός τύπου σε διάφορα σημεία διασκορπισμένα σε τρία τουλάχιστον έγγραφα, σε συνδυασμό με τις περαιτέρω διαδικασίες για την αξιολόγηση της αλλαγής, απαιτεί χρόνο και πολύ καλό έλεγχο. Επιπλέον, ένα άλλο επιχείρημα για τα μοντέλα UML είναι ότι επιτρέπουν στον προγραμματιστή να τα επεκτείνει εύκολα, προσθέτοντας για παράδειγμα επεκτάσεις σχετικά με το κατασκευαστή, διατηρώντας τη συνέπεια με το πρότυπο και το βασικό μοντέλο.
- ❖ *Παραγωγή κώδικα:* Τα μοντέλα UML μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κώδικα, η οποία περιλαμβάνει άμεση χρήση των σχέσεων κληρονομικότητας, όπως ορίζονται στο μοντέλο. Για παράδειγμα από ένα μοντέλο UML, με τα κατάλληλα plug-in, μπορούμε να εξάγουμε αυτόματα κώδικα ο οποίος θα περιέχει όλη την πληροφορία του μοντέλου. Επιπλέον, από ένα μοντέλο UML, μπορούν να παραχθούν και άλλες αναπαραστάσεις όπως η W3C XML (με κάποιους περιορισμούς), ή σχήματα RDF (ResourceDescriptionFrameworkSchema).
- ❖ *Αντιστοιχίσεις ή μετατροπές σε άλλα πρότυπα:* Οι συσκευές ή οι εφαρμογές που πληρούν τις προδιαγραφές του IEC-61850, δεν περιορίζονται στα πλαίσια ενός υποσταθμού, αλλά αντιθέτως πρέπει να αλληλεπιδρούν με άλλες συσκευές ή εφαρμογές στα πλαίσια ολόκληρου του δικτύου. Δηλαδή, δεν επικοινωνούν μόνο μεταξύ τους, αλλά και με φορείς εκτός υποσταθμού, όπως πχ κέντρα ελέγχου. Ένα μοντέλο UML μπορεί να αντιστοιχηθεί σε ένα άλλο υπάρχον μοντέλο UML κατά έναν τυπικό τρόπο. Ένα παράδειγμα θα ήταν η αντιστοίχιση του παραπάνω μοντέλου UML στο πρότυπο CIM, το οποίο ορίζει επίσης ένα μοντέλο δεδομένων για τα ηλεκτρικά δίκτυα. Άλλο παράδειγμα θα ήταν η αντιστοίχιση σε επικοινωνιακά πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου, όπως πχ το MMS. Όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα, το MMS είναι μία από τις προτεινόμενες αντιστοιχίσεις που αναφέρονται στο IEC-61850 αλλά σε ένα θεωρητικό επίπεδο, με τη μορφή κειμένου-πινάκων.
- ❖ *Υποστηρίξη εργαλείων CASE (Computer-aided software engineering):* Ένα αυστηρό μοντέλο UML συνδυαζόμενο με εργαλεία

CASE , μπορεί να προσφέρει στο χρήστη πολλές δυνατότητες. Τα εργαλεία αυτά μπορούν να προσφέρουν μία πληθώρα επιλογών όπως πχ μενού pop-up για την επιλογή διαθέσιμων τύπων, υποστήριξη διάδοσης των αλλαγών κλπ. Είναι επίσης εύκολο για ένα συγκεκριμένο τύπο να εμφανίζονται όλα τα χαρακτηριστικά/ορίσματα που αυτός περιέχει(είτε κληρονομούνται είτε όχι), όλες οι λειτουργίες του και όλες οι συσχετίσεις του με άλλους τύπους. Αυτό επιτρέπει να ελέγχει κανείς τη λογική ορθότητα του ορισμένου τύπου. Επίσης , η δυνατότητα εμφάνισης επιλεγμένων στοιχείων του μοντέλου , δίνει τη δυνατότητα σύνθεσης περίπλοκων διαγραμμάτων κλάσεων, όπως για παράδειγμα το πλήρες διάγραμμα της Εικόνας 66.Επιπλέον με τα εργαλεία CASE , προσφέρεται η δυνατότητα εμφάνισης του μοντέλου από διαφορετικές πλευρές ταυτόχρονα. Δηλαδή παράλληλα μπορούν να εμφανίζονται τόσο τα διαγράμματα UMLόσο και το πρόγραμμα περιήγησης ολόκληρου του μοντέλου. Όλα τα παραπάνω προσφέρουν άμεση εποπτεία και έλεγχο στο χρήστη, με έναν άνετο τρόπο.

Κεφάλαιο 5: Εφαρμογές

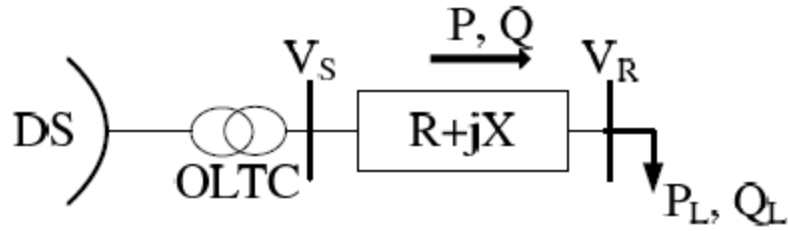
5.1 Εισαγωγή

Η διεσπαρμένη παραγωγή(Δ.Π) δεν είναι μία καινούρια ιδέα, αλλά είναι μία προσέγγιση που εμφανίζεται από τα πρώτα στάδια της ηλεκτρικής παραγωγής. Συγκεκριμένα, σε αυτά τα στάδια, η διεσπαρμένη παραγωγή ήταν ο κανόνας, αφού οι πρώτες μονάδες παραγωγής βρίσκονταν κοντά στους καταναλωτές. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον για τη Δ.Π. λόγω των τεχνολογικών καινοτομιών και των αλλαγών σε οικονομικό και ρυθμιστικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά, η παρούσα κατάσταση της Δ.Π. εξακολουθεί να βρίσκεται σε πρώιμη ανάπτυξη λόγω των οικονομικών και τεχνικών εμποδίων που θέτονται από τα υπάρχοντα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Ωστόσο, έχει δημιουργηθεί μια συνεχής, διεθνής προσπάθεια για τη διερεύνηση των κατάλληλων απαιτήσεων, όπως πχ ο μηχανισμός της αγοράς, τεχνικές προδιαγραφές κλπ, που διαμορφώνει το έδαφος για αύξηση της διείσδυσης της Δ.Π.

Δεδομένου ότι τα σύγχρονα ΣΗΕ έχουν σχεδιαστεί να δέχονται ενέργεια από τα Δίκτυα Μεταφοράς και να τη διανέμουν στους καταναλωτές μέσω των Δικτύων Διανομής, η ροή τόσο της Ενεργού όσο και της Άεργου Ισχύος είναι πάντα από τα υψηλότερα επίπεδα τάσης, στα χαμηλότερα. Ωστόσο, με αυξημένη διείσδυση Δ.Π., η ροή της ισχύος μπορεί να αντιστραφεί με αποτέλεσμα το Δίκτυο Διανομής από ένα παθητικό κύκλωμα που εξυπηρετεί κάποιους καταναλωτές, μετατρέπεται σε ένα ενεργό σύστημα όπου η ροή ισχύος και τα επίπεδα των τάσεων καθορίζονται τόσο από την παραγωγή όσο και από το φορτίο. Όπως καταλαβαίνει κανείς, η αλλαγή που υφίστανται τα Δίκτυα Διανομής είναι ραγδαία. Πολλές έρευνες γίνονται για να μελετηθούν αυτές οι αλλαγές όπως πχ ανύψωση τάσης, θερμική αντοχή του εξοπλισμού, αξιοπιστία του Δικτύου Διανομής, ικανότητα αντίστροφης ροής ισχύος των μετασχηματιστών ενδιάμεσων λήψεων (tap-chargers), απώλειες, ποιότητα ισχύος (flicker, αρμονικές κλπ), προστασίες κοκ.

5.2 Προφίλ τάσης συμβατικών Δικτύων Διανομής

Τα περισσότερα Δίκτυα Διανομής μοντελοποιούνται ως παθητικά, ακτινικά δίκτυα με τη ροή ενεργού (P) και άεργου ισχύος (Q) να είναι πάντα από τα υψηλότερα στα χαμηλότερα επίπεδα τάσης. Εφόσον ο λόγος της επαγωγικής προς ωμικής αντίστασης ($\frac{X}{R}$) για τα Δίκτυα Μεταφοράς είναι ≥ 10 , ενώ για τα Δίκτυα Διανομής είναι $\leq 0,5$, καταλαβαίνει κανείς ότι στα Δίκτυα Διανομής οι ωμικές αντιστάσεις είναι μεγάλες, γεγονός που οδηγεί σε πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής που καταλήγει στον καταναλωτή. Αυτή η πτώση τάσης μπορεί να υπολογιστεί μέσω του απλού δικτύου 2 ζυγών που φαίνεται στην Εικόνα 68.



Εικόνα 76:Σύστημα Διανομής με 2 ζυγούς.

Στο παραπάνω σχήμα DS είναι το δίκτυο διανομής (DistributionSystem) και OLTC είναι ο μετασχηματιστής με taps (OnLoadTapCharger). Επίσης V_S, V_R είναι οι τάσεις των δύο ζυγών, P, Q είναι η ενεργός και η άεργος ισχύς που ρέουν στην γραμμή, ενώ P_L, Q_L είναι το τροφοδοτούμενο φορτίο. Εύκολα, εξάγεται η εξίσωση:

$$\widehat{V}_S = \widehat{V}_R + \widehat{I}(R + jX)$$

Όπου \widehat{I} είναι το μιγαδικό ρεύμα που διαρρέει τη γραμμή. Εάν $\cos\phi$ ο συντελεστής ισχύος, τότε:

$$\widehat{I} = I \angle -\phi = I \cos\phi - jI \sin\phi$$

Άρα η πρώτη εξίσωση γίνεται:

$$\widehat{V}_S = \widehat{V}_R + (I \cos\phi - jI \sin\phi)(R + jX)$$

Θεωρούμε ως τάση αναφοράς την τάση του φορτίου, άρα: $\widehat{V}_R = V_R \angle 0$ ενώ θεωρούμε ότι η τάση V_S έχει γωνία θ , δηλαδή: $\widehat{V}_S = V_S \angle \theta$. Άρα, η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$V_S \angle \theta = V_R + I(R \cos\phi + X \sin\phi) - jI(R \sin\phi - X \cos\phi)$$

Στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης υπάρχει ο μιγαδικός με:

Πραγματικό μέρος: $V_R + I(R \cos\phi + X \sin\phi)$

Φανταστικό μέρος: $-I(R \sin\phi - X \cos\phi)$

Υψώνοντας στο τετράγωνο γίνεται:

$$V_S^2 = [V_R + I(R \cos\phi + X \sin\phi)]^2 + I^2(R \sin\phi - X \cos\phi)^2$$

Ο όρος $I^2(R \sin\phi - X \cos\phi)^2$ μπορεί να παραληφθεί για τα Δίκτυα Διανομής εφόσον είναι πολύ μικρός. Το σφάλμα που εισάγει αυτή η παράλειψη είναι 3-5%. Άρα η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$V_S^2 = [V_R + I(R \cos\phi + X \sin\phi)]^2$$

$$V_S = V_R + I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

$$V_S - V_R = IR\cos\varphi + IX\sin\varphi$$

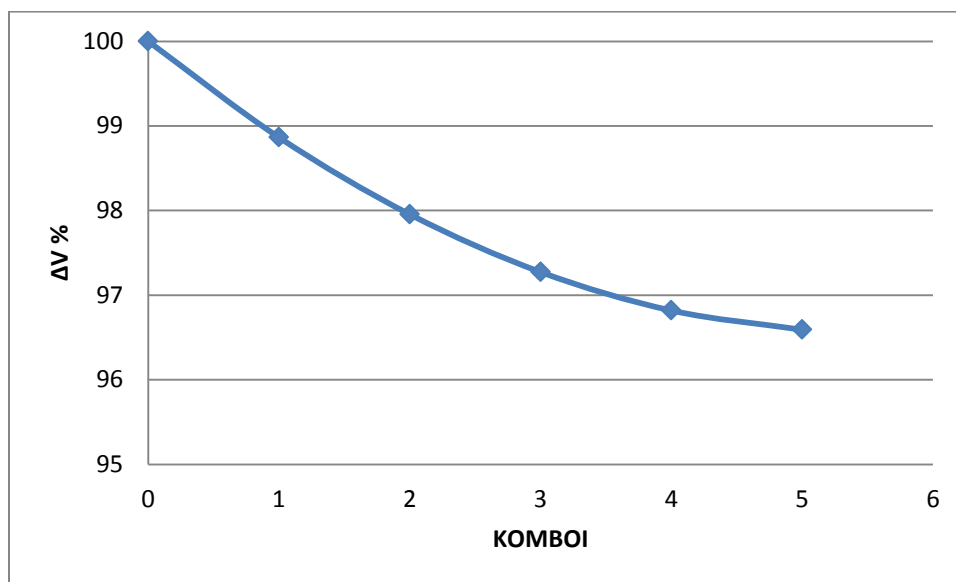
$$V_S - V_R = \frac{V_S IR\cos\varphi + V_S IX\sin\varphi}{V_S}$$

$$\Delta V = V_S - V_R = \frac{PR + XQ}{V_S}$$

Ο παραπάνω τύπος δίνει την πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής. Επιπλέον, εάν θεωρηθεί ότι η τάση της αναχώρησης είναι βασική τάση, δηλαδή ισούται με 1 α.μ. ο παραπάνω τύπος γίνεται:

$$\Delta V = V_S - V_R = PR + XQ$$

Ως παράδειγμα, θα εφαρμοστεί ο παραπάνω τύπος σε ένα ακτινικό δίκτυο διανομής συνολικού φορτίου 400kW , 80kVar .Το συνολικό μήκος της γραμμής είναι 25kmκαι κάθε 5 kmσυνδέεται φορτίο 80kW,16kVar. Τα χαρακτηριστικά της γραμμής είναι R=0.625 Ω/kmκαι X=0.3125 Ω/km. Η παρακάτω γραφική παράσταση δείχνει την πτώση τάσης των 5 κόμβων. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, οι κόμβοι που αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι οι περισσότερο απομακρυσμένοι.



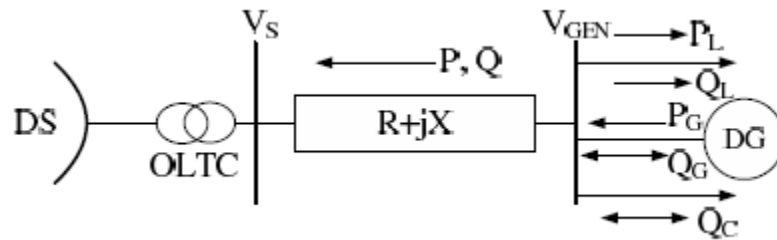
5.3 Αύξηση τάσης σε δίκτυο διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή

Γενικώς το προφίλ της τάσης ενός δικτύου διανομής είναι σταθερό. Ένας λόγος που αυτό μπορεί να ανατραπεί είναι η σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Όταν συνδέονται τέτοιες μονάδες η ροή ισχύος και η τάση επηρεάζονται , και το σύστημα από

παθητικό μετατρέπεται σε ενεργό. Προκειμένου μια γεννήτρια να παρέχει ενεργό ισχύ, λειτουργεί σε υψηλότερη τάση σε σχέση με τους υπόλοιπους κόμβους. Έτσι, εφόσον η ροή ισχύος αλλάζει, η τάση στον τερματικό ζυγό ισούται με :

$$V_R \approx V_S + PR + XQ$$

Έτσι , η τάση στο σημείο σύνδεσης της γεννήτριας είναι μεγαλύτερη από την τάση αναχώρησης, δηλαδή δημιουργείται ανύψωση τάσης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητό από το παρακάτω παράδειγμα. Στην Εικόνα 69 φαίνεται ένα δίκτυο διανομής όπου συνδέεται μία μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής (DG) σε ένα ζυγό 11kV. Η τάση του ζυγού αυτού καθορίζεται από τη γεννήτρια , και ισούται με V_{Gen} . Η ενεργός και η άεργος ισχύς που παρέχει η μονάδα είναι αντίστοιχα P_G και Q_G . Στον ίδιο ζυγό συνδέεται και φορτίο $P_L + jQ_L$. Τέλος στο ζυγό αυτό συνδέεται σύστημα χωρητικής αντιστάθμισης, με άεργο ισχύ Q_C .



Εικόνα 77: Δίκτυο Διανομής με συνδεδεμένη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής.

Ο ζυγός αυτός συνδέεται στο δίκτυο μέσω γραμμής αντίστασης $R + jX$ και μέσω μετασχηματιστή. Η ανύψωση της τάσης στο ζυγό αυτό μπορεί να γραφεί ως:

$$\Delta V = V_{Gen} - V_S \approx \frac{PR + XQ}{V_{Gen}}$$

Όπου P, Q είναι η συνολική ενεργός και άεργος ισχύς αντίστοιχα , που διαρρέουν τη γραμμή. Δηλαδή:

$$P = P_G - P_L$$

$$Q = (\pm Q_C - Q_L \pm Q_G)$$

Εάν η V_{Gen} εκφραστεί σε ανά μονάδα, η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

$$\Delta V = V_{Gen} - V_S \approx R(P_G - P_L) + X(\pm Q_C - Q_L \pm Q_G)$$

Για τα πρόσημα των ισχύων στην παραπάνω σχέση ισχύουν τα εξής: Οι γεννήτριες πάντα παράγουν άεργο ισχύ ($+P_G$), ενώ μπορεί να παράγουν ή να καταναλώνουν άεργο ισχύ ($\pm Q_G$). Το φορτίο, θεωρούμε ότι είναι επαγωγικό και έτσι καταναλώνει τόσο ενεργό όσο

και άεργο ισχύ ($-P_L - Q_L$). Το σύστημα αντιστάθμισης μπορεί είτε να παράγει είτε να καταναλώνει άεργο ισχύ ($\pm Q_C$). Η μονάδα παραγωγής μπορεί να είναι είτε σύστημα συνδυασμένης παραγωγής (CHP-CombinedHeatandPower) , είτε φωτοβολταϊκό σύστημα (PV) είτε ανεμογεννήτριες. Οι μονάδες CHP, παρέχουν ενεργό ισχύ στο δίκτυο όταν τα φορτία είναι μικρότερης ισχύος από την τρέχουσα παραγωγή, ενώ η ροή της άεργου εξαρτάται από το σύστημα διέγερσης. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν ενεργό ισχύ ενώ η άεργος ισχύς εξαρτάται από τον τύπο της γεννήτριας: Εάν πρόκειται για σύγχρονη γεννήτρια που παράγει άεργο ισχύ, χρησιμοποιείται γέφυρα διόδων ή thyristor(που καταναλώνει άεργο ισχύ) ή γέφυρα IGBT-πηγή τάσης που παρέχει λειτουργία 4 τεταρτημορίων , δηλαδή παρέχει και απορροφά άεργο ισχύ. Η γέφυρα IGBT δεν προτιμάται λόγω κόστους στην σύγχρονη γεννήτρια. Από την άλλη στην ασύγχρονη γεννήτρια, που καταναλώνει άεργο ισχύ χρησιμοποιείται πάντα γέφυρα IGBT. Τέλος τα φωτοβολταϊκά συστήματα ρυθμίζονται ώστε να λειτουργούν με σταθερό συντελεστή ισχύος. Υπάρχει η δυνατότητα όμως να λειτουργήσουν και με καμπύλη Droop, γεγονός που δεν χρησιμοποιείται στις παρακάτω εφαρμογές. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η ροή ισχύος εξαρτάται από τη διαφορά παραγόμενης ενεργού (και άεργου) ισχύος με την καταναλισκόμενη.

5.4 Οριακές Περιπτώσεις Λειτουργίας Δικτύου Διανομής με Μονάδα Διεσπαρμένης Παραγωγής

Ένας από τους λόγους σύνδεσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση φορτίου. Από την παρακάτω εξίσωση προκύπτει ότι

$$\Delta V = V_{Gen} - V_S \approx R(P_G - P_L) + X(\pm Q_C - Q_L \pm Q_G) \Leftrightarrow$$

$$P_G \approx \frac{V_{Gen} - V_S + RP_L - X(\pm Q_C - Q_L \pm Q_G)}{R}$$

Από την εξίσωση αυτή φαίνεται ότι το επίπεδο της παραγωγής (kW) που μπορεί να συνδεθεί σε ένα δίκτυο διανομής εξαρτάται από:

- ❖ Την τάση του ζυγού αναχώρησης V_S .
- ❖ Η τάση του ζυγού σύνδεσης V_{Gen} .
- ❖ Τα χαρακτηριστικά της γραμμής σύνδεσης (R, X), όπως επίσης και το μήκος της σε km.
- ❖ Η ζήτηση φορτίου P_L .
- ❖ Η ύπαρξη και άλλης μονάδας παραγωγής στο δίκτυο.

Όταν πρόκειται να συνδεθεί μία μονάδα παραγωγής σε ένα δίκτυο, πρέπει να εξεταστούν οι χειρότερες περιπτώσεις λειτουργίας έτσι ώστε αφενός να διασφαλιστεί ότι τόσο οι πελάτες όσο και το υπόλοιπο δίκτυο δεν θα επηρεαστούν αρνητικά αλλά και αφετέρου να αναδειχθεί το αντίκτυπο της σύνδεσης της μονάδας παραγωγής, στην τάση. Γενικώς τα χειρότερα σενάρια λειτουργίας είναι:

- ❖ Ελάχιστο φορτίο-Μέγιστη παραγωγή.
- ❖ Μέγιστο φορτίο-Ελάχιστη παραγωγή.
- ❖ Μέγιστο φορτίο-Μέγιστη παραγωγή.

Η χειρότερη από τις παραπάνω περιπτώσεις για την ανύψωση της τάσης είναι η πρώτη, ελάχιστο φορτίο-μέγιστη παραγωγή. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιώντας την σχέση του 5.3, μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό της αύξησης της τάσης, θέτοντας:

$$P_L = 0, \quad Q_L = 0, \quad P_G = P_{Gmax}$$

Επιπλέον, εάν θεωρήσουμε ότι το σύστημα λειτουργεί με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος τότε οι ποσότητες $\pm Q_C$ και $\pm Q_G$ θα είναι μηδέν. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

$$\Delta V_{worst} = V_{Genmax} - V_S \approx RP_{Gmax}$$

Δηλαδή σε αυτήν την περίπτωση, η διαφορά των τάσεων των δύο ζυγών εξαρτάται από την αντίσταση της γραμμής (κατά συνέπεια και από την απόσταση) και από την παραγόμενη ισχύ της διασυνδεδεμένης μονάδας. Έτσι, αν θεωρήσουμε ότι η αντίσταση της γραμμής είναι σταθερή, μπορούμε να πούμε ότι:

$$\Delta V_{worst} \propto P_{Gmax}$$

Δηλαδή, σε ένα δίκτυο διανομής με διεσπαρμένη παραγωγή, το επίπεδο της τάσης εξαρτάται αναλόγως με την παραγόμενη ισχύ των μονάδων.

Η σχέση που συνδέει την αύξηση της τάσης, με την παραγόμενη ισχύ των μονάδων είναι γραμμική. Έτσι, η χειρότερη περίπτωση λειτουργίας είναι όταν δεν υπάρχει καθόλου ζήτηση και όλη η παραγόμενη ισχύς εγχέεται στο δίκτυο. Ένας άλλος παράγοντας που περιορίζει την ισχύ της διεσπαρμένης παραγωγής που μπορεί να εγκατασταθεί, είναι η αύξηση της τάσης του ζυγού αναχώρησης. Αυτό φαίνεται από την αλγεβρική σχέση:

$$P_G \approx \frac{V_{Gen} - V_S + RP_L - X(\pm Q_C - Q_L \pm Q_G)}{R} \Rightarrow$$

$$P_G \approx \frac{V_{Genmax} - V_S}{R}$$

Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι η ποσότητα $\frac{V_{Genmax} - V_S}{R}$ είναι η μέγιστη τιμή της ισχύος που μπορεί να εγκατασταθεί. Άρα μπορούμε να πούμε ότι:

$$P_{Gmax} \leq \frac{V_{Genmax} - V_S}{R}$$

5.5 Επιλογή επιπέδου τάσης για τη σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

Από την πλευρά της διεσπαρμένης παραγωγής, ένα από τα σημαντικά ερωτήματα που τίθενται, είναι σε ποιο επίπεδο τάσης θα συνδεθεί η μονάδα, εφόσον ο παράγοντας αυτός επηρεάζει τη συνολική απόδοση του έργου. Ανάλογα με το επίπεδο τάσης που επιλέγεται, διαφοροποιείται και το κόστος της σύνδεσης, γεγονός που λαμβάνεται έντονα υπόψη. Γενικά, όσο πιο μεγάλο είναι το επίπεδο της τάσης τόσο πιο πολύ αυξάνει το κόστος της σύνδεσης. Προκειμένου να εξασφαλίσουν τη βιωσιμότητα του έργου, οι παραγωγοί προτιμούν να συνδέονται στο δυνατότερο χαμηλό επίπεδο τάσης. Από την άλλη, όσο πιο υψηλό είναι το επίπεδο τάσης, τόσο μικρότερο είναι το αντίκτυπο της μονάδας στο δίκτυο διανομής και κατά συνέπεια στους καταναλωτές, από την άποψη ποιότητας ισχύος. Συνεπώς, οι διαχειριστές επιλέγουν συνήθως την σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής σε υψηλά επίπεδα τάσης. Αυτές οι δύο αντικρουόμενες οπτικές πρέπει να ισορροπήσουν κατάλληλα, μέσα από μία εις βάθος οικονομοτεχνική ανάλυση, που θα μελετά τους εναλλακτικούς τρόπους σύνδεσης και θα εξετάζει τη λειτουργία της μονάδας σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις του δικτύου (όπως πχ μετασχηματιστές με taps, συσκευές αντιστάθμισης κλπ).

5.6 Αντιμετώπιση της αύξησης της τάσης

Η μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής σε ένα δίκτυο διανομής προκαλεί σημαντική αύξηση της τάσης. Παραδοσιακά, το δίκτυο διανομής διαθέτει εξοπλισμό έναντι των υπερτάσεων, αλλά πρόκειται για διακόπτες που αποσυνδέουν προσωρινά τη μονάδα παραγωγής ή μέρος του δικτύου διανομής. Όπως καταλαβαίνει κανείς, το κόστος στην περίπτωση απομόνωσης είναι αρκετά μεγάλο. Η αύξηση της τάσης που προκαλείται από την μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής, μπορεί να αντιμετωπιστεί με τις ακόλουθες προσεγγίσεις:

- ❖ Με μείωση της αντίστασης.
- ❖ Με κατανάλωση έργου ισχύος.
- ❖ Με συντονισμένο έλεγχο για ρύθμιση τάσης
- ❖ Με μείωση της παραγωγής..

5.6.1 Μείωση της αντίστασης

Εάν θεωρήσουμε ότι η εγκατεστημένη παραγωγή είναι σταθερή, τότε μπορούμε να πούμε:

$$P_{Gmax} \leq \frac{V_{Genmax} - V_S}{R} \Rightarrow \Delta V_{worst} \propto R$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, εάν θεωρήσουμε σταθερή παραγόμενη ισχύ, η αύξηση της τάσης είναι ευθέως ανάλογη με την αντίσταση της γραμμής. Έτσι, εάν μειωθεί η αντίσταση της γραμμής, περιορίζεται ανάλογα και η ανύψωση της τάσης. Η μείωση της αντίστασης ενός αγωγού μπορεί να επέλθει με αύξηση του μεγέθους του. Βέβαια, όπως καταλαβαίνει κανείς, δεν είναι εφικτό να αλλάξει η υποδομή ενός υπάρχοντος δικτύου. Για αυτό το λόγο πρέπει οι διαχειριστές να προνοούν και να επιλέγουν κατάλληλες τιμές αντιστάσεων εκ των προτέρων. Επίσης, ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την αντίσταση είναι η απόσταση. Για αυτό η παραγωγή πρέπει να είναι κοντά στα φορτία.

5.6.2 Κατανάλωση έργου ισχύος.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ισχύει η σχέση:

$$\Delta V = V_{Gen} - V_S \approx R(P_G - P_L) + X(\pm Q_C - Q_L \pm Q_G) \Rightarrow$$

$$\Delta V = V_{Gen} - V_S \approx R(P_G - P_L) + XQ_{in}$$

Όπου $Q_{in} = \pm Q_C - Q_L \pm Q_G$

Η παραπάνω σχέση, στην περίπτωση του χειρότερου σεναρίου, δηλαδή στην περίπτωση όπου έχουμε μέγιστη παραγωγή και ελάχιστο (μηδενικό) φορτίο, γίνεται:

$$\Delta V = V_{Gen} - V_S \approx RP_{Gmax} + XQ_{in}$$

Από τη σχέση αυτή, φαίνεται ότι όσο περισσότερη έργος ισχύς απορροφάται (περισσότερο αρνητική η ποσότητα XQ_{in}) τόσο πιο πολύ μειώνεται η ανύψωση της τάσης. Γενικώς, το ποσό της έργου ισχύος που μπορεί να απορροφηθεί εξαρτάται από τις παραμέτρους των γεννητριών. Τυπικά, μία σύγχρονη γεννήτρια μπορεί να απορροφήσει έργο, με συντελεστή ισχύος 0,95(επαγωγικό), ενώ μία ανεμογεννήτρια με συντελεστή ισχύος 0,9.

Βέβαια, η απορρόφηση έργου ισχύος, μπορεί να διορθώσει την ανύψωση τάσης αλλά αυξάνει τις απώλειες.

5.6.3 Συντονισμένος έλεγχος για ρύθμιση τάσης

Στα συμβατικά, παθητικά δίκτυα διανομής, είναι συχνό φαινόμενο, η τάση του κυρίως ζυγού να είναι ελαφρώς αυξημένη έτσι ώστε να διατηρούνται τα όρια των πτώσεων τάσης στους επόμενους κόμβους. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ισχύει η σχέση:

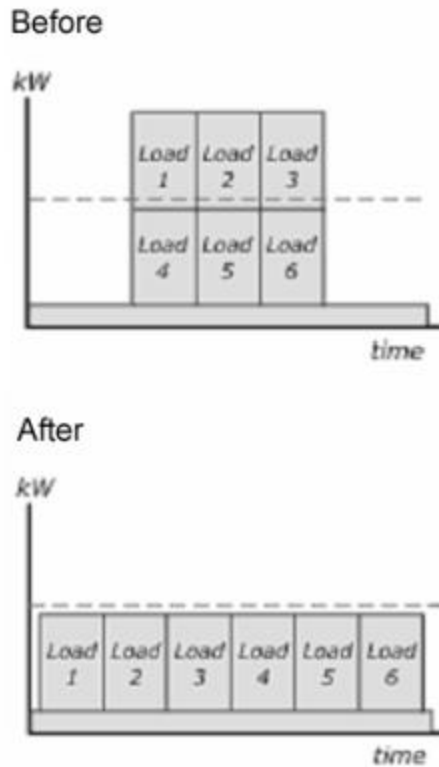
$$\Delta V_{worst} = V_{GenMax} - V_S$$

Από την παραπάνω εξίσωση φαίνεται ότι μπορούμε να μεταβάλουμε την ανύψωση τάσης μεταβάλλοντας την τάση του ζυγού αναχώρησης. Σε μικρά δίκτυα, αυτό μπορεί να γίνει εύκολα, με τη χρήση μετασχηματιστών με taps. Σε περισσότερο σύνθετα δίκτυα, με περισσότερους μετασχηματιστές αυτό μπορεί να μην είναι εύκολο, για αυτό το λόγο χρειάζεται βελτιστοποίηση στην επιλογή των λήψεων.

5.6.4 Μείωση της παραγωγής

Όπως φαίνεται και στις παραπάνω εξισώσεις, η ρύθμιση της τάσης μπορεί να επιτευχθεί εκτός των άλλων- και μέσω της ροής της ενεργού ισχύος. Ιδιαίτερα εάν πρόκειται για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που χαρακτηρίζονται από μεγάλη μεταβλητότητα, είναι πιθανό να υπάρξει αυξημένη παραγωγή χωρίς να υπάρχει και αντιστοιχία στο φορτίο. Σε μία τέτοια περίπτωση, η περισσευούμενη ισχύς θα εγχυθεί προς το δίκτυο, γεγονός που σε μεγάλες τιμές, θα προκαλέσει επιπλοκές, όπως πχ υπερτάσεις. Ημείωση της εγχεόμενης ισχύος, στα πλαίσια ενός μικροδικτύου, μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους, όπως:

- ❖ Με μετακίνηση φορτίων (LoadShedding): Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις τους, ορισμένα φορτία μπορούν να μετακινηθούν κατά τη διάρκεια της ημέρας, έτσι ώστε να εξισορροπηθεί το φαινόμενο της μέγιστης παραγωγής με ελάχιστο φορτίο. Έτσι, το διάστημα που αναμένεται να υπάρχει αύξηση της παραγωγής, είναι δυνατόν να τοποθετηθούν φορτία, ώστε να μειωθεί η ισχύς που εγχέεται στο δίκτυο.



Εικόνα 78:Μετακίνηση φορτίων

- ❖ Να υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης της επιπλέον παραγόμενης ενέργειας , με τη χρήση μπαταριών. Έχοντας αυτή τη δυνατότητα ,μπορεί να δοκιμάσει κανείς πολλές εναλλακτικές προτάσεις, όπως: Αρχικά , να αποθηκεύει –εφόσον είναι εφικτό- τις «αιχμές» της παραγωγής. Δηλαδή, η μπαταρία να είναι ρυθμισμένη ώστε να φορτίζεται όταν η παραγωγή ξεπερνάει το 80% της ονομαστικής της τιμής. Άλλη εναλλακτική είναι, η μπαταρία να φορτίζεται μόνιμα με το 30% της παραγωγής, εφόσον το επιτρέπει η ανάγκη των φορτίων .

Από την παραπάνω ανάλυση, καταλαβαίνουμε ότι δεν υπάρχει πρόβλημα ανύψωσης τάσης στα δίκτυα διανομής με χαμηλής ισχύος διεσπαρμένη παραγωγή. Όταν οι διεσπαρμένες μονάδες αυξάνονται , τότε δημιουργείται πρόβλημα στο δίκτυο , με οικονομικές και τεχνικές συνέπειες. Το πρόβλημα αυτό αναλύεται μέσα από το χειρότερο σενάριο λειτουργίας , από το οποίο επίσης προκύπτει και η μέγιστη ισχύς παραγωγής που μπορεί να συνδεθεί σε ένα συμβατικό δίκτυο διανομής. Ο περιορισμός του φαινομένου αυτού μπορεί να επιτευχθεί με: Τη μείωση της αντίστασης, ή με την κατανάλωση άεργου ισχύος (εφόσον υπάρχει η δυνατότητα) ή με μετασχηματιστές με taps ή με μείωση της παραγωγής.

5.7 Multi-Agent Συστήματα

Η χρήση multi-agent συστημάτων (MAS) στα ηλεκτρικά δίκτυα προτείνεται, για περισσότερο από μία δεκαετία, για διαφόρων ειδών εφαρμογές, όπως:

- ❖ Παρακολούθηση-Καταγραφή
- ❖ Αποκατάσταση του Συστήματος
- ❖ Προσομοίωση της αγοράς
- ❖ Έλεγχος του δικτύου
- ❖ Αυτοματοποίηση κλπ.

Επιπλέον, η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει δώσει τη δυνατότητα ήδη, υλοποίησης ΜΑ συστημάτων σε πραγματικά δίκτυα, εκτός εργαστηρίου. Από την άλλη, γεννιούνται ορισμένα ερωτήματα για τα ΜΑ συστήματα, όπως: Ποια είναι τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν; Σε τι είδους προβλήματα χρησιμοποιούνται; Επιπλέον, εάν η τεχνολογία ΜΑ κριθεί κατάλληλη για μια εφαρμογή, προκύπτουν επιπλέον ερωτήματα όπως: Πως θα σχεδιαστούν και πως θα υλοποιηθούν τέτοια συστήματα; Υπάρχουν ιδιαιτερότητες για εφαρμογές ισχύος με multi-agent συστήματα; Τα ερωτήματα αυτά εξετάζει η ομάδα IEEE Power Engineering Society's (PES) Intelligent System Subcommittee η οποία ασχολείται με τρία βασικά ζητήματα: Πρώτον, ποια πλεονεκτήματα θα προσφέρουν ΜΑ (Multi-Agent) συστήματα στον τομέα της ηλεκτρικής ισχύος. Δεύτερον, εφόσον η τεχνολογία τέτοιων συστημάτων είναι σχετικά καινούρια, ποιες είναι οι τεχνικές δυσκολίες που πρέπει να ξεπεραστούν ώστε τα συστήματα αυτά να χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά και, τρίτον η παροχή τεχνικής γνώσης σχετικά με τα πρότυπα και τις μεθόδους που είναι σήμερα διαθέσιμα για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων. Ακολουθούν κάποιοι βασικοί ορισμοί για τα Multi-Agent συστήματα:

- ❖ **Agent:** Η κοινότητα της επιστήμης υπολογιστών έχει δώσει πολλούς ορισμούς για το τι είναι ένας agent. Το γεγονός ότι υπάρχουν τόσοι ορισμοί, δείχνει τη δυσκολία να δώσει κανείς σαφή ορισμό για το τι είναι agent. Μεταξύ τους αυτές οι διαφορετικές προσεγγίσεις εμφανίζουν και κοινά χαρακτηριστικά, όπως: Η έννοια του agent, το περιβάλλον (environment) του και το χαρακτηριστικό της αυτονομίας του (autonomy). Σύμφωνα με τον Wooldridge, *ένας agent είναι ένα λογισμικό (ή hardware) που είναι τοποθετημένο σε ένα περιβάλλον και έχει την ικανότητα να αντιδρά αυτόνομα στις αλλαγές του περιβάλλοντος*. Το περιβάλλον είναι απλά ότι είναι εξωτερικό του agent. Προκειμένου ένας agent να θεωρείται τοποθετημένος σε ένα περιβάλλον, πρέπει τουλάχιστον ένα μέρος του περιβάλλοντος να είναι παρατηρήσιμο ή να μπορεί να μεταβληθεί από τον agent. Επιπλέον, το περιβάλλον μπορεί να είτε φυσικό (πχ ηλεκτρικό δίκτυο) και έτσι να είναι παρατηρήσιμο μέσω αισθητήρων, είτε υπολογιστικό (πχ βάση δεδομένων) και να είναι παρατηρήσιμο μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων ή κλίσεις συναρτήσεων. Ένας agent μπορεί να μεταβάλλει το περιβάλλον του αναλαμβάνοντας μία δράση,

η οποία μπορεί να είτε φυσική ή οτιδήποτε άλλο (πχ να εγγράφει πληροφορίες σε μία βάση δεδομένων που θα είναι προσπελάσιμες από άλλους).

Εάν τοποθετηθούν αντίγραφα του ίδιου agent σε διαφορετικά περιβάλλοντα δεν θα επηρεαστούν οι ικανότητες και οι στόχοι που πρέπει να επιτύχει ο καθένας. Από την άλλη, οι δράσεις που θα αναλάβει ο καθένας θα διαφέρουν λόγω της παρατήρησης των διαφορετικών περιβαλλόντων. Αυτό σημαίνει ότι ένας agent μπορεί να λειτουργεί σε οποιοδήποτε περιβάλλον, αρκεί αυτό να υποστηρίζει τις λειτουργίες που πρέπει να επιτευχθούν.

Σύμφωνα με τον Wooldridge, μία οντότητα μπορεί να χαρακτηριστεί agent μόνο εάν μπορεί να δρα αυτόνομα, ως ανταπόκριση σε οποιαδήποτε αλλαγή του περιβάλλοντος που βρίσκεται. Ο όρος αυτονομία είναι κάπως αόριστος, παρόλα αυτά χρησιμοποιείται σε όλους τους ορισμούς του agent. Ένας από αυτούς αναφέρει ότι με ο όρος αυτονομία σημαίνει ότι ο ίδιος ο agent ασκεί έλεγχο στις δικές του δράσεις, δηλαδή μπορεί ο ίδιος να προγραμματίσει τις ενέργειες προς εκτέλεση. Οι Russell και Norvig, επεκτείνουν τον ορισμό αυτό, προσθέτοντας ότι οι προγραμματισμένες ενέργειες πρέπει να προκύπτουν ως ανταπόκριση σε κάποιες αλλαγές του περιβάλλοντος και όχι απλά από πρωτοβουλία του agent. Αυτή η άποψη είναι σε συμφωνία με του Wooldridge και περιέχει λογικό νόημα. Θα μπορούσε ένας agent να χαρακτηριστεί αυτόνομος εάν ήταν προγραμματισμένος να εκτελεί ορισμένες ενέργειες σε τακτικά χρονικά διαστήματα, ανεξαρτήτως των αλλαγών του περιβάλλοντος; Η αυτονομία δηλαδή είναι η ικανότητα του agent να προγραμματίζει ενέργειες ανάλογα με τις αλλαγές του περιβάλλοντος.

Από την άλλη, δεν θα έλεγε κάποιος αυτόν τον ορισμό σαφή, εφόσον δεν διαχωρίζει τους agents από υπάρχοντα συστήματα software ή hardware. Αναμφισβήτητα πολλά συστήματα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν agent με βάση τον παραπάνω ορισμό. Για παράδειγμα, ένας ηλεκτρονόμος προστασίας (relay) θα μπορούσε να χαρακτηριστεί agent αφού: Βρίσκεται σε ένα περιβάλλον (ηλεκτρικό δίκτυο), αντιδρά στις αλλαγές του περιβάλλοντος του (αυξήσεις στην τάση ή/και στο ρεύμα), ενώ παρουσιάζει έναν βαθμό αυτονομίας.

Το να μετονομάσει κανείς υπάρχοντα συστήματα ή συστήματα που κατασκευάζονται με υπάρχουσες τεχνολογίες ως agents, δεν προσφέρει κανένα τεχνικό πλεονέκτημα. Σε αντίθεση με τους Russell και Norvig που υποστηρίζουν ότι «η έννοια του agent είναι ένα εργαλείο για την ανάλυση των συστημάτων, και όχι ένας απόλυτος χαρακτηρισμός που διαχωρίζει τον κόσμο σε agents και μη-agents», είναι σημαντική η ικανότητα διαχωρισμού των συστημάτων agent από τα υπόλοιπα. Είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς σε τι διαφέρουν τα MA συστήματα από τα υπάρχοντα, έτσι ώστε να αναπτυχθούν κατάλληλες τεχνικές για την βελτιστοποίηση τους.

- ❖ **Intelligent Agent:** O Wooldridge επέκτεινε τον ορισμό του agent, σε ευφυή agent, επεκτείνοντας τον ορισμό της αυτονομίας, σε ευέλικτη αυτονομία. Ένας τέτοιος agent έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
 - Δραστηκότητα: Ένας intelligent agent, έχει την ικανότητα να αντιδρά στις αλλαγές του περιβάλλοντος του εγκαίρως, ενεργώντας σύμφωνα με τον τρόπο που έχει σχεδιαστεί.
 - Πρωτοβουλία: Τέτοιοι agents λειτουργούν με βάση το στόχο που θέλουν να επιτύχουν και έτσι αλλάζουν τη συμπεριφορά τους δυναμικά ώστε να επιτευχθεί ο στόχος. Για παράδειγμα, εάν ένας agent χάσει την επικοινωνία με έναν άλλο agent που είναι απαραίτητος για την εκπλήρωση του στόχου του, τότε θα αναζητήσει για άλλον που μπορεί να παρέχει τις ίδιες υπηρεσίες. O Wooldridge εξηγεί αυτό το χαρακτηριστικό αναφέροντας ότι ο agent «λαμβάνει πρωτοβουλία».
 - «Κοινωνική» ικανότητα: Οι ευφυείς agents μπορούν να αλληλεπιδρούν με άλλους ευφυείς agents. Η κοινωνική ικανότητα όμως εκφράζει πολλά παραπάνω από την απλή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διάφορων συστημάτων, software ή hardware, ικανότητα που έχουν πολλά συνηθισμένα συστήματα. Συγκεκριμένα, ο όρος αυτός, δηλώνει την ικανότητα των agents να διαπραγματεύονται και να αλληλεπιδρούν, σαν να συνεργάζονται. Η ικανότητα αυτή υποστηρίζεται από μία γλώσσα, την ACL-Agent Communication Language-, η οποία επιτρέπει στους agents να συνομιλούν και όχι απλά να ανταλλάσσουν δεδομένα.

Ενώ ένας agent –και πολλά από τα υπάρχοντα συστήματα- εμφανίζει το χαρακτηριστικό δραστηκότητας, δηλαδή αντιδρά στις αλλαγές του περιβάλλοντος του, δεν είναι αρκετό για να χαρακτηριστεί intelligent agent σύμφωνα με τον Wooldridge. Προκειμένου να χαρακτηριστεί ως ευφυής agent πρέπει να διαθέτει στοιχεία «πρωτοβουλίας» και «κοινωνικής ικανότητας». Όπως προαναφέρθηκε, αυτό που διαχωρίζει τους intelligent agents είναι η ευελιξία στην επικοινωνία και η ικανότητα τους να αλληλεπιδρούν ώστε να επιτύχουν το στόχο που τους έχει ανατεθεί.

- ❖ **Multi-Agent Συστήματα:** Ένα multi-agent σύστημα είναι απλά ένα σύστημα που περιλαμβάνει δύο ή περισσότερους agents ή intelligent agents. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι δεν υπάρχει συνολικός στόχος του συστήματος, αλλά μόνο οι επιμέρους στόχοι κάθε agent ξεχωριστά. Δηλαδή, εάν κάποιος θα ήθελε να αναθέσει στο σύστημα ένα στόχο, θα έπρεπε να γίνει καταμερισμός σε κάθε agent ξεχωριστά ενός τμήματος του συνολικού στόχου, έτσι ώστε αθροιστικά να προκύπτει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Οι agents σε ένα MA σύστημα, μπορεί είτε να έχουν είτε να μην έχουν την ικανότητα άμεσης επικοινωνίας μεταξύ τους.

Σύμφωνα με τον Wooldridge όμως η κοινωνική ικανότητα είναι χαρακτηριστικό των intelligentagents και για αυτό η επικοινωνία είναι βασική προϋπόθεση.

5.8 Εφαρμογές με multi-agent συστήματα

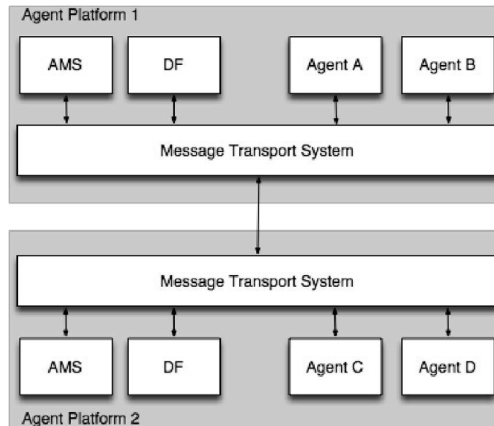
Τα MA συστήματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές που παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- ❖ Εφαρμογές που αλληλεπιδρά ένας μεγάλος αριθμός φορέων , όπου θα ήταν δύσκολο να μοντελοποιηθεί ρητά όλο το σύστημα συνολικά. Ένα παράδειγμα είναι η αναπαράσταση μιας αγοράς ενέργειας, όπου κάθε παραγωγός ή καταναλωτής μοντελοποιείται ξεχωριστά.
- ❖ Εφαρμογές που υπάρχει απαίτηση να αλληλεπιδρούν ξεχωριστές οντότητες, όπως πχ υποσυστήματα ελέγχου. Ένα παράδειγμα είναι ο έλεγχος ενός μικροδικτύου λαμβάνοντας υπόψη διάφορες θερμικές παραμέτρους ή μετρήσεις τάσης.
- ❖ Εφαρμογές που υπάρχει ανάγκη ανταλλαγής μεγάλου όγκου δεδομένων σε τοπικό επίπεδο, χωρίς να είναι απαραίτητη η επικοινωνία με ένα κεντρικό σημείο. Για παράδειγμα έλεγχος προστασίας ενός διακόπτη ή ενός μετασχηματιστή.
- ❖ Όταν χρειάζεται να υλοποιηθούν καινούριες εφαρμογές σε ένα υπάρχον σύστημα. Ένα παράδειγμα είναι η επέκταση ενός συστήματος καταγραφής.

5.9 Πρότυπα και λειτουργικότητα στους agents

Η χρήση προτύπων είναι αρκετά σημαντική για την ανάπτυξη MA συστημάτων, για εφαρμογές στα ΣΗΕ. Ένα από αυτά είναι το CIM(CommonInformationModel), που προωθεί την ανοιχτή διασύνδεση συστημάτων διαχείρισης ενέργειας διαφορετικών κατασκευαστών ,όπως επίσης και το IEC-61850 που επιτρέπει την λειτουργικότητα(interoperability) μεταξύ συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών στα πλαίσια ενός υποσταθμού. Δηλαδή, προκειμένου να επεκταθεί η χρήση MA συστημάτων σε εφαρμογές ισχύος, είναι θεμιτή -εάν όχι απαραίτητη- η χρήση προτύπων που προωθούν τη διαλειτουργικότητα, όπως τα δύο προηγούμενα.

Το εδραιωμένο πρότυπο που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη MA συστημάτων είναι το FIPA-FoundationforIntelligentPhysicalAgents. Μάλιστα , το 2005 το FIPA έγινε δεκτό στην επιτροπή προτύπων του IEEE Computer Society.



Εικόνα 79:FIPAAgentModel

Το FIPA προσπαθεί να ορίσει προδιαγραφές και πρότυπα που μπορούν να υποστηρίξουν διαλειτουργικότητα μεταξύ MA συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών. Τα πρότυπα αυτά δεν επηρεάζουν μόνο το μέρος της επικοινωνίας μεταξύ των agents, αλλά επιπλέον ορίζουν το μοντέλο υλοποίησης ενός MA συστήματος.

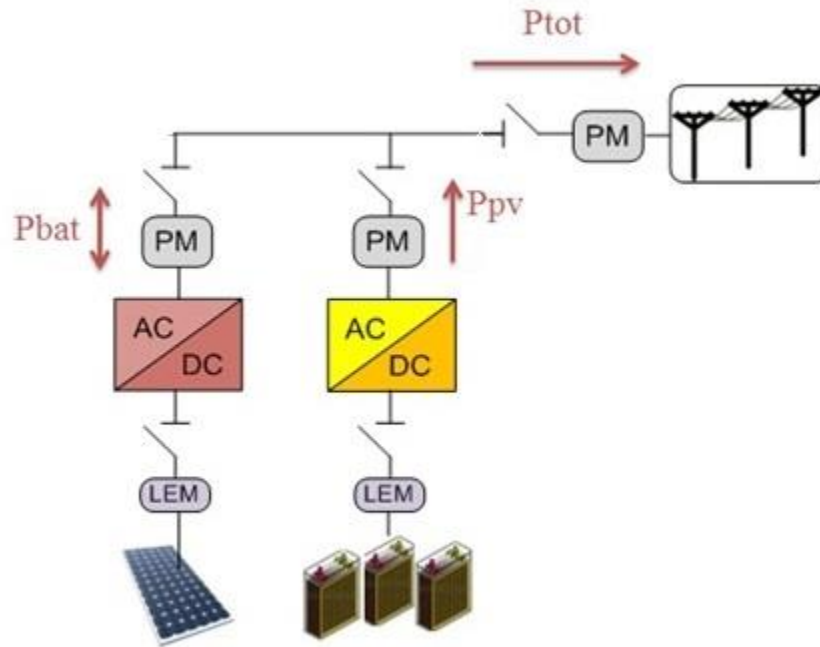
5.10 Εργαλεία ανάπτυξης agent

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά εργαλεία ανάπτυξης agent τόσο, εμπορικά όσο και ανοιχτού κώδικα. Κατά τη σχεδίαση ενός MA συστήματος, είναι απαραίτητη η επιλογή του κατάλληλου εργαλείου: Αρχικά, πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα που έχουν επιλέξει οι σχεδιαστές, αλλά επίσης πρέπει να παρουσιάζει και ένα επίπεδο αξιοπιστίας για την επιλεγμένη εφαρμογή.

Στον τομέα των εφαρμογών ισχύος, η Jade είναι μια πλατφόρμα που χρησιμοποιείται συχνά για την ανάπτυξη MA συστημάτων τα τελευταία χρόνια. Η Jade ακολουθεί τα πρότυπα της FIPA, και σε συνδυασμό με την αξιοπιστία που προσφέρει, την καθιστούν ένα κατάλληλο εργαλείο για ανάπτυξη MA εφαρμογών. Από την άλλη, το γεγονός ότι προσφέρει έναν συγκεκριμένο τρόπο υλοποίησης agent, δεν επιτρέπει βέλτιστη αξιοποίηση της αυτονομίας.

5.11 Περιγραφή εφαρμογών

Οι εφαρμογές που θα παρουσιαστούν, σκοπό έχουν να μειώσουν το φαινόμενο ανύψωσης της τάσης, μέσα από τον έλεγχο της παραγωγής, με τρόπο προτυποποιημένο κατά IEC-61850. Το μικροδίκτυο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 80:Μικροδίκτυο Εργαστηρίου

Όπως φαίνεται και παραπάνω, από το μικροδίκτυο έχουν παραληφθεί τα φορτία, τα οποία δε θα συμμετάσχουν καθόλου στον έλεγχο. Απεικονίζονται τα φωτοβολταϊκά με τον αντιστροφέα τους (SunnyBoy), τα οποία παράγουν μόνο ενεργό ισχύ για αυτό και το βέλος είναι μονής κατεύθυνσης, και το σύστημα μπαταριών με τον αντιστροφέα που το ελέγχει (SunnyIsland). Το βέλος είναι διπλής κατεύθυνσης για το σύστημα μπαταριών, αφού μπορούν είτε να φορτίζονται είτε να εκφορτίζονται. Επίσης, υπενθυμίζεται ότι ο SunnyBoy δεν έχει δυνατότητα ρύθμισης άεργου ισχύος και λειτουργεί υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος, ενώ ο SunnyIsland έχει δυνατότητα απορρόφησης και παραγωγής άεργου ισχύος.

Υπό έντονη ηλιοφάνεια, η φωτοβολταϊκή παραγωγή αυξάνεται, με αποτέλεσμα η ροή ισχύος προς το δίκτυο να δημιουργεί ανύψωση τάσης. Δηλαδή όσο πιο μεγάλη είναι η παραγωγή των φωτοβολταϊκών, τόσο πιο πολύ αυξάνεται και η τάση. Σκοπός των εφαρμογών είναι μέσα από την επικοινωνία των δύο inverter, εφόσον εντοπιστεί το πρόβλημα, οι μπαταρίες, εάν έχουν την δυνατότητα, να μεταβούν σε κατάσταση φόρτισης έτσι ώστε να περιορίσουν την εξερχόμενη ισχύ. Η επικοινωνία των inverter βασίζεται σε multi-agent εφαρμογή. Οι εφαρμογές είναι γραμμένες σε Java, και οι agents υλοποιήθηκαν με τη Jade.

5.11.1 Οι μπαταρίες απορροφούν σταθερά μέρος της φωτοβολταϊκής παραγωγής (Εφαρμογή 1)

Στην παρακάτω εφαρμογή , εφόσον παρατηρηθεί αύξηση της τάσης στο σημείο σύνδεσης στο δίκτυο , οι agentsεπικοινωνούν κατάλληλα, ώστε οι μπαταρίες , με την προϋπόθεση ότι δεν είναι πλήρως φορτισμένες, να απορροφούν σταθερά το 30% της φωτοβολταϊκής παραγωγής. Παρακάτω σε μορφή ψευδοκώδικα φαίνεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται. Τα δεδομένα είναι προτυποποιημένα κατά IEC-61850, ενώ παράλληλα έχουν κατασκευαστεί οι αντίστοιχες συναρτήσεις Get και Set για τη λήψη ή ανάθεση δεδομένων.

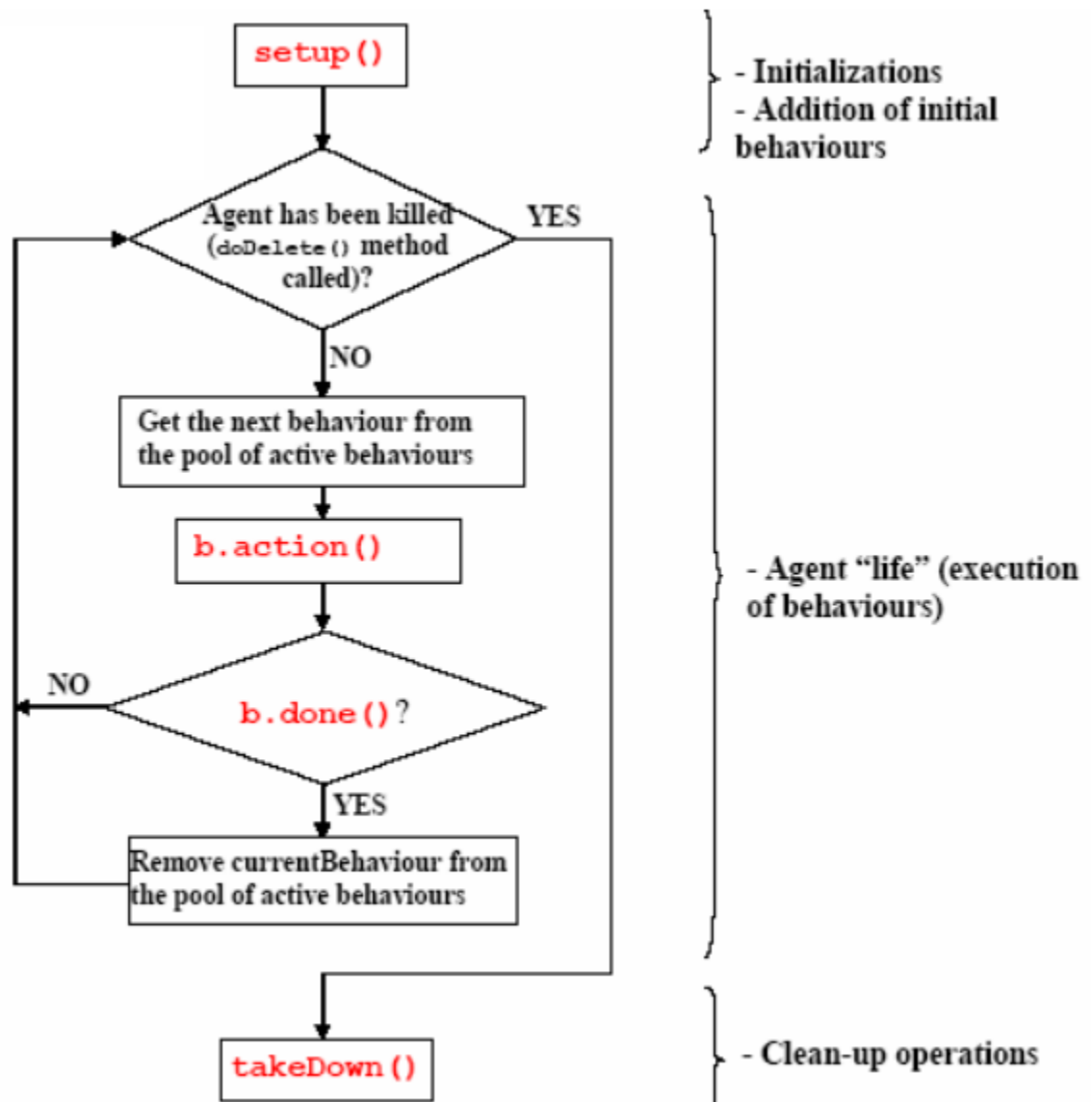
SUNNYBOYAGENT

```
OntickBehaviour(6000) {  
  
    //Τρέχουσας ισχύς των φωτοβολταϊκών  
  
        Get("SunnyBoy1100.mmxu2.totW.mag.f");  
  
        SendMessage(CurrentProduction, SunnyIsland);  
  
    }
```

SUNNY ISLAND AGENT {

```
    CyclicBehaviour {  
  
        if {MessageReceived=true} {  
  
            Ppv=ReadMessage(PV_Production);  
  
            //Τρέχουσας ισχύς των μπαταριών  
  
            Pbat=Get("SunnyIsland4500.mmxu1.phV.phsA.mag.f");  
  
            if (Get("SunnyIsland4500.zbat1.ChaSOC.mag.f")<90%) {  
  
                Psetpoint=-0,3*Ppv+Pbat;  
  
                Set("SunnyIsland4500.zinv1.totW.setMag.f", (Psetpoint)  
            );  
  
        }  
  
    }  
  
}
```

Αρχικά , και για τους δύο agents βλέπουμε ότι ορίζονται συμπεριφορές (*behaviours*). Το μέρος αυτό είναι το πιο σημαντικό για τον agent, γιατί είναι το μέρος που λαμβάνει δράση. Μπορεί κανείς να ορίσει την συμπεριφορά του εκάστοτε agent , επεκτείνοντας την κλάση *jade.core.behaviours.Behaviour*. Κάθε συμπεριφορά πρέπει να περιλαμβάνει τις συναρτήσεις **action()** και **done()**. Η πρώτη δεν επιστρέφει τίποτα (void) , και ορίζει τι ακριβώς εκτελείται με αυτή τη συμπεριφορά. Η δεύτερη επιστρέφει Boolean που δηλώνει εάν η behaviour έχει ολοκληρωθεί. Προκειμένου να προσθέσει κανείς συμπεριφορά σε έναν agent πρέπει να δημιουργήσει ένα αντικείμενο της BehaviourClass και να καλέσει τη συνάρτηση **addBehaviour()** στην AgentClass. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το μοντέλο λειτουργίας ενός agent:



Εικόνα 81: Μοντέλο λειτουργίας agent.

Υπάρχουν πολλά είδη behaviours. Όπως φαίνεται παραπάνω, ο SunnyBoy έχει TickerBehaviour. Σε αυτή, η συνάρτηση **OnTick()** εκτελείται ανά συγκεκριμένα χρονικά περιδικά διαστήματα, που στην προκειμένη περίπτωση, για το SunnyBoy είναι 6 sec. Τέτοιου τύπου Behaviour, εκτελούνται έως ότου εκτελεστεί η εντολή **stop()**. Οι TickerBehaviour είναι υποκλάση των CyclicBehaviours. Από την άλλη, ο SunnyIsland έχει **CyclicBehaviour**. Όπως δείχνει και το όνομα τους, τέτοιου τύπου συμπεριφορές ολοκληρώνουν το στόχο τους με έναν επαναλαμβανόμενο τρόπο. Η behaviour αυτή παραμένει ενεργή όσο ο agent είναι ενεργός και καλείται συνεχώς μετά από κάποιο γεγονός. Η CyclicBehaviour χρησιμοποιείται συχνά για τη διαχείριση αποδοχής μηνυμάτων.

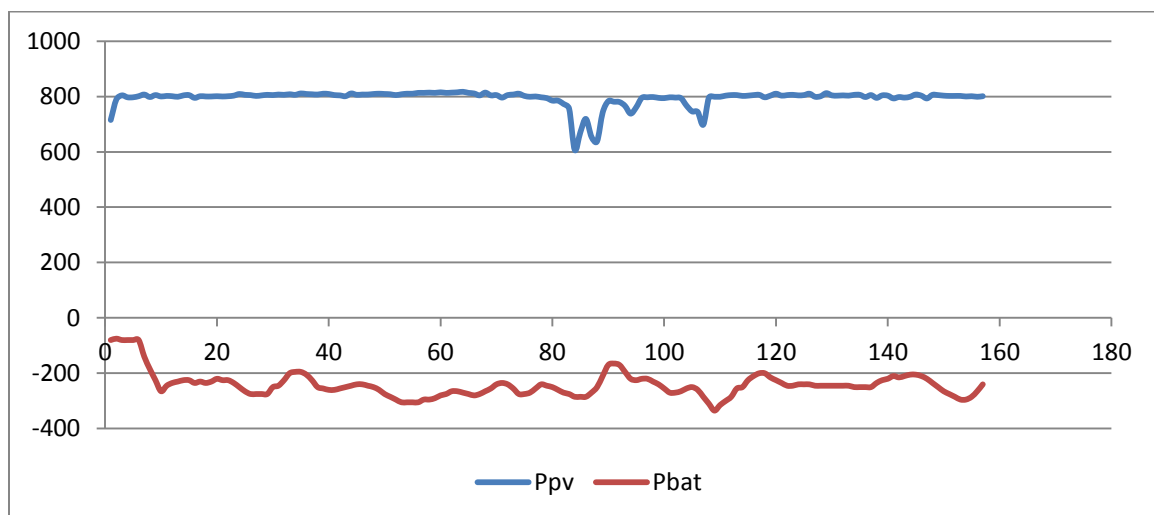
Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο agent του SunnyBoy, αρχικά ανακτά την τρέχουσα παραγωγή μέσω της εντολής `Get("SunnyBoy1100.mmxu2.totW.mag.f")`. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, ο SunnyBoy μοντελοποιείται κατά IEC-61850, με την λογική συσκευή "SunnyBoy1100", η οποία περιέχει λογικούς κόμβους, ένας εκ των οποίων είναι ο μετρητικός "mmxu2". Έτσι, για την ανάκτηση της παραγόμενης ενεργού ισχύος πρέπει να αναφερθεί κανείς στο data, TotW του mmxu2, το οποίο είναι τύπου MeasuredValue, για να καταλήξει μέσω του mag, σε έναν float αριθμό που αναπαριστά την ενεργό ισχύ, τον f. Έτσι, ο agent του SunnyBoy, εφόσον ανακτήσει την τιμή αυτή, την στέλνει στον agent του SunnyIsland. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται κάθε 6 sec.

Με τη σειρά του ο SunnyIsland, αφού παραλάβει το μήνυμα από τον SunnyBoy, διαβάζει την τρέχουσα φωτοβολταϊκή παραγωγή. Στη συνέχεια, με αντίστοιχο τρόπο ανακτά την τρέχουσα λειτουργία των μπαταριών, δηλαδή την ισχύ φόρτισης ή εκφόρτισης (θετικό πρόσημο για την εκφόρτιση και αρνητικό για την φόρτιση). Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω της προτυποποιημένης εντολής `«Get("SunnyIsland4500.mmxu1.phV.phsA.mag.f")»`. Έπειτα, επίσης με προτυποποιημένο τρόπο ελέγχει το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (stateofcharge-SOC). Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το IEC-61850, δεν ορίζει κάποιο λογικό κόμβο που να περιέχει πληροφορία για το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών. Η έλλειψη αυτή είναι σημαντική, γιατί όταν υπάρχει σύστημα μπαταριών, το επίπεδο φόρτισης είναι από τα πρώτα χαρακτηριστικά που πρέπει να γνωρίζει κανείς. Για αυτό το λόγο έγινε η προσθήκη του dataChaSOC στο λογικό κόμβο zbat. Το data αυτό είναι τύπου MeasuredValue. Ο έλεγχος γίνεται μέσω της εντολής `"if (Get("SunnyIsland4500.zbat1.ChaSOC.mag.f") < 90%)"` που απαιτεί το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών να είναι μικρότερο του 90%, έτσι ώστε να υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω φόρτιση, χωρίς να επηρεάζεται η υγεία τους (stateofhealth). Εφόσον ικανοποιείται αυτή η συνθήκη, ακολουθεί ο υπολογισμός του setpoint ως:

“ $P_{setpoint}=0.3*P_{pv}+P_{bat}$ ”. Σε αυτόν τον τύπο φαίνεται ότι το $setpoint$ υπολογίζεται ως το 30% της φωτοβολταϊκής παραγωγής, συν το ότι έκανε πριν η μπαταρία. Ο όρος P_{bat} μπορεί να είναι είτε αρνητικός είτε θετικός, αλλά το γεγονός αυτό δεν επηρεάζει το ισοζύγιο ισχύος, εφόσον το 30% της παραγωγής διαχειρίζεται πάντα από τις μπαταρίες. Δηλαδή, εάν προηγουμένως οι μπαταρίες ήταν σε κατάσταση φόρτισης ήδη ($P_{bat}<0$), θα εξακολουθήσουν να φορτίζονται αλλά με απορροφούμενη ισχύ αυξημένη κατά τον όρο $0,3*P_{pv}$. Εάν οι μπαταρίες ήταν σε κατάσταση εκφόρτισης ($P_{bat}>0$) ο ρυθμός της εκφόρτισης θα μειωθεί κατά τον όρο $0,3*P_{pv}$. Αφού γίνει ο υπολογισμός του $setpoint$, ο $agent$ του SunnyIsland, το θέτει στον αντιστροφέα, μέσω της εντολής: `Set("SunnyIsland4500.zinv1.totW.setMag.f", (Psetpoint))`. Η ανάθεση του $setpoint$ γίνεται στο λογικό κόμβο `zinv1`, που μοντελοποιεί inverter, και συγκεκριμένα στο `dataTotW` που χρησιμοποιείται για το $setpoint$ της ενεργού ισχύος εξόδου.

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα που έγιναν για την παραπάνω εφαρμογή. Η μπλε καμπύλη αντιπροσωπεύει τη φωτοβολταϊκή παραγωγή και η κόκκινη παρουσιάζει την κατανάλωση των μπαταριών που αντιστοιχεί στο $setpoint$ που δέχεται από τον φωτοβολταϊκό αντιστροφέα. Αυτό σημαίνει ότι έχει αφαιρεθεί οποιαδήποτε διαδικασία έκανε πριν η μπαταρία (φόρτιση/ εκφόρτιση).

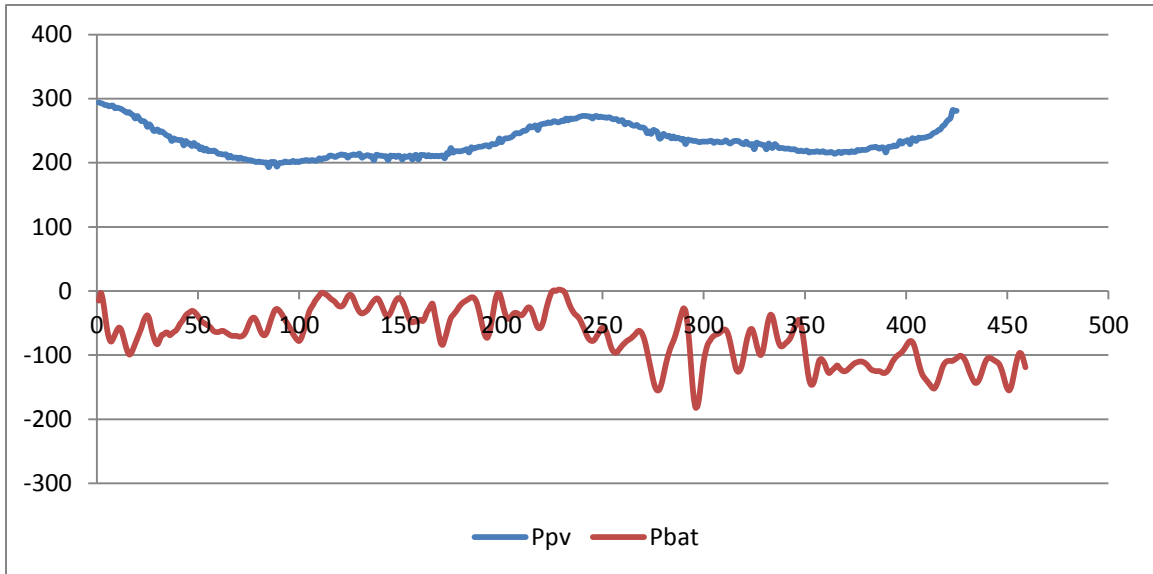
1^ο Πείραμα:



Γράφημα 1: Η μπαταρία απορροφά σταθερά 30% της φωτοβολταϊκής παραγωγής (1)

Στο παραπάνω γράφημα η μέση τιμή της φωτοβολταϊκής ισχύος, P_{pv} , είναι 794.38kW, ενώ η μέση τιμή της ισχύος των μπαταριών που αντιστοιχεί στο setpoint που δέχεται, P_{bat} , είναι -241.8 W που αντιστοιχεί στο 30% της P_{pv} . Οι μπαταρίες πριν εφαρμοστεί ο έλεγχος ήταν σε λειτουργία εκφόρτισης με ρυθμό 40W.

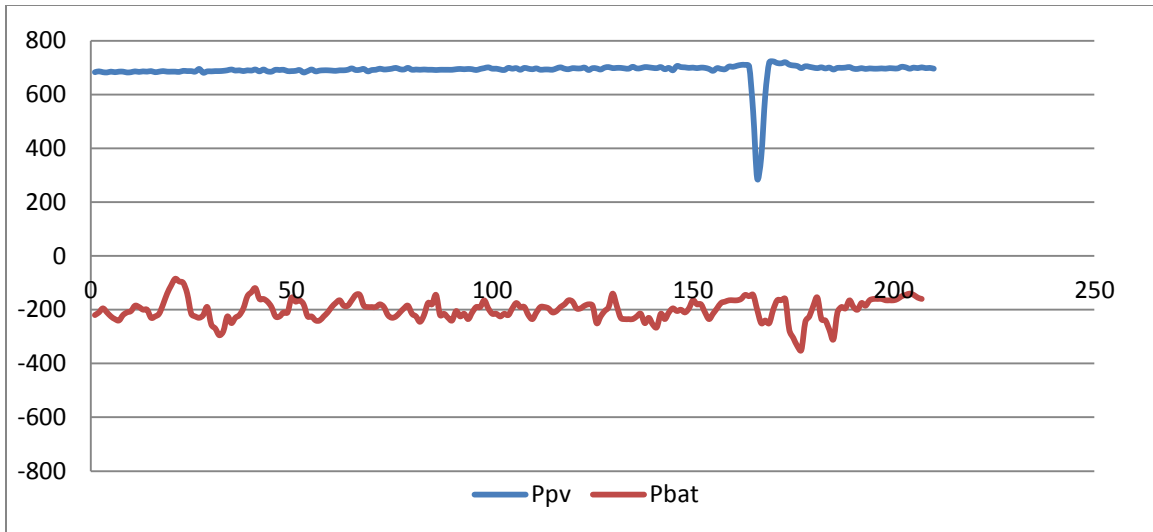
2° Πείραμα:



Γράφημα 2: Η μπαταρία απορροφά σταθερά 30% της φωτοβολταϊκής παραγωγής (2).

Το ίδιο συμβαίνει και σε επόμενο πείραμα. Στο παραπάνω γράφημα η μέση τιμή της φωτοβολταϊκής ισχύος, P_{pv} , είναι 236.96 kW, ενώ η μέση τιμή της ισχύος των μπαταριών που αντιστοιχεί στο setpoint που δέχεται είναι P_{bat} , είναι -69.94 W, δηλαδή το 29% της P_{pv} . Η μπαταρία πριν εφαρμοστεί ο έλεγχος εκφορτιζόταν με 30W.

3° Πείραμα:



Γράφημα 3: Η μπαταρία απορροφά σταθερά 30% της φωτοβολταϊκής παραγωγής (3).

Στο παραπάνω γράφημα η μέση τιμή της φωτοβολταϊκής ισχύος, P_{pv} , είναι 692W, ενώ φαίνεται και η ισχύς των μπαταριών, P_{bat} , που αντιστοιχεί μόνο στο setpoint που παίρνουν από τον αντιστροφέα των φωτοβολταϊκών, που έχει μέση τιμή -199.5 W που αντιστοιχεί στο 28 % της P_{pv} . Πριν τον έλεγχο οι μπαταρίες εκφορτίζονταν με ρυθμό 100W.

5.11.2 Οι μπαταρίες φορτίζονται όταν η φωτοβολταϊκή παραγωγή ξεπερνά το 80 % της ονομαστικής της τιμής (Εφαρμογή 2)

Αυτή η εφαρμογή σκοπό έχει να μειώνει την εξερχόμενη από το μικροδίκτυο ενέργεια, περιορίζοντας τη φωτοβολταϊκή παραγωγή. Το όριο που έχει επιλεγθεί είναι το 80% της ονομαστικής ισχύος (1100 W), δηλαδή 880W. Σε αυξημένη ηλιοφάνεια, που η παραγωγή ξεπεράσει αυτήν την τιμή, ο agent του SunnyBoy, πρέπει να ενημερώσει τον agent του SunnyIsland να θέσει τις μπαταρίες σε κατάσταση φόρτισης, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα, δηλαδή το επίπεδο φόρτισής τους είναι μικρότερο από 90%.

SUNNY BOY AGENT

```
Ontick Behaviour(6000) {
```

```
    Ppv=Get("SunnyBoy1100.mmxu2.totW.mag.f");
```

```

if Ppv>0.8*PNomimal{
    Psetpoint=-(Ppv-(0.8*Ppv));
    if (Psetpoint>50){
        SendMessage(Psetpoint,SunnyIsland);
    }
}
}

```

SUNNY ISLAND AGENT

```

CyclicBehaviour {
    if {MessageReceived=true} {
        Psetpoint=ReadMMessage(Psetpoint);
        //Τρέχουσαισχύςτωνμπαταριών
        Pbat=Get("SunnyIsland4500.mmxu1.totW.mag.f");
    }
    if(Get("SunnyIsland4500.zbat1.ChaSOC.instMag.f")<90%)
    {
        Set("SunnyIsland4500.zinv1.totW.setMag.f",(Psetpoint));
    }
}

```

Ο agent του SunnyBoy, με προτυποποιημένο τρόπο, αρχικά ανακτά την τρέχουσα παραγόμενη ισχύ των φωτοβολταϊκών (`Get("SunnyBoy1100.mmxu2.totW.mag.f")`). Στη συνέχεια, γίνεται έλεγχος εάν αυτή ξεπερνά το 80% της ονομαστικής ισχύος, που είναι 1100W. Εφόσον ικανοποιείται η συνθήκη, υπολογίζεται το setpoint που θα σταλεί στον agent του SunnyIsland. Το setpoint υπολογίζεται ως: $P_{setpoint} = P_{pv} - (0.8 * P_{pv})$. Δηλαδή, όταν η παραγωγή ξεπεράσει τα 880 W, τα υπολοιπόμενα Watt στέλνονται ως setpoint στον agent του SunnyIsland. Πριν σταλεί, γίνεται ένας επιπλέον έλεγχος, για το αν το setpoint είναι μεγαλύτερο των 50Watt. Αυτό γίνεται για να μην δίνονται μικρά setpoint που θα δυσχεραίνουν την ευστάθεια του συστήματος.

5.11.3 Υπολογισμός απαιτούμενης ενεργού ισχύος για διόρθωση της αυξημένης τάσης σε τοπικό επίπεδο (Εφαρμογή 3)

Οι παρακάτω εφαρμογές σκοπό έχουν να ρυθμίζουν τη συνολική ενεργό ισχύ P_{tot} που εξέρχεται από το μικροδίκτυο, λαμβάνοντας σαν παράμετρο την άεργο ισχύ Q_{tot} και τα χαρακτηριστικά της γραμμής R και X. Η ρύθμιση αυτή γίνεται για να διορθωθεί το φαινόμενο της ανύψωσης τάσης λόγω της αυξημένης παραγωγής και ο υπολογισμός βασίζεται στη σχέση: $\Delta V = \frac{PR+XQ}{V}$

SUNNY BOY AGENT

```
Ontick Behaviour(6000) {  
  
    Ppv=Get("SunnyBoy1100.mmxu2.totW.mag.f");  
  
    Vs=Get("mmxu2.phv.phsA.mag.f");  
  
    ifVs>1.05*Vnomimal{  
  
        SendMessage (Ppv,Vs,SunnyIsland);  
  
    }  
  
}
```

SUNNY ISLAND AGENT

```
CyclicBehaviour {  
  
if {MessageReceived=true} {  
  
    Split_Message;  
  
    Ppv=ReadMessage (Ppv);  
  
    Vs=ReadMessage (Vs);  
  
//Τρέχουσα ενεργός ισχύς των μπαταριών  
  
    Pbat=Get("SunnyIsland4500.mmxu1.totW.mag.f");  
  
//Τρέχουσα άεργος ισχύς των μπαταριών  
  
    Qbat=Get("SunnyIsland4500.mmxu1.totVAr.mag.f");  
  
    Ptot=((-0.01*Vs*Vs)-X*Qbat)/R;  
  
    Psetpoint=Ptot-Ppv;  
  
    if abs(Psetpoint)>50{
```

```

        ifPsetpoint<0{
            if(Get("SunnyIsland4500.zbat1.ChaSOC.instMag.f")<90%){
Set("SunnyIsland4500.zinv1.totW.setMag.f", (Psetpoint));
            }
        }

        ifPsetpoint>0 {
            if(Get("SunnyIsland4500.zbat1.ChaSOC.instMag.f")>10%){
Set("SunnyIsland4500.zinv1.totW.setMag.f", (Psetpoint));
            }
        }
    }
}

```

Όπως και προηγουμένως ο agent του SunnyBoy, με OnTickbehaviour κάθε 6 δευτερόλεπτα, μέσω των αντίστοιχων προτυποποιημένων εντολών ανακτά την ισχύ των φωτοβολταϊκών και την τάση του μικροδικτύου. Όταν η τάση αυξηθεί κατά 5% πάνω από την ονομαστική της τιμή, 241,5V, τότε ο agent του SunnyBoy επικοινωνεί με τον agent του SunnyIsland για να του στείλει την τρέχουσα ισχύ των φωτοβολταϊκών και την τάση του μικροδικτύου. Με την σειρά του αφού ο agent του SunnyIsland δεχθεί το μήνυμα, ανακτά και αυτός τις τιμές της φωτοβολταϊκής παραγωγής και της τάσης. Με αντίστοιχο προτυποποιημένο τρόπο ανακτούνται η ενεργός και η άεργος ισχύς των μπαταριών:

```

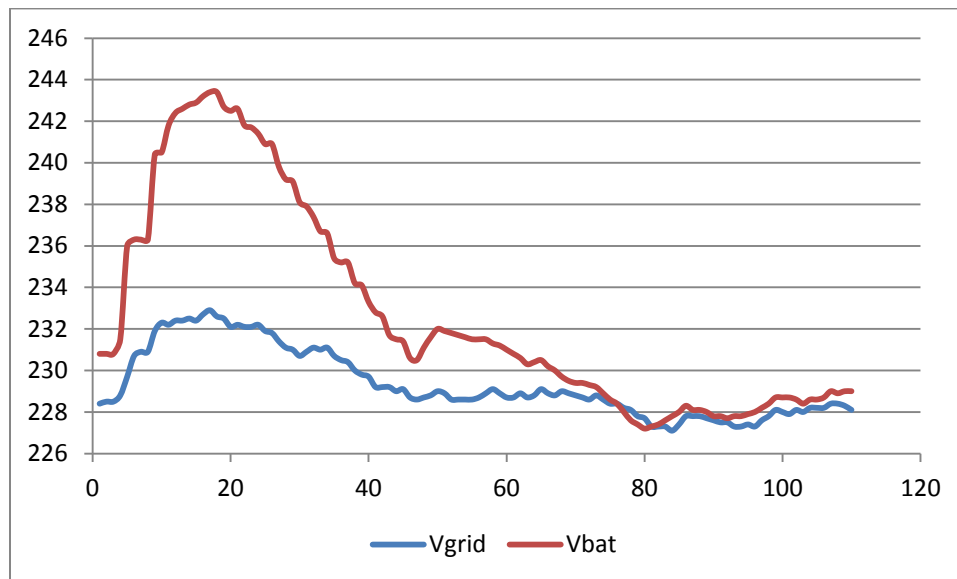
Get("SunnyIsland4500.mmxu1.totW.phsA.mag.f"), Get("SunnyIsland4500.mmxu1.totVar.phsA.mag.f"). Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός της ολικής ενεργού ισχύος,  $P_{tot}$ , που πρέπει να εξέρχεται από το μικροδίκτυο, έτσι ώστε η τάση να φτάσει στο 99% την ονομαστικής της τιμής. Ο λόγος που επιλέγεται χαμηλότερο όριο είναι για να υπάρχει περιθώριο για περεταίρω αύξηση και να μην δημιουργείται πρόβλημα αμέσως μετά τον καθορισμό του setpoint. Ακολουθεί ο υπολογισμός του setpoint των μπαταριών, που προκύπτει ως διαφορά της ισχύος των φωτοβολταϊκών από την συνολική ισχύ ( $P_{setpoint} = P_{tot} - P_{pv}$ ). Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος για το setpoint που υπολογίστηκε: Αρχικά, ελέγχεται εάν είναι μεγαλύτερο από 50 W, και αυτό, για να μην απασχολείται ο agent και ο αντιστροφέας με μικρά setpoints. Έπειτα, εάν το setpoint είναι αρνητικό, δηλαδή οι μπαταρίες πρόκειται να μπουν σε λειτουργία

```

φόρτισης, ελέγχεται μέσω προτυποποιημένης εντολής το επίπεδο φόρτισης τους , για να εξασφαλιστεί ότι είναι μικρότερο του 90% και έτσι υπάρχει περιθώριο φόρτισης. Από την άλλη, εάν το setpoint είναι θετικό (λειτουργία εκφόρτισης) , ο έλεγχος απαιτεί το επίπεδο φόρτισης να είναι μεγαλύτερο του 10% . Εφόσον ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για το setpoint τότε ο agent το θέτει στον αντιστροφέα μέσω της προτυποποιημένης εντολής Set. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο agent του Sunny Island έχοντας Cyclic Behaviour , δηλαδή εφόσον δεχθεί το μήνυμα από τον Sunny Boy, υπολογίζει και θέσει το setpoint, επαναλαμβάνει τις ίδιες εντολές που ξεκινούν με το μήνυμα από το Sunny Boy. Όποιο άλλο μήνυμα φτάσει ενδιάμεσα , αγνοείται μέχρι να ολοκληρωθεί το setpoint.

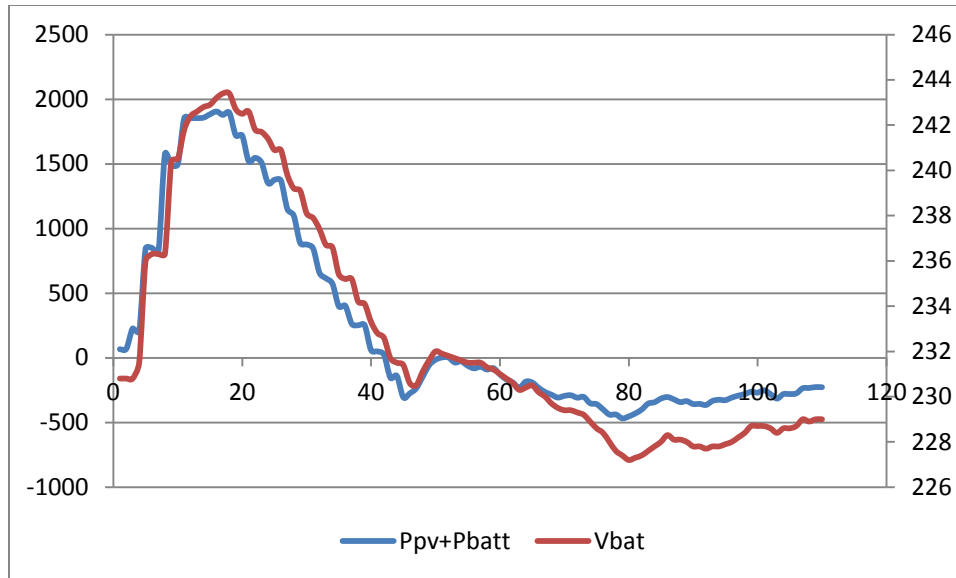
Παρακάτω φαίνονται τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για την εφαρμογή αυτή.

1^ο Πείραμα:



Γράφημα: Διόρθωση της τάσης του μικροδικτύου(1)

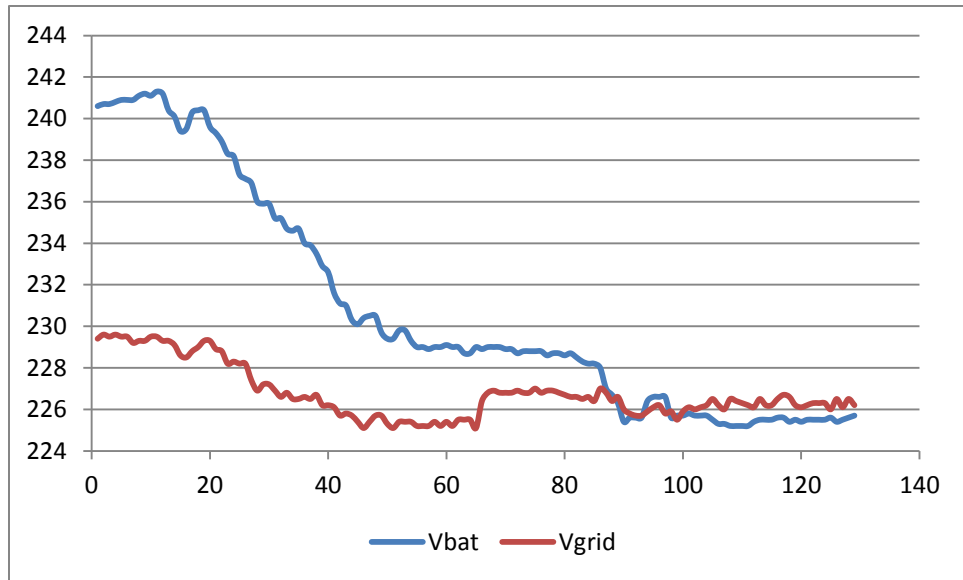
Στο παραπάνω γράφημα φαίνονται οι διακυμάνσεις της τάσης του μικροδικτύου, για τη διόρθωση της, μετά από αύξηση της στα 243 V, με τον προηγούμενο έλεγχο.



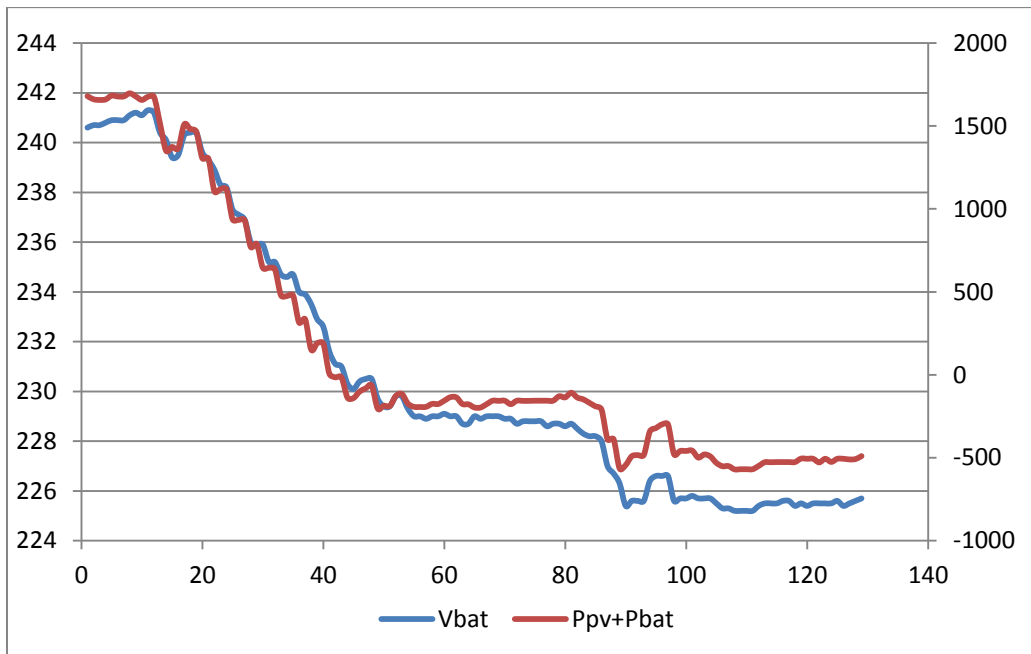
Γράφημα: Μεταβολή ενεργού και τάσης του μικροδικτύου κατά τον έλεγχο.

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η τάση (πριν τον έλεγχο), ο SunnyIsland απορροφά άεργο ισχύ για να διορθώσει το πρόβλημα. Μετά την εφαρμογή του ελέγχου, εφόσον μετρηθεί η άεργος ισχύς, το πρόβλημα διορθώνεται μέσω της ενεργού. Για αυτό το λόγο παρατηρούμε ότι η καμπύλη της τάσης και της ενεργού ισχύος έχουν την ίδια συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, εφόσον η φωτοβολταϊκή παραγωγή θεωρείται σχεδόν σταθερή, η τάση ρυθμίζεται μέσω της ενεργού ισχύος των μπαταριών. Σε αυτό το πείραμα, η άεργος ισχύς μετριέται μόνο μία φορά και ο έλεγχος βασίζεται σε αυτή τη μέτρηση (αντί να ανανεώνεται). Επίσης παρατηρούμε ότι στη συνέχεια, από μόνος του ο αντιστροφέας των μπαταριών παρατηρώντας τη μείωση της τάσης προσφέρει άεργο ισχύ.

2^ο Πείραμα

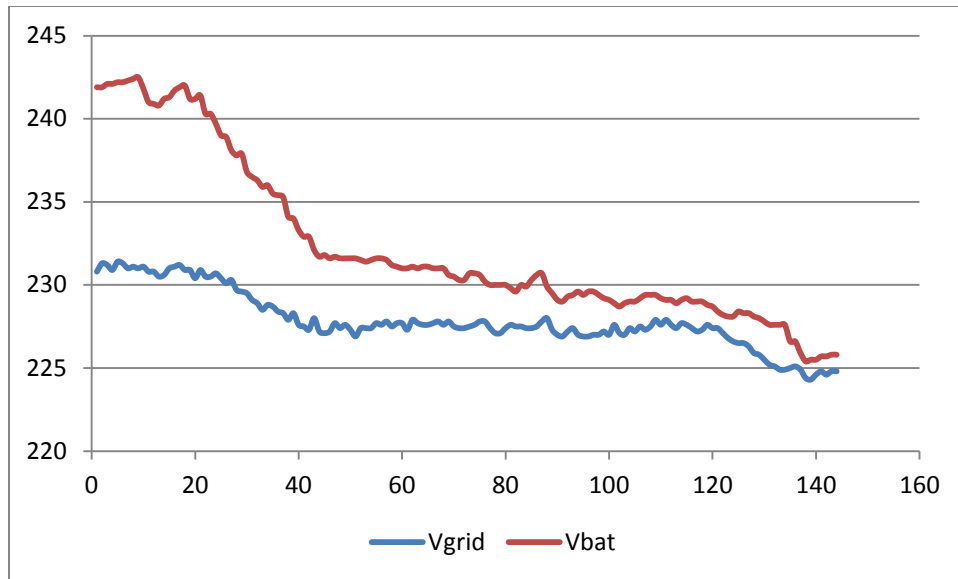


Γράφημα: Διόρθωση της τάσης του μικροδικτύου(2)

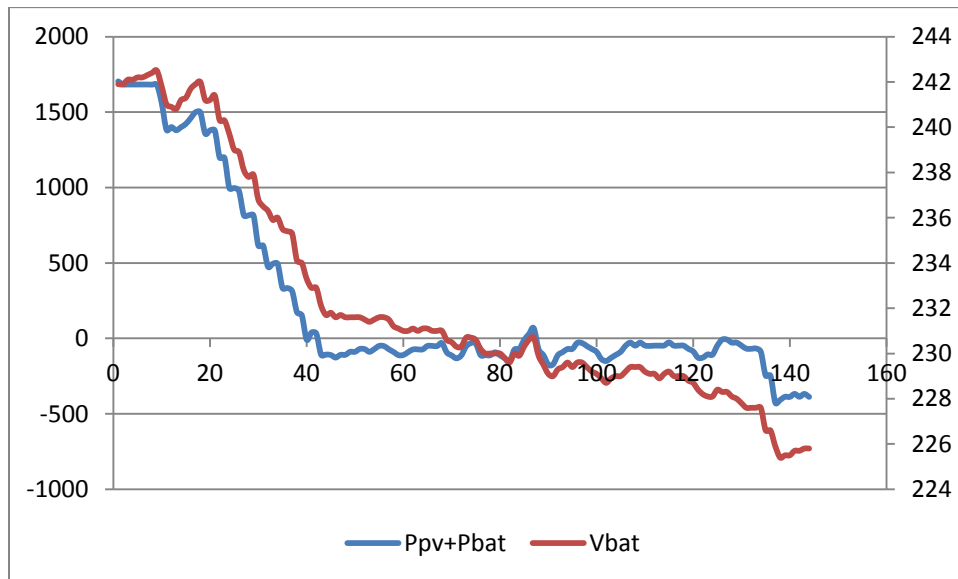


Γράφημα: Μεταβολή ενεργού και τάσης του μικροδικτύου κατά τον έλεγχο.

Γράφημα: 3^ο Πείραμα:



Γράφημα: Διόρθωση της τάσης του μικροδικτύου(3)



Γράφημα: Μεταβολή ενεργού και τάσης του μικροδικτύου κατά τον έλεγχο.

Και στα παραπάνω γραφήματα παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο: Η καμπύλη της τάσης ακολουθεί την καμπύλη της ενεργού ισχύος. Η διαφορά είναι ότι σε αυτή την περίπτωση μετριέται εκ νέου η άεργος ισχύς και έτσι υπολογίζεται το setpoint των μπαταριών.

5.11.4: Υλοποίηση προγράμματος ενεργού ισχύος

SUNNYBOYAGENT

```
Ontick Behaviour(6000){  
  
    Get(PV_contract);  
  
    Get(TimeSlot);  
  
    Pcontract=ReadContract(TimeSlot);  
  
    Ppv=Get("SunnyBoy1100.mmxu2.totW.mag.f");  
  
    Psetpoint=Ppv-Pcontract  
  
    SendMessage(Psetpoint, SunnyIsland);  
  
    }  
}
```

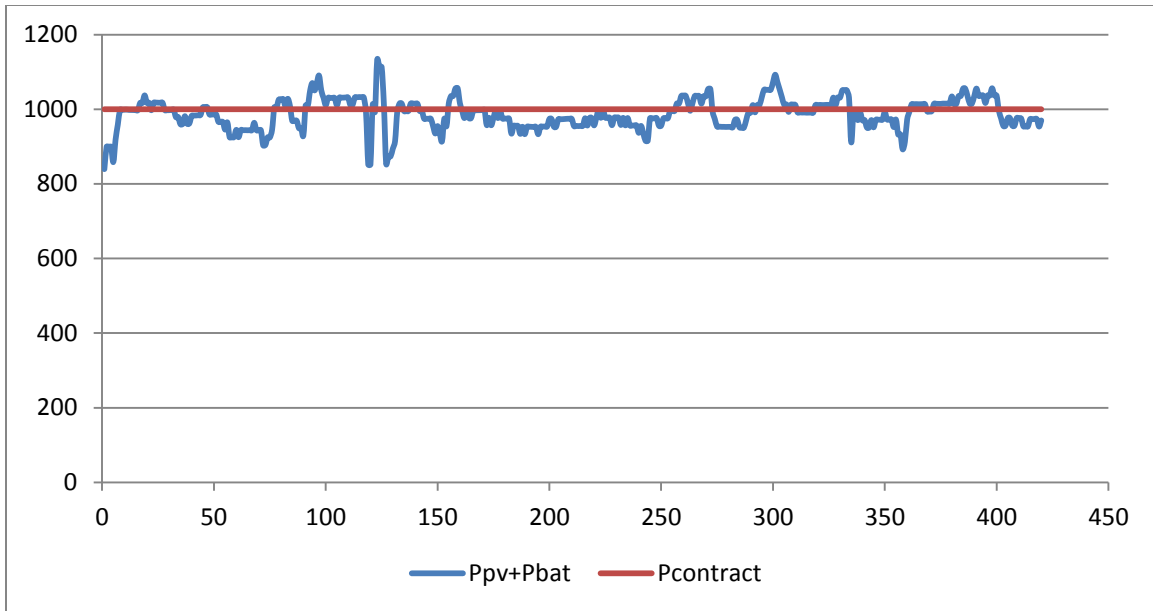
SUNNY ISLAND AGENT

```
Cyclic Behaviour {  
  
    if {MessageReceived=true} {  
  
        Psetpoint=ReadMMessage(Psetpoint);  
  
        Pbat=Get("SunnyIsland4500.mmxu1.totW.mag.f");  
        //Τρέχουσαι ισχύς των μπαταριών  
  
    if (Psetpoint>50){  
  
        if(Get("SunnyIsland4500.zbat1.ChaSOC.instMag.f")<90%)  
  
        {  
  
        Set("SunnyIsland4500.zinv1.totW.setMag.f", (Pbat-Psetpoint));  
  
        }  
  
        }  
  
    else {  
  
        if (Get("SunnyIsland4500.zbat1.ChaSOC.instMag.f")>10%)  
  
        {  
  

```

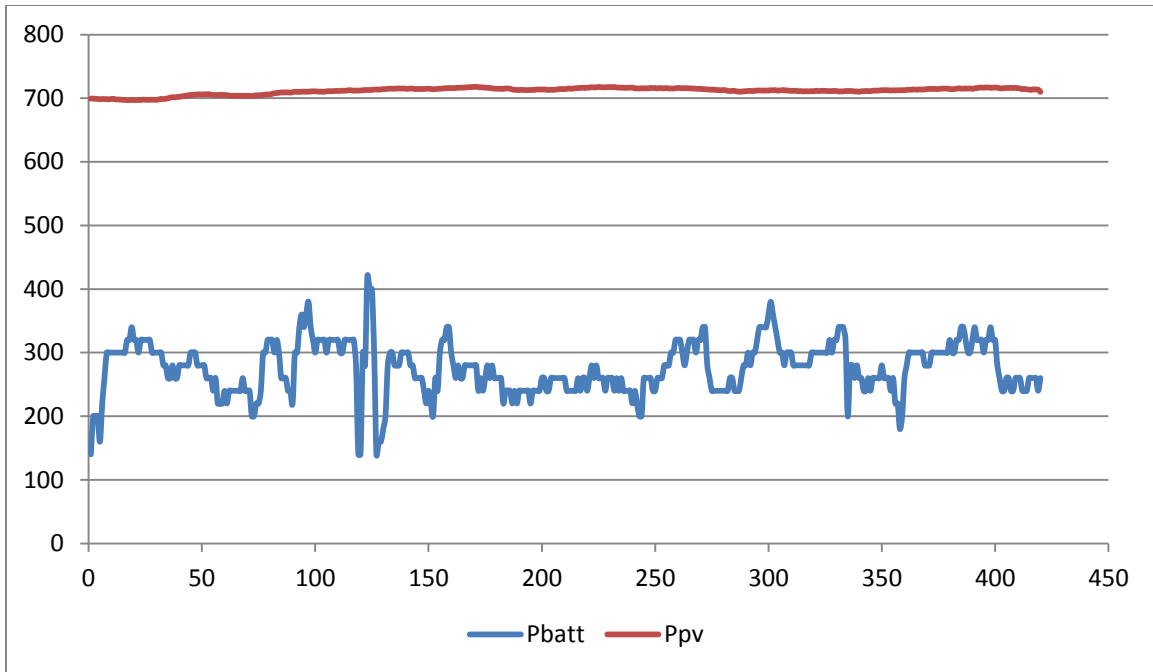
```
Set("SunnyIsland4500.zinv1.totW.setMag.f", (Pbat-Psetpoint));  
  
}  
  
}  
  
}  
  
}
```

Αρχικά, ο agent του SunnyBoy, λαμβάνει ως είσοδο ένα συμβόλαιο για τη φωτοβολταϊκή παραγωγή που θα εξέρχεται από το μικροδίκτυο. Το συμβόλαιο αυτό μπορεί να είναι είτε ένα αρχείο txt (textfile) είτε ένα αρχείο csv (Comma-separatedvaluesfile). Το αρχείο αυτό, χωρίζει τη μέρα (24h) σε συγκεκριμένα ίσα χρονικά διαστήματα (timeslots) και αντιστοιχεί σε καθένα από αυτά μία τιμή ισχύος που πρέπει να παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Στην προκειμένη τα χρονικά διαστήματα είναι 10λεπτα , δηλαδή περιέχονται 144 τιμές. Έτσι, αφού ο agent του SunnyBoy ανακτήσει το αρχείο του συμβολαίου, υπολογίζει με το timeslot που αντιστοιχεί στην τρέχουσα ημερομηνία και ώρα. Εφόσον , γνωρίζει το timeslot, διαβάζει από το αρχείο του συμβολαίου την συμφωνημένη ισχύ για το μικροδίκτυο. Στη συνέχεια, μέσω προτυποποιημένης εντολής , ανακτά την τρέχουσα φωτοβολταϊκή παραγωγή.



Εικόνα 82: Ισχύς μικροδικτύου και ισχύς συμβολαίου

Στην παραπάνω γραφική παράσταση φαίνεται η συνολική ισχύς του μικροδικτύου και η ισχύς που απαιτείται από το συμβόλαιο. Η εφαρμογή διήρκησε 10 λεπτά, όπου το συμβόλαιο απαιτούσε ισχύ 1000 W. Η μεταβλητότητα της συνολικής ισχύος οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στην καθυστέρηση εφαρμογής του setpoint. Το γεγονός αυτό φαίνεται και στην εικόνα 84, που παρουσιάζεται η ισχύς της μπαταρίας και των φωτοβολταϊκών ξεχωριστά. Όπως φαίνεται και στο ψευδοκώδικα, setpoints μικρότερα των 50 W, δεν αποστέλλονται καν, για να μην καθυστερεί το σύστημα για μικρές διαφορές. Η μέση τιμή της ισχύος του μικροδικτύου είναι 957.1 W.



Εικόνα 83: Παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών και ισχύς μπαταρίας

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Μελλοντική εργασία

6.1 Συμπεράσματα

Στην παραπάνω εργασία έγινε μελέτη του προτύπου IEC-61850 και υλοποιήθηκαν 4 εφαρμογές, κάνοντας χρήση του, σε java.

Όπως αναφέρεται και στα προηγούμενα κεφάλαια, η εξέλιξη των ηλεκτρικών δικτύων αλλά και των συσκευών επέφερε την ανάγκη του IEC-61850. Συνοπτικά, ορισμένα πλεονεκτήματα του είναι

- ❖ Ο ορισμός ενός *πληροφοριακού μοντέλου (Information Model)* που περιλαμβάνει τις λογικές συσκευές, τους λογικούς κόμβους κλπ , και επιτρέπει τον ορισμό δεδομένων και υπηρεσιών. Στόχος ήταν το μοντέλο αυτό να είναι ανεξάρτητο από τα επικοινωνιακά ζητήματα.
- ❖ Η χρήση (μοναδικών) ονομάτων για όλα τα δεδομένα. Κάθε δεδομένο του IEC-61850 περιγράφεται με ένα (μοναδικό) String σε αντίθεση με τα προγενέστερα πρότυπα που αναγνώριζαν τα δεδομένα είτε με τη θέση αποθήκευσης τους είτε με αναγνωριστικούς αριθμούς(indexnumbers).
- ❖ Τα ονόματα των δεδομένων είναι προτυποποιημένα και έτσι ανεξάρτητα του εκάστοτε κατασκευαστή. Επομένως , κάποιος βλέποντας ένα όνομα αναγνωρίζει απευθείας τη σημασία του χωρίς να χρειάζεται να αναφερθεί σε manuals και αντιστοιχίσεις. Το γεγονός αυτό προωθεί τη διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών.
- ❖ Οι προτυποποιημένες συσκευές έχουν την δυνατότητα αυτοπεριγραφής τους, μέσω των αρχείων SCL. Έτσι μπορεί κανείς αυτόματα να έχει εικόνα για μια συσκευή (πχ υποστηριζόμενα δεδομένα και λειτουργίες) , με ελάχιστο χρόνο και κόστος.
- ❖ Η παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών, όπως πχ GOOSE, GSE κλπ.
- ❖ Η «αυτορρύθμιση» των συσκευών (plug'n'play) μέσω των αρχείων SCL

Όλα τα παραπάνω προσφέρουν σημαντικά έμμεσα οφέλη στον χώρο των αυτοματισμών και όχι μόνο.

- ❖ Μείωση των ασαφειών, εφόσον τα δεδομένα είναι ρητά και προτυποποιημένα, και έτσι ο χρήστης δεν υπόκειται σε παρερμηνείες.
- ❖ Χαμηλό κόστος εγκατάστασης εφόσον οι συσκευές έχουν τη δυνατότητα αυτοπεριγραφής και αυτορρύθμισης
- ❖ Μείωση λαθών και αστοχιών που συνεπάγεται η χειρωνακτική ρύθμιση/εγκατάσταση.

- ❖ Επεκτασιμότητα: Η πληροφορία είναι η ίδια για όλες τις συσκευές, ανεξαρτήτως κατασκευαστή και έτσι η αντικατάσταση/προσθήκη μίας δεν θα επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα για ολόκληρο το δίκτυο.
- ❖ Υλοποίηση νέων δυνατοτήτων που δεν ήταν εφικτές με τα προηγούμενα πρότυπα. Εφόσον όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο του υποσταθμού, αυξάνονται τα προσβάσιμα δεδομένα χωρίς να αυξάνεται το κόστος και ο χρόνος ρύθμισης.

Από την άλλη, η πρακτική υλοποίηση του IEC-61850 παρουσιάζει πολλές δυσκολίες και μειονεκτήματα:

- ❖ Το πρότυπο είναι *αφηρημένο* χωρίς να προτείνει πρακτικές υλοποιήσεις. Αντίθετα, τα περισσότερα μοντέλα περιγράφονται μέσω φυσικής γλώσσας με τη μορφή πινάκων.
- ❖ Παράλληλα είναι και αρκετά περίπλοκο και δύσκολο να γίνει κατανοητό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το meta-model όπου ορίζονται /εμπλέκονται οι λογικοί κόμβοι με τις CommonDataClasses και τα dataattributes, με τις σχέσεις της κληρονομικότητας και της σύνθεσης και έτσι ο αναγνώστης πρέπει να είναι πολύ καλά εξοικειωμένος με αυτές. Επιπλέον, στο πρότυπο χρησιμοποιείται και η σχέση “typeof” που δυσκολεύει ακόμα περισσότερο τη διάκριση των τύπων δεδομένων.
- ❖ Υπάρχει έλλειψη ενός ρητού πρωταρχικού ορισμού για τα μοντέλα δεδομένων και τις σχέσεις αυτών, έτσι ώστε τα υπόλοιπα μέρη του προτύπου να βασιστούν σε αυτόν και να κατασκευάσουν τους δικούς τους κατηγορηματικούς ορισμούς.
- ❖ Ενώ στόχος ήταν να διαχωριστούν πλήρως τα επικοινωνιακά ζητήματα με το μοντέλο δεδομένων, αυτό δεν έγινε απολύτως επιτυχημένα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι FunctionConstraints, που ενώ είναι χαρακτηριστικά του μοντέλου δεδομένων, εμπλέκονται με τις υπηρεσίες (services) που μπορούν να εφαρμοστούν στο δεδομένο που συνοδεύουν.
- ❖ Επιπλέον, το πρότυπο θεωρεί να ως πρωταρχικούς τύπους δεδομένων (BasicTypes) δομές που προγραμματιστικά είναι σύνθετες. Ένα παράδειγμα είναι το CODEENUM (απαρίθμηση) που θεωρείται βασικός τύπος, ενώ δεν αναφέρεται πουθενά η υλοποίησή του.
- ❖ Ενώ η προτυποποίηση των ονομάτων των δεδομένων αποσκοπεί στην εύκολη αναγνώριση της σημασίας τους, πολλές φορές αυτό αποτυγχάνει επειδή υπάρχουν ασυνέπειες: Ένα παράδειγμα είναι το DataAmp (Ampere) το οποίο μπορεί να είναι είτε αντικείμενο της CommonDataClass “MV” (MeasuredValue) είτε αντικείμενο της “SAV” (SampledValue). Δηλαδή το όνομα ενός data δε συνδέεται υποχρεωτικά με μία συγκεκριμένη CDC.

- ❖ Ενώ υπάρχει μεγάλος όγκος πληροφορίας, και συχνά πεδία που επαναλαμβάνονται, υπάρχουν χαρακτηριστικά του συστήματος που δεν περιγράφονται μέσα στο πρότυπο. Ένα παράδειγμα είναι το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών(stateofcharge) το οποίο δε μοντελοποιείται από κανένα data κάποιου λογικού κόμβου.

6.2 Προτάσεις-Μελλοντική εργασία

Το πρότυπο IEC-61850, όπως φάνηκε από τη μελέτη του και παρουσιάστηκε στην εργασία, περιέχει αρκετά αδύναμα σημεία, τα οποία χρειάζονται περεταίρω μελέτη προκειμένου να γίνει εφικτή η εφαρμογή του. Τα σημεία αυτά συνοψίζονται ως εξής:

- ❖ Αρχικά, θα ήταν θεμιτό να γίνει συγκριτική μελέτη με άλλα παρόμοια πρότυπα, έτσι ώστε να γίνουν εμφανή τα αδύναμα σημεία του. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων προτύπων είναι: Το IEC 61970 που θέτει τις προδιαγραφές για εφαρμογές συστημάτων διαχείρισης ενέργειας(EnergyManagementSystems). Το βασικότερο μέρος του είναι το 3xx που περιλαμβάνει το μοντέλο δεδομένων CIM (CommonInformationModel). Επιπλέον, άλλο πρότυπο είναι το IEC 61968 το οποίο ασχολείται με τα δίκτυα διανομής. Τέλος θα μπορούσε να διεξαχθεί συγκριτική μελέτη και με το πρότυπο Multispeak που δημιουργήθηκε από το National Rural Electric Cooperative Association (NRECA). Το Multispeak περιλαμβάνεται από το NIST (National Institute of Standards and Technology) στο μοντέλο αναφοράς για τα έξυπνα δίκτυα (SmartGrid Conceptual Reference Model).
- ❖ Επιπλέον, παραγωγική θα ήταν η μελέτη ενοποίησης του IEC 61850 με το πρότυπο IEC 61970 και με το DLMS/COSEM. Αρχικά, το IEC 61970 περιλαμβάνει ένα απλούστερο μοντέλο δεδομένων, με μικρότερο βάθος πληροφορίας και έτσι η υλοποίησή του είναι πολύ πιο εύκολα προγραμματιστικά. Από την άλλη το DLMS/COSEM (Device Language Messages specification/ Companion Specification for Energy Metering) είναι το πρότυπο που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από μετρητές.
- ❖ Ενδιαφέρον θα είχε επίσης και η υλοποίηση ενός προτυποποιημένου κατά IEC 61850 server. Το γεγονός αυτό θα επέτρεπε την αυτόματη παραγωγή αντικειμένων (Data transformation Layer), και την άμεση χρήση τους από διάφορες client εφαρμογές στο επίπεδο του Local Control. Έτσι με αυτό τον τρόπο οποιαδήποτε εφαρμογή θα μπορούσε να κάνει χρήση προτυποποιημένης πληροφορίας, γεγονός που θα αναδείκνυε την διαλειτουργικότητα (interoperability).
- ❖ Επεκτείνοντας την παραπάνω ιδέα, εξίσου ενδιαφέρουσα θα ήταν και η υλοποίηση μίας προτυποποιημένης κατά IEC 61850 βάσης δεδομένων. Το γεγονός αυτό θα επέτρεπε την αξιοποίηση δεδομένων από διάφορους φορείς είτε

για στατιστικούς λόγους, είτε για λόγους πρόβλεψης. Η βάση δεδομένων θα μπορούσε να υλοποιηθεί και βασιζόμενη σε άλλο πρότυπο.

- ❖ Τέλος, στο πρότυπο θα ήταν καλό να προστεθεί η μοντελοποίηση φορτίων έτσι ώστε να διακρίνονται και να διαχειρίζονται με εύκολο και σαφή τρόπο.

Βιβλιογραφία

1. *IEC-61850-1, Ed:1.* s.l. : IEC.
2. **Holmberg, David G. και Bushby, Steven T.***BACnet and the smart grid.*
3. **Huang, Rui, και συν., και συν.***Integration of IEC-61850 into distributed Energy resources system in a smart building.* s.l. : IEEE, 2014.
4. **Campfens, Frans.***Use of IEC-61850 for asset management in low voltage microgrids.* s.l. : University of Twente.
5. **Kostic, Tatjana, Preiss, Otto και Frei, Christian.***Understanding and using the IEC 61850: a case of meta-modeling.* 2004.
6. *Sunny Island 4500 manual.*
7. *Sunny Boy 1500 manual.*
8. *OPzS-Solar manual.*
9. **IEC.***DER modeling with IEC-61850.* 2006.
10. **Siow, L. K., και συν., και συν.***Wi-Fi based server in microgrid energy management system.*
11. **Güngör, Vehbi C., και συν., και συν.***Smart Grid Technologies Communication Technologies and Standards.* 2011.
12. **Gantenbein, Dieter, και συν., και συν.***WP3-Distributed Integration technology development.* 2011.
13. **Yang, Qiang, Barria, Javier A. και Tim C. Green.***Communication Infrastructures for Distributed Control of Power Distribution Networks.* 2011.
14. **Chen, Chien-Liang, και συν., και συν.***Design of Parallel Inverters for Smooth Mode Transfer Microgrid Applications.* 2010.
15. **Baxevanos, Ioannis S. και Labridis, Dimitris P.***Implementing Multiagent Systems Technology for Power Distribution Network Control and Protection Management.* 2007.
16. **Thale, Sushil και Agarwal, Vivek.***Controller Area Network (CAN) based smart protection scheme for microgrid.* 2011.
17. **Leccese, Fabio.***An overview on IEEE Std 2030.* 2012.
18. **Castro, M., και συν., και συν.***Well-known serial buses for distributed control of backup power plants. RS-485 versus controller area network (CAN) solutions.* 2002.
19. **Manigandan, M. και B.Basavaraja, Dr.***Active and reactive power control of MicroGrid using wireless technology (ZigBee 2.4GHz).* 2011.

20. **Nthontho, M.P, και συν., και συν.***Communication networks for domestic photovoltaic based microgrid protection.*
21. **Yan, Ye, και συν., και συν.***A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures Motivations, Requirements and Challenges.* 2013.
22. **Lo, Chun-Hao και Ansari, Nirwan.***The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects.* 2012.
23. **Rengaraju, Perumalraja και Lung, Chung-Horng.***Communication requirements and analysis of distribution networks using WiMAX technology for smart grids.* s.l. : IEEE, 2012.
24. **Clark, Adrian, Pavlovski, Christopher J. και Fry, Jeff.***Transformation of energy systems:The control room of the future.* s.l. : IEEE, 2009.
25. Galli, Stefano, Anna Scaglione, and Zhifang Wang. "Power line communications and the smart grid." Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on. IEEE, 2010.
26. **Khan, Reduan H. και Khan, Jamil Y.***Wide area PMU communication over a WiMAX network in the smart grid.* s.l. : IEEE. 2012.
27. *Smart Grid Wireless Comparison Chart.* s.l. : Aviat Networks.
28. **Laverty, David M., και συν., και συν.***Telecommunications for Smart Grid Backhaul solutions for the distribution network.* s.l. : IEEE, 2010.
29. **Parikh, Palak P., Kanabar, Mitalkumar. G. και Sidhu, Tarlochan S.***Opportunities and Challenges of Wireless Communication Technologies for Smart Grid Applications.*
30. **Andonovic, Ivan.***Research on backbone communication network in smart grid by using OPNET.* s.l. : IEEE, 2011.
31. **Wang, Wenyue, Xu, Yi και Khanna, Mohit.***A survey on the communication architectures in smart grid.* 2011.
32. **Lewis, Richard Peter, Igic, Dr Petar και Zhou, Dr Zhongfu.***Assessment of communication methods for smart electricity metering in the U.K.* s.l. : Swansea University.
33. **Zhang, Qiang, Sun, Yugeng και Cui, Zhenhui.***Application and analysis of ZigBee technology for Smart Grid.* s.l. : ICCIA, 2010.
34. **Fouda, Mostafa M., Fadlullah, Zubair Md. και Kato, Nei.***Assessing attack threat against ZigBee-based home area network for Smart Grid communications.* s.l. : IEEE, 2010.
35. *Introduction to modbus TCP/IP.* s.l. : Acromag.
36. *MODBUS over Serial Line:Specification & Implementation guide.* s.l. : Modbus.org, 2002.

37. **Yoo, ByungGwan, και συν., και συν.***CAN to IEC-61850*. s.l. : IEEE, 2011.
38. **Jimeno, J., και συν., και συν.***Report on applied data structures and mapping to communication*. 2009.
39. **Mahmud, M. A., Hossain, M. J. και Pota, H. R.***Analysis of Voltage Rise Effect on Distribution Network with Distributed Generation*. s.l. : International Federation of Automatic Control (IFAC), 2011.
40. **McMorran, Dr Alan W.***An Introduction to IEC 61970-301 & 61968-11:The Common Information Model*. s.l. : University of Strathclyde, 2007.
41. **Pignolet, Yvonne-Anne, και συν., και συν.***Future Internet for Smart Distribution Systems*. s.l. : IEEE, 2012.
42. **Ustun, Taha Selim, Ozansoy, Cagil R. και Zayegh, Aladin.***Implement vehicle to grid technology with IEC-6180-7.420*. s.l. : IEEE, 2013.
43. *Next-Generation Communications Protocols for Advanced Smart Grid Applications*. s.l. : GTMResearch, 2012.
44. **Apostolov, A.P.***Modeling Systems with distributed generators in IEC-61850*. s.l. : IEEE, 2009.
45. **Mackiewicz, Ralph και Heights, Sterling.***Technical overview and benefits of the IEC-61850 standard for substation automation*.
46. **Frank, Heinz, Mesentean, Sidonia και Kupzog, Friederich.***Simplified Application of the IEC 61850 for Distributed Energy Resources*. s.l. : IEEE, 2009.
47. *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0*. s.l. : National Institute of Standards and Technology, 2012.
48. *IEC-61850-7.420, Ed:1*. s.l. : IEC.
49. *IEC-61850-7.3, Ed:1*. s.l. : IEC.
50. *IEC-61850-6, Ed:1*. s.l. : IEC.
51. *IEC-61850-2, Ed:1*. s.l. : IEC.
52. **Ancillotti, Emilio, Bruno, Raffaele και Conti, Marco.***The role of communication systems in smart grids- Architectures, technical solutions and research challenges*. s.l. : Elsevier B.V., 2013.
53. **Gómez-Cuba, Felipe, Asorey-Cacheda, Rafael και González-Castaño, Francisco J.***WiMAX for smart grid last-mile communications TOS traffic mapping and performance assessment.pdf*. s.l. : IEEE, 2012.

54. **Adamiak, Mark, Baigent, Drew και Mackiewicz, Ralph.***IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations.*

55. **Liang, Yingyi και Campbell, Roy H.***Understanding and simulating the IEC-61850 standard.*

56. **McArthur, Stephen D. J., και συν., και συν.***Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications—Part II: Technologies, Standards and Tools for Building Multi-agent Systems.* 2007 : IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS.

57. **McArthur, Stephen D. J., και συν., και συν..** *Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications—Part I: Concepts, Approaches and Technical Challenges.* s.l. : IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, 2007.