



Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ

**Εποπτικός έλεγχος Συστημάτων στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς  
Ηλεκτρικής Ενέργειας των 400 & 150kV.**

ΜΠΡΟΥΜΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ  
ΜΠΟΥΓΟΥΛΙΑΣ ΛΑΜΠΡΟΣ  
ΦΑΣΟΥΛΑ ΔΑΦΝΗ

Επιβλέπων Καθηγητής  
ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΗΣ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016 (Ημερομηνία Υποβολής)**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μπρούμας Γεώργιος του Ανδρέα, με αριθμό μητρώου 40221, φοιτητής του Τμήματος **Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Επίσης δηλώνω υπεύθυνα ότι έχω παρακολουθήσει το σεμινάριο συγγραφής και εκπόνησης πτυχιακής εργασίας που διοργανώνεται από το Τμήμα Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. κατά το Εαρινό Εξάμηνο του Ακ. Έτους 2015 - 2016.

Ο Δηλών  


**Ημερομηνία**

12/10/2016

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μπουγουλιάς Λάμπρος του Αριστοτέλη, με αριθμό μητρώου 39750, φοιτητής του Τμήματος **Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Επίσης δηλώνω υπεύθυνα ότι έχω παρακολουθήσει το σεμινάριο συγγραφής και εκπόνησης πτυχιακής εργασίας που διοργανώνεται από το Τμήμα Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. κατά το Εαρινό Εξάμηνο του Ακ. Έτους 2015 - 2016.

Ο Δηλών



Ημερομηνία

12/10/2016

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Φασουλά Δάφνη του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 41681, φοιτήτρια του Τμήματος **Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

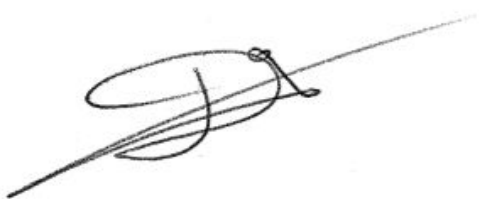
Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Επίσης δηλώνω υπεύθυνα ότι έχω παρακολουθήσει το σεμινάριο συγγραφής και εκπόνησης πτυχιακής εργασίας που διοργανώνεται από το Τμήμα Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. κατά το Εαρινό Εξάμηνο του Ακ. Έτους 2015 - 2016.

Ο Δηλών

Ημερομηνία

12/10/2016



# Πίνακας περιεχομένων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	1
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	14
ΌΡΟΙ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	15
ΣΚΟΠΟΣ.....	19
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	20
ABSTRACT.....	21
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22
1.1 Ίδρυση της ΔΕΗ.....	22
1.2 Μορφές ενέργειας.....	23
1.3 Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.....	25
1.4 Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).....	25
1.5 Η παραγωγή της Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	25
1.6 Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	26
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	28
2.1 Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	29
2.2 Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς.....	31
3 ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΕΣΜΗΕ). .....	32

3.1	Περιγραφή του υφιστάμενου Συστήματος .....	33
3.1.1	Υποσταθμοί .....	35
3.2	Είδη και περιγραφή Υ/Σ .....	36
3.2.1	Οι Υ/Σ διανομής .....	36
3.2.2	Οι Υ/Σ μεταφοράς .....	36
3.2.3	Οι Υ/Σ ανυψώσεως .....	36
3.2.4	Οι Υ/Σ υποβιβασμού .....	37
3.2.5	Οι εγκιβωτισμένοι υποσταθμοί GIS (Gas Insulated Substations) .....	37
3.2.6	Οι Υ/Σ ζεύξης .....	37
3.3	Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ) .....	38
3.4	Γραμμές Μεταφοράς .....	38
3.5	Συσκευές Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος .....	39
3.6	Διεθνείς Διασυνδέσεις .....	40
3.6.1	Ελλάδα – ΠΓΔΜ .....	41
3.6.2	Ελλάδα – Αλβανία .....	41
3.6.3	Ελλάδα – Βουλγαρία .....	41
3.6.4	Ελλάδα – Ιταλία .....	41
3.6.5	Ελλάδα – Τουρκία .....	41
3.7	Βασικά δεδομένα σχεδιασμού του Συστήματος .....	42
3.7.1	Φορτία .....	42
3.7.2	Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής .....	42
3.7.3	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Μονάδες Συμπαραγωγής Υψηλής Απόδοσης .....	44
4	ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑ .....	45
4.1	Εισαγωγή .....	45
4.2	Τι είναι το SCADA .....	46
4.3	Ιστορία .....	47
4.4	SCADA και DCS .....	48
4.5	SCADA και HMI .....	49

4.6	Βασικά χαρακτηριστικά των SCADA.....	50
4.7	Οφέλη και πλεονεκτήματα των συστημάτων SCADA.....	50
4.7.1	Εμπορικές εφαρμογές SCADA.....	52
4.8	Αρχιτεκτονική υλικού .....	53
4.9	Αρχιτεκτονική λογισμικού .....	55
4.9.1	Επικοινωνίες. Εσωτερική επικοινωνία. ....	55
4.10	Διασύνδεση .....	56
4.10.1	Διεπαφές εφαρμογής/επισκόπησης .....	56
4.10.2	Βάση δεδομένων.....	57
4.10.3	Εξελιξιμότητα.....	57
4.10.4	Πλεονασμός.....	57
4.11	Λειτουργία.....	58
4.11.1	Έλεγχος πρόσβασης .....	58
4.11.2	MMI (Man – Machine Interface).....	58
4.11.3	Αυτοματοποίηση .....	58
4.11.4	Εξέλιξη .....	59
4.12	Αναμενόμενα οφέλη από τη χρήση συστήματος SCADA.....	59
4.13	Αξιοπιστία και ευρωστία.....	60
4.14	Ιστορικό.....	60
4.14.1	Γνώση, πληροφορίες και δεδομένα .....	60
4.15	Επικύρωση .....	62
4.16	Σύστημα SCADA.....	63
4.17	Απαιτήσεις συστήματος SCADA.....	64
4.18	Προκλήσεις .....	65
5	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ .....	66
5.1	Επισκόπηση.....	66
5.2	Τοπολογίες δικτύων.....	66

5.3	Μεταφορά δεδομένων .....	67
5.4	Πρωτόκολλα επικοινωνίας δικτύου TCP/IP και IEC 61850 .....	69
5.5	Ανίχνευση σφάλματος στην μεταφορά δεδομένων .....	70
5.5.1	Άθροισμα ελέγχου .....	70
5.5.2	Κυκλικός έλεγχος απόρριψης .....	71
5.5.3	Απόσταση Hamming .....	71
6	ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	72
6.1	Μετασηματιστές Οργάνων - Αναλογικές είσοδοι .....	72
6.1.1	Μετασηματιστές εντάσεως .....	74
6.1.2	Μετασηματιστές τάσεως.....	74
6.2	Παρεμβολές και ζεύξεις .....	75
6.2.1	Πηγές παρεμβολών .....	75
6.2.2	Σύζευξη των παρεμβολών.....	75
6.2.2.1	Γαλβανική σύζευξη.....	75
6.2.2.2	Επαγωγική σύζευξη .....	76
6.2.2.3	Χωρητική σύζευξη.....	76
6.2.2.4	Ακτινοβολία .....	76
6.3	Ψηφιακές είσοδοι .....	76
6.4	Φιλτράρισμα.....	77
6.4.1	Αναλογικό φιλτράρισμα ημιτονοειδών σημάτων .....	78
6.4.2	Φιλτράρισμα ψηφιακών ημιτονοειδών σημάτων.....	79
7	ΕΥΦΥΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ (IEDS) .....	80
7.1	Προστασία από υπερένταση.....	80
7.2	Διαφορική Προστασία.....	81
7.3	Ασύμμετρη Προστασία .....	82
7.4	Σφάλμα προστασίας προς γη.....	84
8	ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ .....	85



8.1	Παρακολούθηση.....	86
8.2	Πολλαπλές και περιττές πληροφορίες.....	86
8.3	Κύκλωμα Παρακολούθησης κατάστασης διακόπτη .....	88
8.4	Επιλογή σήματος για Τοπολογία.....	88
8.5	Επικύρωση δεδομένων .....	89
8.6	Έλεγχος Χρησιμοποιώντας Περιττές Μετρήσεις Ρεύματος.....	90
8.7	Έλεγχος Χρησιμοποιώντας μετρήσεις Χωρίς περιττές πληροφορίες.....	91
8.7.1	Ρεύμα .....	91
8.7.2	Τάση.....	91
8.8	Έλεγχος με τους νόμους του ρεύματος του Kirchoff.....	92
8.9	Έλεγχος της κατάστασης της Γραμμής Μεταφοράς .....	93
8.10	Έλεγχος Ρευμάτων της Γ.Μ. και Τοπολογίας Δεδομένων.....	95
8.11	Time-Series Συνέπεια άφιξης.....	97
9	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ MICROSCADA.....	100
9.1	Ισορροπία Ισχύος.....	100
9.2	Ισοδύναμο Ρεύματα διακόπτη - φάσης.....	103
9.3	Πρωτοβάθμιες Μετρήσεις.....	104
9.4	Σύνοψη .....	105
10	ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ .....	107
10.1	Εισαγωγή.....	107
10.2	Οι λειτουργίες του λογισμικού Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας.....	108
10.3	Το Υποσύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (SCADA).....	110
10.3.1	Λειτουργία Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών SCADA .....	111
10.3.2	Λειτουργία Καταγραφής Ιστορικού .....	113

10.3.3	Λειτουργία Ανάρτησης Πινακίδων .....	113
10.3.4	Λειτουργία Επεξεργασίας Τοπολογίας.....	113
10.3.5	Λειτουργία Αποκοπής Φορτίου.....	113
10.4	Το Υποσύστημα Παραγωγής .....	113
10.5	Έλεγχος Παραγωγής σε Πραγματικό Χρόνο (RTGEN) .....	114
10.6	Το Υποσύστημα «Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς» (Network) .....	118
10.6.1	Εκτίμηση Κατάστασης.....	118
10.6.2	Ανάλυση Ενδεχομένων Διαταραχών.....	119
10.6.3	Ροή Ισχύος.....	120
10.6.4	Βέλτιστη Ροή Ισχύος.....	121
10.6.5	Ανάλυση Ενδεχομένων Διαταραχών σε Περιβάλλον Μελέτης .....	121
10.7	Ο Προσομοιωτής Εκπαίδευσης Χειριστών (DTS).....	122
10.8	Πλήρη γραφικά συστήματος επικοινωνίας ανθρώπου –μηχανής (Full Graphics MMI) .....	124
10.9	Υλικό Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (HARDWARE).....	124
10.10	Το υλικό ηλεκτρονικών υπολογιστών του Εθνικού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας.....	126
10.11	Το υλικό ηλεκτρονικών υπολογιστών των Περιφερειακών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας....	128
10.12	Μιμικά Διαγράμματα .....	129
10.13	Τερματικές Μονάδες (RTUs).....	130
10.14	Ελεγκτές Γεννητριών Σταθμών Παραγωγής (GUCs) .....	130
10.15	Τηλεπικοινωνίες.....	131
10.15.1	Γενικά.....	131
10.15.2	Φερεσυχνικές Ζεύξεις (Φ/Σ) ΔΕΗ.....	131
10.15.3	Μικροκυματικές Ζεύξεις (MW) ΔΕΗ .....	132
10.15.4	Ζεύξεις Μισθωμένων Ευθειών (ME) ΟΤΕ.....	132
10.15.5	Ζεύξεις Καλωδίων Πιλότων .....	132
10.15.6	Γεωγραφικός Διαχωρισμός του Τηλεπικοινωνιακού Δικτύου (ΤΔ) .....	132
10.15.7	Τηλεφωνία .....	133
11	Ο ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΕΕ.....	134

11.1	Εκσυγχρονισμός και παρούσα κατάσταση ΣΕΕ. ....	134
11.2	Αναβάθμιση του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας.....	134
11.3	Εγκατάσταση Display Wall Περιφερειακού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας Θεσσαλονίκης. ..	136
11.4	Εκτίμηση Ασφάλειας Τάσεως (Voltage Security Assessment - VSA) .....	137
11.5	Ανάπτυξη του SCADA και των RTUs για την επιτήρηση του Συστήματος Μεταφοράς.....	137
11.6	Υλοποίηση τηλεπικοινωνιακών οδεύσεων μέσω MUX.....	140
11.7	Επικοινωνία ΣΕΕ με το Σύστημα Αγοράς και τροποποίηση του AGC για την κάλυψη των αναγκών της απελευθερωμένης αγοράς. ....	140
11.8	DATA Warehouse.....	142
11.9	Αναγκαιότητα αντικατάστασης του ΣΕΕ.....	142
11.10	Κύρια χαρακτηριστικά και δομή νέου ΣΕΕ .....	145
11.11	Συμπεράσματα .....	146
12	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ : .....	147

## Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1.1 ΧΑΡΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	26
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 Ο ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ....	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΒΑΛΚΑΝΙΚΗΣ .....	40
ΕΙΚΟΝΑ 9.1 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ .	101
ΕΙΚΟΝΑ 9.2 Η ΤΙΜΗ ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΩ ΑΠΟ 100% Η ΡΟΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΓΚΥΡΗ. ..	102
ΕΙΚΟΝΑ 9.3 ZERO, ΜΙΑ ΚΑΙ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΥΟ «BAD» ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ .....	103
ΕΙΚΟΝΑ 9.4 ΟΙ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΑ .....	104
ΕΙΚΟΝΑ 9.5 ΟΙ ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΑ	105
ΕΙΚΟΝΑ 10.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	109

## Κατάλογος Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 3.1 ΤΟ ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΥ ΚΥΤ ΔΙΣΤΟΜΟΥ. ....	38
ΣΧΗΜΑ 4.1 ΤΥΠΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΥΛΙΚΟΥ (HARDWARE) ...	54
ΣΧΗΜΑ 4.2 Η ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SCADA. ....	55
ΣΧΗΜΑ 4.3 ΓΝΩΣΗ - ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ. ....	61
ΣΧΗΜΑ 4.4 SCADA ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ. ....	64
ΣΧΗΜΑ 5.1 ΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΕ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ. ....	66
ΣΧΗΜΑ 5.2 ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ. ....	67
ΣΧΗΜΑ 5.3 Η ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΡΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	67
ΣΧΗΜΑ 5.4 ΤΥΠΙΚΟ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ / ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΤΗΣ ΣΗΜΑΙΑΣ. ....	68
ΣΧΗΜΑ 5.5 ΤΟ ΠΑΚΕΤΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟ SPA-BUS 68	
ΣΧΗΜΑ 5.6 ΔΟΜΗ ΤΟΥ IEC 61850. (IEC 61850 ΠΡΟΤΥΠΟ) ....	70
ΣΧΗΜΑ 5.7 ΤΟ ΜΠΛΟΚ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΧΕΙ ΠΡΟΣΤΕΘΕΙ ΤΟ CRC. ....	71
ΣΧΗΜΑ 6.1 ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ ΤΗΣ AD-ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ. ....	73
ΣΧΗΜΑ 6.2 ΤΥΠΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΣΗΜΑ ΤΑΣΗΣ. ....	77
ΣΧΗΜΑ 7.1 ΕΝΙΑΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΖΥΓΩΝ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 81	

ΣΧΗΜΑ 7.2 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΘΕΤΙΚΗΣ, ΑΡΝΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ .....	83
ΣΧΗΜΑ 7.3 ΙΕΔ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΓΗΣ. (TERMINAL ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ REF615) .....	84
ΣΧΗΜΑ 8.1 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ SCADA.....	86
ΣΧΗΜΑ 8.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΣΥΝΕΠΕΙΑΣ ΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ. ....	90
ΣΧΗΜΑ 8.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΙΡΧΗΝΟΦΦ.....	92
ΣΧΗΜΑ 8.4 Ο ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣ ΜΕ ΕΝΑ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΚΑΙ ΔΥΟ ΑΠΟΖΕΥΚΤΕΣ. ....	93
ΣΧΗΜΑ 8.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΑΘΕΣΤΩΤΟΣ ΤΗΣ Γ.Μ.	95
ΣΧΗΜΑ 8.6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΑΘΕΣΤΩΤΟΣ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ. ....	96
ΣΧΗΜΑ 8.7 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΕΠΕΙΑΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ. ....	99
ΣΧΗΜΑ 10.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	108
ΣΧΗΜΑ 10.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	110
ΣΧΗΜΑ 10.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	116
ΣΧΗΜΑ 10.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	119
ΣΧΗΜΑ 10.5 ΤΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΧΡΗΣΤΩΝ	
123	
ΣΧΗΜΑ 10.6 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΕΚΕΕ – ΠΚΕΕ. ....	125

ΣΧΗΜΑ 10.7 ΟΙ ΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΤΟΥ ΕΚΕΕ. ....	127
ΣΧΗΜΑ 10.8 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥ – ΜΗΧΑΝΗΣ. ....	128
ΣΧΗΜΑ 10.9 ΟΙ ΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΕΜΠΡΟΣΘΙΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΤΩΝ ΠΚΕΕ. ....	129

## **Κατάλογος Πινάκων**

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΜΗΚΗ Γ.Μ. ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2014).....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015).....	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΤΥΠΙΚΕΣ ΡΟΥΤΙΝΕΣ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ.....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ DFRS, DPRS ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ. ....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2 ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΛΟΓΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΙΣΧΥΟΣ (CB) ΚΑΙ ΔΥΟ ΑΠΟΖΕΥΚΤΩΝ (DC).....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1 ΠΛΗΘΟΣ RTUS.....	111

## Όροι και ορισμοί

AC	Alternating Current (Εναλλασσόμενο Ρεύμα)
ADO	ActiveX Data Objects
AGC	Automatic Generation Control (Αυτόματη Ρύθμιση Παραγωγής)
CB	Circuit Breaker (Διακόπτης Κυκλώματος)
CBM	Circuit Breaker Monitor (Οθόνη Παρακολούθησης Διακόπτη)
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
CRC	Cyclic Redundancy Check (Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού)
CT	Current Transformer (Μετασχηματιστής Εντάσεως)
DC	Direct Current (Συνεχές Ρεύμα)
DCS	Distributed Control System (Σύστημα Διανεμημένου Ελέγχου )
DFR	Digital Fault Recorder (Ψηφιακή Καταγραφή Σφάλματος)
DI	Digital Input (Ψηφιακή Είσοδος)
DO	Digital Output (Ψηφιακή Έξοδος)
DPR	Digital Protective Relay (Ψηφιακό Ρελέ Προστασίας)
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
GIS	Gas Insulated Substation (Υποσταθμός ή ΚΥΤ κλειστού τύπου)
GUCs	Μονάδες Ελέγχου Παραγωγής
GUIs	Graphical User Interfaces (Γραφικά Περιβάλλοντα Χρήσης).
HD	Hamming Distance (Απόσταση Hamming)
HMI	Human-Machine Interface (Διεπαφή Ανθρώπου-Μηχανής)
HVDC	High Voltage Direct Current (Συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης)
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device (Εξυπνες Ηλεκτρονικές Συσκευές)
IEEE	Institution of Electrical and Electronics Engineering
KCL	Kirchhoff's Current Law (Νόμος του Κίρκωφ)
LAN	Local Area Network
MMI	Man – Machine Interface (Διεπαφή Ανθρώπου-Μηχανής)
MTU	Master Terminal Unit (Κεντρική Τερματική Μονάδα)
ODBC	Open Database Connectivity (Ανοικτή Διεπαφή Συνδετικότητας Βάσεων Δεδομένων)
OPC	Open Platform Communication (Ανοικτή Πλατφόρμα Επικοινωνίας)
PC	Personal Computer (Προσωπικός Υπολογιστής)



PLC	Programmable Logic Controllers (Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής)
PLC	Programmable Logic Controller (Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής)
RTDB	Real Time Database (Βάση Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο)
RTGEN	Real Time Generation Control (Έλεγχος Παραγωγής σε Πραγματικό Χρόνο )
RTU	Remote terminal unit (Σταθμοί Απομακρυσμένης Λειτουργίας)
RTU	Remote Terminal Unit (Απομακρυσμένες Τερματικές Μονάδες)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Εποπτικό Σύστημα Ελέγχου Και Συλλογής Δεδομένων)
	Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Πρωτόκολλο Ελέγχου
TCP/IP	Μετάδοσης/Πρωτόκολλο Διαδικτύου)
UCTE	Union for the Coordination of the Transmission of Electricity
USB	Universal Serial Bus (Ενιαίος Σειριακός Διάυλος )
VT	Voltage Transformer (Μετασχηματιστές Τάσεως)
Α/Π	Αιολικό πάρκο
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.
ΑΗΣ	Ατμοηλεκτρικός Σταθμός
ΑΜ/Σ	Αυτομετασχηματιστής
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΣΠ	Αυτόνομος Σταθμός Παραγωγής
ΒΠΚΕΕ	Βόρειο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας
Γ.Μ.	Γραμμή Μεταφοράς
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.
ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε.	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.
Δίκτυο	Δίκτυο Διανομής
Ε.Ρ. ή ΕΡ	Εναλλασσόμενο Ρεύμα
ΕΚΕΕ	Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας
ΕΣΜΗΕ	Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΘΗΣ	Θερμοηλεκτρικός Σταθμός
ΚΕΕ	Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας
ΚΥΤ	Κέντρο Υπερυψηλής Τάσης
Μ/Τ	Μέση Τάση

ΝΠΚΕΕ	Νότιο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας
Σ.Ρ.	Συνεχές Ρεύμα
ΣΗΕ	Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΣΗΘΥΑ	Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
Υ/Σ	Υποσταθμός
Υ/Τ	Υψηλή Τάση
ΥΗΣ	Υδροηλεκτρικός Σταθμός
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά
Χ/Τ	Χαμηλή Τάση

Ευχαριστίες

Θέλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον καθηγητή κ. Γρηγόρη Νικολάου για την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας και την καθοδήγησή του, που ήταν σημαντική για την ολοκλήρωση της.

Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Μακούδη Γεώργιο, Διευθυντή του Κλάδου Κεντρικών Υπηρεσιών της Διεύθυνσης Συντήρησης Συστήματος Μεταφοράς του Α.Δ.Μ.Η.Ε Α.Ε. και τον κ. Καλφάογλου Μανόλη, Τομεάρχη Συστημάτων και Εφαρμογών Περιφερειακών ΚΕΕ της Διεύθυνσης Συστημάτων και Υποδομών του Α.Δ.Μ.Η.Ε Α.Ε. για την πολύτιμη βοήθειά τους, το χρόνο που μας αφιέρωσαν και για τις καίριες παρεμβάσεις τους.

Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την πολύπλευρη συμπαράσταση και στήριξη τους στην κοινή μας πορεία.

## **Σκοπός.**

Στην παρούσα εργασία επιχειρούμε την περιγραφή των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας των 400 & 150 kV, και του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας το οποίο παρακολουθεί την λειτουργία και τον έλεγχο του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Παραγωγής και Μεταφοράς, καθώς επίσης και την λειτουργία της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

## Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζουμε αρχικά μια σύντομη ιστορική αναφορά για το ξεκίνημα και την πορεία του εξηλεκτρισμού της Ελλάδος και για τις πρώτες υποδομές που χρειάστηκαν. Στην συνέχεια αποσαφηνίζουμε τις έννοιες των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας περιγράφοντας το Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Δίνοντας έμφαση στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας περιγράφουμε το υφιστάμενο σύστημα και την λειτουργία των επιμέρους εγκαταστάσεων που το αποτελούν.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τις έννοιες των συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τον Εποπτικό Έλεγχο και την Τηλεμετρία, για να εισέλθουμε στο πως όλα αυτά συγκροτημένα μεταξύ τους επικοινωνούν, μεταφέρουν με ασφάλεια τα δεδομένα για να μπορούν να αξιολογηθούν και να οδηγήσουν σε σωστές αποφάσεις και ενέργειες που πρέπει ή δεν πρέπει να γίνουν.

Η περιγραφή του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας Παραγωγής – Μεταφοράς που αποτελείται από τρία Κέντρα Ελέγχου ενός Εθνικού και δύο Περιφερειακών, εισάγει τις πληροφορίες για το πώς είναι δομημένο και πώς λειτουργεί στο σύνολο του και τον ρόλο που έχουν τα υποσυστήματα που το αποτελούν.

Τελειώνοντας, αναφερόμαστε στην ανάγκη του εκσυγχρονισμού του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας προκειμένου να διατηρηθεί σε υψηλά και αξιόπιστα επίπεδα η λειτουργία του καλύπτοντας τις ανάγκες που προκύπτουν στο σύγχρονο περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

## **Abstract**

In this paper we present a brief historical reference for the start and progress of electrification of Greece and the first infrastructure needed. Then clarify the concepts of Power System describing the Production System for Electricity and the Interconnected Transmission System. Emphasizing the Greek Electricity Transmission System describe the existing system and the functioning of the installations involve.

Then we present the concepts of systems have been developed in order to Supervisory Control and Telemetry, to enter in that all assembled together interconnecting securely transfer the data can be evaluated and lead to good decisions and actions should or should not be done.

The description of the Power Energy Control System - Transmission consisting of three Control Centres of National and two Regional, entered information about how it is structured and how it works as a whole and the role they have subsystems that constitute it.

Finally, referring to the need for modernization of the Energy Control System in order to maintain a high and consistent levels of function of meeting the needs that arise in contemporary deregulated electricity market environment.

# 1 Εισαγωγή

Ο κύριος μοχλός της οικονομικής ανάπτυξης μιας χώρας είναι η ύπαρξη ανταγωνιστικής βιομηχανίας και η ανάπτυξη του εμπορίου σε ευρεία κλίμακα. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και σε γενικότερο πλαίσιο ο πολιτισμός μας, τεχνολογικός και πνευματικός, στηρίζεται στην ύπαρξη και στην χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η παραγωγή και η διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα ξεκίνησε το 1889 όταν η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» ανέλαβε την παραγωγή και την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για την Αθήνα. Η πρώτη καλωδίωση αφορούσε την περιοχή μεταξύ της πλατείας Ομονοίας και των οδών Πανεπιστημίου, Ερμού και Αθηνάς.

Στα επόμενα χρόνια και μέχρι την δεκαετία του '50 είχαν δημιουργηθεί περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν ο γαιάνθρακας και το πετρέλαιο που εισάγονταν από το εξωτερικό. [1]

Αυτή η κατάτμηση της παραγωγής σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα διαμόρφωνε την τιμή του παρεχόμενου ηλεκτρικού ρεύματος σε τιμές έως και πενταπλάσιες από αυτές που ίσχυαν στις ευρωπαϊκές χώρες εκείνη την εποχή. Το ηλεκτρικό ρεύμα ήταν αγαθό πολυτελείας το οποίο παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν ένα σύνηθες φαινόμενο.[2]

## 1.1 Ίδρυση της ΔΕΗ

Όταν ιδρύθηκε η ΔΕΗ υπήρχαν 385 εταιρείες από τις οποίες οι 263 ιδιωτικές με απλή άδεια, οι 54 ιδιωτικές με προνομιακή άδεια και 58 δημοτικές ή κοινοτικές. Υπήρχαν και 10 ιδιωτικές χωρίς άδεια. Κατά τη διάρκεια της γερμανικής κατοχής και μετά την απελευθέρωση εκπονήθηκαν μελέτες για την αξιοποίηση των πλουτοπαραγωγικών πηγών της χώρας την κατασκευή υδροηλεκτρικών και θερμοηλεκτρικών εργοστασίων, την ενοποίηση του δικτύου και τον καθορισμό ενιαίας τιμής κατανάλωσης. Όλα αυτά προϋπέθεταν ένα μόνο διαχειριστή. Η σύσταση της ΔΕΗ τον Αύγουστο του 1950 εθνικοποίησε την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρήθηκε πλέον υπηρεσία κοινής ωφέλειας. Η ΔΕΗ είχε το αποκλειστικό προνόμιο της κατασκευής, λειτουργίας και εκμετάλλευσής υδροηλεκτρικών και θερμικών εργοστασίων, της χρήσης κατά προτίμηση εθνικών καυσίμων και την υποχρέωση κατασκευής εθνικού δικτύου μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Είχε επίσης το μονοπώλιο διάθεσης και πώλησης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Έπρεπε να έχει οικονομική αυτάρκεια, να παρέχει στη φθηνότερη δυνατή τιμή το ρεύμα στους αγροτικούς και αστικούς πληθυσμούς και να μην κάνει διακρίσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών πληθυσμών τόσο στη διανομή όσο και στην

τιμολογιακή πολιτική της. Με τη λήξη των συμβάσεων ανάμεσα στο Ελληνικό Δημόσιο και στις ιδιωτικές εταιρείες, το προνόμιο της ΔΕΗ επεκτεινόταν και στις περιοχές των εταιρειών αυτών. Το αρχικό κεφάλαιο της ΔΕΗ σχηματίστηκε από τα κεφάλαια σε συνάλλαγμα, δραχμές, μηχανήματα, υλικά και υπηρεσίες που παρέχονταν από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα ανόρθωσης της αμερικανικής βοήθειας, από τις ιταλικές επανορθώσεις και από κεφάλαια του κρατικού προϋπολογισμού. Όταν ιδρύθηκε η ΔΕΗ το 1950, η κατανάλωση ανά κάτοικο ήταν 88 kWh το χρόνο, ενώ πέντε χρόνια αργότερα έφτασε τις 150 kWh. Αντίστοιχα, το 1950 ο ηλεκτροδοτούμενος πληθυσμός της χώρας ήταν 55% του συνόλου, ενώ το 1955 έφτασε το 59,1 %.

Η χάραξη και η εφαρμογή της ενιαίας αυτής ενεργειακής πολιτικής έκανε το ηλεκτρικό ρεύμα από αγαθό πολυτελείας, κτήμα κάθε Έλληνα πολίτη σε προσιτή τιμή και το εξάπλωσε με επάρκεια και αξιοπιστία σε όλη την Ελληνική επικράτεια.

## 1.2 Μορφές ενέργειας

Βασικός παράγοντας στον καθημερινό τρόπο σύγχρονης ζωής είναι η ενέργεια και το πώς αυτή καταναλώνεται. Έχει καταστεί πλέον ως δείκτης του επιπέδου ζωής των σύγχρονων κοινωνιών, οι ποσότητες ενέργειας που καταναλώνεται. Όσο πιο σύγχρονη και πιο ανεπτυγμένη είναι μια κοινωνία, τόσο πιο ενεργοβόρα είναι.

Οι μορφές ενέργειας που απαντώνται αυτούσιες στην φύση ονομάζονται «πρωτογενείς» και είναι δυνατόν να καλύψουν άμεσα ορισμένες ανάγκες, αλλά και να χρησιμοποιηθούν ως πρωτεύουσες δυνάμεις για την παραγωγή άλλων μορφών ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη άλλων αναγκών. Οι ενέργειες αυτές που προκύπτουν από τις πρωτογενείς μορφές ενέργειας, ονομάζονται «παράγωγες» ενέργειες.

Οι παράγωγες μορφές ενέργειας αποθηκεύονται δύσκολα και γι' αυτό καταναλώνονται την στιγμή της παραγωγής τους.

Στις συνήθεις πρωτογενείς μορφές ενέργειας συναντούμε :

- Ηλιακή ακτινοβολία
- Αέρια ρεύματα,
- Υδάτινα ρεύματα
- Γεωθερμία και
- Αποθέματα καυσίμων (άνθρακες, υγρά καύσιμα, φυσικό αέριο κλπ)

Για να έχει χρησιμότητα μια πηγή ενέργειας είναι απαραίτητες ορισμένες προϋποθέσεις :

- Να υπάρχει σε αφθονία
- Να έχουμε εύκολη πρόσβαση σε αυτήν



- Να μετατρέπεται εύκολα στην επιθυμητή μορφή για να μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε σύμφωνα με τις ανάγκες μας.
- Να μεταφέρεται εύκολα και
- Να αποθηκεύεται εύκολα.

Οι πηγές ενέργειας κατηγοριοποιούνται στις ανανεώσιμες πηγές και στις μη ανανεώσιμες πηγές.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χαρακτηρίζονται οι πηγές που μπορούν να μας παρέχουν ενέργεια σε βάθος χρόνου και ανανεώνεται η αποθηκευμένη τους ενέργεια σε μικρό χρονικό διάστημα έτσι ώστε να είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμες.

Αυτές είναι :

- Η ηλιακή ενέργεια
- Η αιολική ενέργεια
- Οι υδατοπτώσεις
- Η ενέργεια των θαλασσίων κυμάτων
- Η ενέργεια των ωκεάνιων ρευμάτων
- Η γεωθερμία και
- Η ενέργεια από την βιομάζα.

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αν και περιορισμένη σε παγκόσμια κλίμακα, έχει ως στόχο την προστασία του περιβάλλοντος από ρύπους που μπορούν να αποφευχθούν.

Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χαρακτηρίζονται οι πηγές αυτές που δεν είναι δυνατόν να ανανεώσουν την αποθηκευμένη τους ενέργεια σε ένα εύλογο για τον άνθρωπο χρονικό διάστημα. Ο σχηματισμός τους διήρκεσε εκατομμύρια χρόνια. Οι πηγές αυτές είναι :

- Τα στερεά καύσιμα των γαιανθράκων, όπως ο λιγνίτης, ο ανθρακίτης και η τύρφη.
- Τα υγρά καύσιμα που παίρνουμε μετά από κατάλληλη επεξεργασία, όπως το μαζούτ, η κηροζίνη, το πετρέλαιο, η βενζίνη κλπ.
- Τα αέρια καύσιμα όπως το φυσικό αέριο, το φωταέριο, το υγραέριο κλπ
- Η πυρηνική ενέργεια που παίρνουμε από την σχάση ραδιενεργών υλικών.

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αυτές που χρησιμοποιούνται κυρίως σε παγκόσμια κλίμακα κι έχουν οδηγήσει σε ενεργειακές κρίσεις με οικονομικές επιπτώσεις στις σύγχρονες κοινωνίες αλλά και στην δημιουργία αρκετών προβλημάτων με κύριο άξονα την ρυπογόνο επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

### **1.3 Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.**

Με βάση τις απαιτήσεις του νόμου 3523 του 1956 η ΔΕΗ κλήθηκε να αναλάβει και την ευθύνη των δικτύων διανομής για ολόκληρη την χώρα. Προκειμένου να ανταποκριθεί στις επιταγές του νόμου και στις υποχρεώσεις που δημιουργούσε, η ΔΕΗ ίδρυσε τότε δύο Υπηρεσίες που ονομάστηκαν «Διεύθυνση Εκμεταλλεύσεως Διανομής» και «Διεύθυνση Μελετών και Κατασκευών Διανομής».

Για να μεταφέρουμε την ηλεκτρική ενέργεια από τους τόπους παραγωγής στους καταναλωτές, χρησιμοποιούμε τις Γραμμές Μεταφοράς (Γ.Μ.), το μήκος των οποίων φτάνει σε εκατοντάδες χιλιόμετρα. Οι γραμμές αυτές εκτός από την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι και ο κύριος σκοπός τους αποτελούν παράλληλα ένα πολύπλοκο βρογχοειδές δίκτυο μεταξύ των σταθμών παραγωγής και των καταναλωτών, η δομή του οποίου επιτρέπει την απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου σε περιπτώσεις μειωμένης ή και μηδενικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω βλαβών ή συντηρήσεων. Ο όρος «Γραμμές Μεταφοράς» αφορά τις γραμμές που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς (Υ/Σ) σε υψηλή τάση (Υ/Τ).

Οι γραμμές που τροφοδοτούν απευθείας τους καταναλωτές και ξεκινούν από τους Υ/Σ, αποτελούν τα Δίκτυα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

### **1.4 Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ)**

Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), σύμφωνα με τις προβλέψεις του Ν. 4001/2011 είναι επιφορτισμένος με τη λειτουργία, την εκμετάλλευση, τη συντήρηση και την ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ), ώστε να διασφαλίζεται αφενός μεν ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο επαρκή, ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο, αφετέρου δε η μακροχρόνια ικανότητα του Συστήματος να ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπό οικονομικά βιώσιμες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος.[3]

### **1.5 Η παραγωγή της Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι πρωτογενής. Είναι απαραίτητο να παραχθεί από άλλες πρωτογενείς μορφές ενέργειας, με την διαδικασία του μετασχηματισμού της πρωτογενούς μορφής. Η διαδικασία αυτή γίνεται με ένα σύνολο μηχανημάτων και διατάξεων που αποτελούν τις «μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας».

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως, σε περιοχές απομακρυσμένες από τα μεγάλα αστικά κέντρα. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που ανήκουν στην ΔΕΗ είναι κυρίως ατμοηλεκτρικά εργοστάσια με καύσιμο μέσο τον λιγνίτη, το αέριο και το πετρέλαιο. Τα τελευταία όμως χρόνια η ΔΕΗ δραστηριοποιείται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με 21 αιολικά πάρκα, 16 μικρούς υδροηλεκτρικούς και 7 φωτοβολταϊκούς σταθμούς εν λειτουργία, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 147,7 MW. Η ΔΕΗ Ανανεώσιμες έχει τοποθετηθεί από την αρχή δυναμικά στον ελληνικό χώρο των ΑΠΕ.



Εικόνα 1.1 Χάρτης Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

## 1.6 Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για να λυθεί το πρόβλημα της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, ο William Stanley κατασκεύασε το πρώτο επαγωγικό πηνίο, που αποτέλεσε τον προάγγελο του

σύγχρονου (ηλεκτρικού) μετασχηματιστή καθώς και το πρώτο πλήρες σύστημα υψηλής τάσης μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο αποτελείται από γεννήτριες, μετασχηματιστές και υψηλής τάσης γραμμές μεταφοράς, που αποτέλεσε τη βάση της σύγχρονης διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα. Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε οικιακούς καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

Έχουμε δύο τύπους δικτύου, ανάλογα με την τάση της ηλεκτρικής ισχύος που διακινεί, το δίκτυο Μεταφοράς και το Δίκτυο Διανομής.

Το δίκτυο Μεταφοράς, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς. Η μεταφορά γίνεται σε Υψηλή Τάση (Υ.Τ.), μέσω του δικτύου υψηλής τάσης (150kV) και υπερυψηλής (400kV), για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος, όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες. Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380V) αλλά φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία, τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση, δηλαδή στα 20kV του δικτύου. Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού. Από αυτά τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, αρχίζουν οι γραμμές διανομής, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι καταναλωτές.

Το Δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.

Το Δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220/380V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.[4]

## 2 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) είναι το σύνολο του εξοπλισμού μιας εγκατάστασης που σκοπό έχει την παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας στις εξυπηρετούμενες καταναλώσεις.

Η ηλεκτρική ενέργεια από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωσή της, βρίσκεται σε συνεχή ροή κι αυτό επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε ευρεία κλίμακα ώστε να καλύπτει μεγάλες καταναλώσεις. Ο ετεροχρονισμός των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια επιτρέπει ταυτόχρονα την παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στα εργοστάσια παραγωγής και η μεταφορά της στις περιοχές κατανάλωσης γίνεται μέσω των δικτύων μεταφοράς τα οποία διαιρούνται σε γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης των 150kV και 66kV και γραμμές μεταφοράς υπερυψηλής τάσης των 400kV. Η ηλεκτρική ενέργεια αρχικά μεταφέρεται στα Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ) όπου μετασχηματίζεται από τα 400kV στα 150kV και μεταφέρεται στους Υποσταθμούς (Υ/Σ) των 150kV/20kV μέσω των αντίστοιχων γραμμών μεταφοράς. Από τους Υ/Σ η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στους καταναλωτές μέσω των δικτύων διανομής Μέσης Τάσης (Μ/Τ) των 20kV και Χαμηλής Τάσης (Χ/Τ) των 380/220V.

Τα ΣΗΕ διαφέρουν σε μέγεθος μεταξύ τους γιατί εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες, έχουν όμως κοινά χαρακτηριστικά. Το ρεύμα είναι τριφασικό συμμετρικό, με ίσα μεγέθη των τριών φάσεων και γωνιακή απόκλιση  $120^\circ$  μεταξύ των φάσεων, σταθερής συχνότητας (50Hz), σταθερής ονομαστικής τάσης λειτουργίας και συνεχούς ροής.

Ο ετεροχρονισμός των αναγκών των καταναλωτών δημιουργούν απαιτήσεις που τα ΣΗΕ οφείλουν να καλύπτουν εξασφαλίζοντας σε κάθε περίπτωση ομαλή και αποδοτική λειτουργία.

Θα πρέπει να παρέχουν σταθερή συχνότητα και τάση, και αξιόπιστη ροή τροφοδοσίας, πληρώνοντας τους οικονομικούς και περιβαλλοντολογικούς επιχειρησιακούς στόχους.

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αναλόγως της εκτάσεως που καλύπτουν διακρίνονται σε «Εθνικά ΣΗΕ», «Περιφερειακά ΣΗΕ» και «Ιδιωτικά ΣΗΕ». Τα Εθνικά ΣΗΕ καλύπτουν το σύνολο των αναγκών μιας χώρας. Τα Περιφερειακά ΣΗΕ καλύπτουν τις ανάγκες μιας ευρύτερης περιοχής πχ Στερεά Ελλάδα. Τα Ιδιωτικά ΣΗΕ καλύπτουν τις ανάγκες μιας βιομηχανίας πχ «Αλουμίνιον της Ελλάδος ΑΕΒΕ».

Αναλόγως των αναγκών που οφείλουν να καλυφθούν από ένα ΣΗΕ, αυτά κατηγοριοποιούνται σε «Συστήματα Παραγωγής», «Συστήματα Διασύνδεσης και Μεταφοράς», και «Συστήματα Διανομής».[5]

## **2.1 Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.**

Το Σύστημα Παραγωγής, περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στους οποίους παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα και τους υποσταθμούς ανύψωσης της τάσης.

Οι σταθμοί παραγωγής βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές από τα μεγάλα αστικά κέντρα. Η επιλογή του τόπου κατασκευής του κάθε σταθμού παραγωγής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ο κύριος παράγοντας της επιλογής του τόπου κατασκευής είναι η άμεση τροφοδοσία του σταθμού παραγωγής με την πρωτογενή πηγή που θα εκμεταλλευτεί ο σταθμός παραγωγής για να την μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια. Άλλοι παράγοντες είναι :

- Η ύπαρξη κατάλληλου αποθηκευτικού χώρου για την αποθήκευση αρκετής ποσότητας καυσίμου. Ο αποθηκευτικός χώρος θα πρέπει να είναι διαρρυθμισμένος με τρόπο τέτοιο που να μην δημιουργούνται κίνδυνοι αυτανάφλεξης του καυσίμου και να μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του εργοστασίου για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Η ύπαρξη της αναγκαίας ποσότητας νερού και οι απαραίτητες δαπάνες για την άντληση ή την μεταφορά του και τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για την επεξεργασία του. Το νερό χρησιμοποιείται για την λειτουργία του λέβητα, του ατμοστροβίλου με την μορφή του ατμού, και για την ψύξη των ψυγείων των μηχανών παραγωγής. Η ποιότητα του νερού έχει αυστηρά κριτήρια που αφορούν την περιεκτικότητα τους σε άλατα, τα οποία προκαλούν βλάβες στις σωληνώσεις.
- Η ύπαρξη αρκετού χώρου για μελλοντικές επεκτάσεις, έτσι ώστε με την επέκταση να αποφευχθεί η δημιουργία νέου σταθμού παραγωγής σε περίπτωση που αυξηθούν πολύ οι ανάγκες των καταναλωτών.
- Η αποφυγή ενόχλησης των κατοίκων των κοντινών περιοχών από θορύβους, ρύπους κλπ.

Αναλόγως της προς εκμετάλλευσης πρωτογενούς πηγής, οι σταθμοί παραγωγής κατηγοριοποιούνται σε :

- Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Ορυκτών καυσίμων (λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο).
- Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Πυρηνικής ενέργειας.
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

- Αιολικά πάρκα.
- Ηλιακές εγκαταστάσεις.

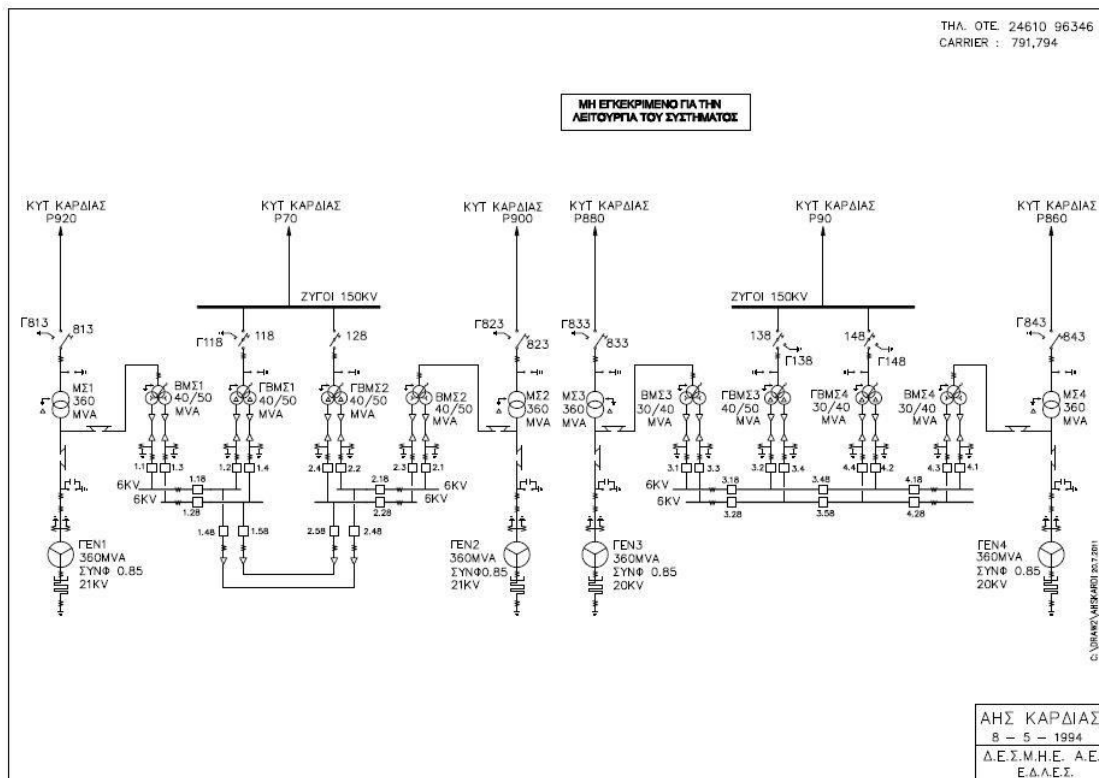
Στην πρώτη κατηγορία, η καύση των ορυκτών καυσίμων παράγει ικανή ποσότητα θερμότητας για την μετατροπή του νερού σε ατμό. Ο ατμός αυτός περιστρέφει τον στρόβιλο της γεννήτριας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σταθμοί αυτοί ονομάζονται θερμοηλεκτρικοί (ΘΗΣ) λόγω της εκμετάλλευσης της θερμότητας για την μετατροπή του νερού σε ατμό, αλλά και ατμοηλεκτρικοί (ΑΗΣ) λόγω του μέσου εξαναγκασμού περιστροφής της γεννήτριας (ατμός).

Στην δεύτερη κατηγορία, οι πυρηνικοί σταθμοί χρησιμοποιούν ως μέσο παραγωγής θερμότητας την σχάση του ουρανίου. Από την διαδικασία αυτή εκλύονται τεράστια ποσά θερμότητας, για να μετατραπεί το νερό σε ατμό. Με την δύναμη του ατμού ο στρόβιλος της γεννήτριας περιστρέφεται και μ' αυτόν τον τρόπο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια.

Στην τρίτη κατηγορία, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του νερού για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ελεγχόμενη υδατόπτωση περιστρέφει τον υδροστρόβιλο της γεννήτριας. Οι ΥΗΣ ανήκουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) επειδή οι ταμιευτήρες ύδατος τους, ανανεώνονται από τις βροχοπτώσεις.

Στην τέταρτη κατηγορία, τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από μερικές δεκάδες ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα των 2 ή 3 πτερυγίων έκαστη. Ο προσπιπτόμενος αέρας στα πτερύγια των ανεμογεννητριών στρέφει τον προσαρτημένο σε αυτά δρομέα που είναι το κινητό μέρος της γεννήτριας παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό μετατρέπεται η μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Στην πέμπτη κατηγορία, οι ηλιακές εγκαταστάσεις αποτελούνται από φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα Φ/Β συστήματα αποτελούνται από ένα πλήθος Φ/Β κυψελών μαζί με τις απαραίτητες συσκευές, διατάξεις, συνδέσεις και συσκευές μετατροπής της παραγόμενης μορφής ηλεκτρικής ενέργειας (συνεχής) σε εναλλασσόμενη. Οι συσκευές αυτές είναι οι αντιστροφείς (inverters) και μπορεί σε κάθε Φ/Β σύστημα να είναι ένας οι περισσότεροι.



Σχήμα 2.1 Μονογραμμικό διάγραμμα του ΑΗΣ Καρδιάς.

## 2.2 Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς.

Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς, περιλαμβάνει τους Υ/Σ ανυψώσεως της παραγόμενης τάσης, τα δίκτυα Μεταφοράς των 400kV και 150kV, τα κέντρα υπερυψηλής τάσης (ΚΥΤ), τους Υ/Σ υποβιβασμού της τάσης, όπου η τάση μετασχηματίζεται από 150kV σε 20kV.

Το Δίκτυο της Διανομής, περιλαμβάνει τις γραμμές της μέσης τάσης 20kV και χαμηλής τάσης 380/220V και τους Υ/Σ υποβιβασμού της τάσης όπου η τάση μετασχηματίζεται από 20kV σε 380/220V.

Το Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, είναι ένα πολύπλοκο βρογχοειδές σύστημα δομημένο με τρόπο τέτοιο ώστε να δίνονται οι μέγιστοι δυνατοί συνδυασμοί διαδρομών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας ούτως ώστε να μπορεί να καλυφθεί γρήγορά και με ασφάλεια κάθε ανάγκη του συνολικού δικτύου χωρίς διακοπές στην τροφοδότηση των καταναλωτών, που μπορεί να προκύψουν είτε από βλάβη είτε από προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης ή αναβάθμισης του εξοπλισμού (Μ/Σ ισχύος, διακόπτες, δίκτυα κ.α) που το αποτελούν.



### 3 Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ).



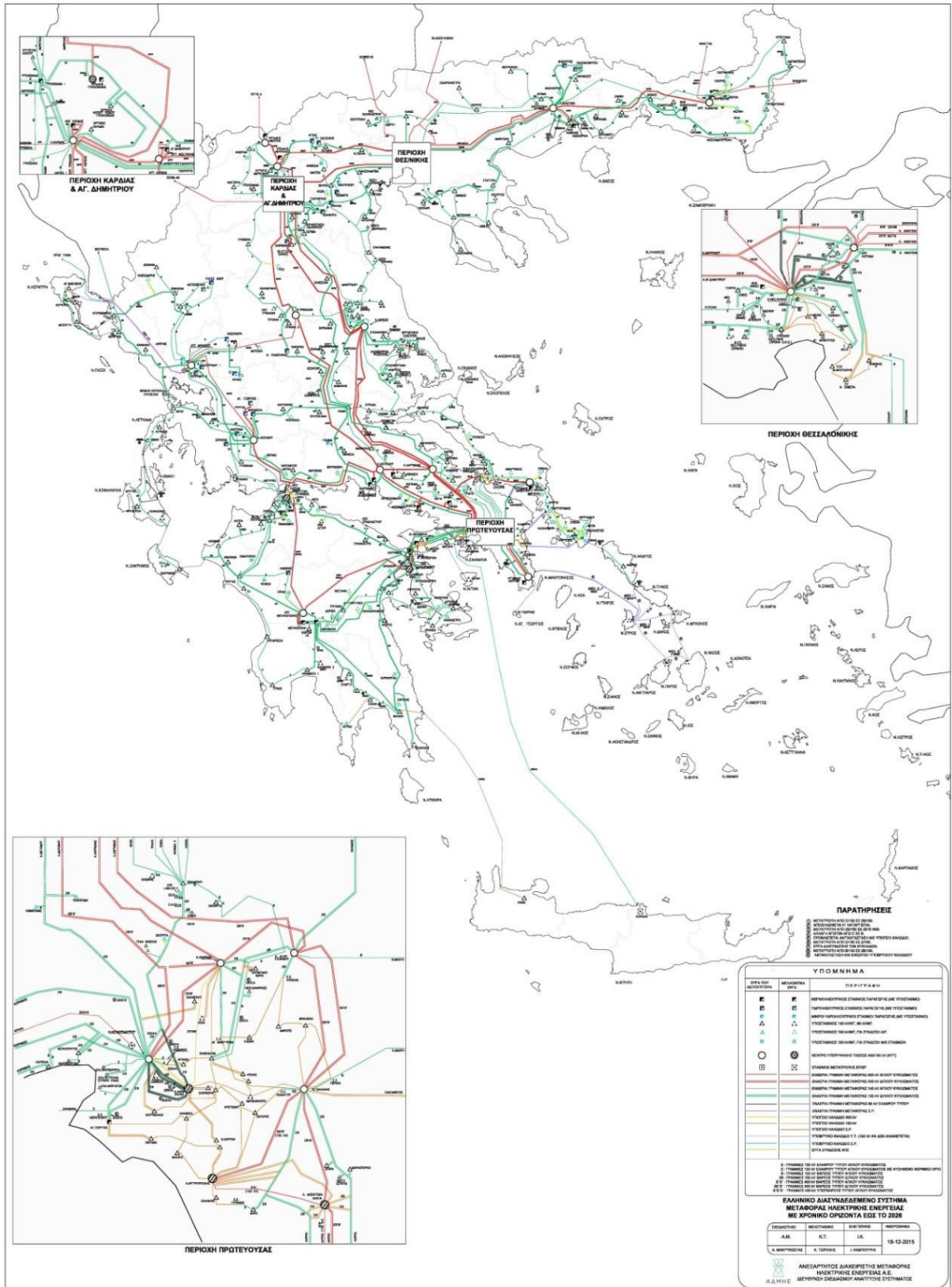
Εικόνα 3.1 Το Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 3.1 Περιγραφή του υφιστάμενου Συστήματος

Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται από :

- Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας και των διασυνδεδεμένων νήσων με αυτό με γραμμές υψηλής (150kV και 66kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV) .
- Το δίκτυο υπογείων καλωδίων (Υ/Γ) υψηλής τάσης (Υ/Τ). Το δίκτυο αυτό είναι ακτινικό και εξυπηρετεί τις ανάγκες της περιοχής της πρωτεύουσας. Το δίκτυο Υ/Τ της πρωτεύουσας, έχει σημαντική επίπτωση στην λειτουργία του Συστήματος.

Η μεγάλη γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής (Βορράς) και φορτίων (Νότος) δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα ιδιαίτερα στους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτά τα προβλήματα ουσιαστικά δεν υφίστανται πλέον εξ αιτίας των ενισχύσεων του Συστήματος που έχουν γίνει την δεκαετία 2007 – 2016, της ένταξης νέων μονάδων παραγωγής στο Νότιο Σύστημα, της αθρόας ένταξης πυκνωτών αντιστάθμισης, της μείωσης των φορτίων και της αύξησης παραγωγής από μονάδες φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών. Στην εικόνα 3.2 που ακολουθεί φαίνεται η ηλεκτρική διασύνδεση των σταθμών Παραγωγής και του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.



Εικόνα 3.2 Ο χάρτης απεικόνισης ηλεκτρικής διασύνδεσης των Σταθμών Παραγωγής και του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.

### 3.1.1 Υποσταθμοί

Υποσταθμός (Υ/Σ) είναι η ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία γίνεται μετασχηματισμός της τάσης, η κατανομή ή η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούν τους κόμβους του δικτύου και κατηγοριοποιούνται αναλόγως των σκοπών που επιτελούν.

Έως τον Σεπτέμβριο του 2015 στο Σύστημα ήταν συνδεδεμένοι :

202 Υ/Σ υποβιβασμού 150/MT, που εξυπηρετούν τις ανάγκες των πελατών του Δικτύου Διανομής. Στους Υ/Σ αυτούς συμπεριλαμβάνονται :

- 21 Υ/Σ στους οποίους είναι επίσης συνδεδεμένοι και Μ/Σ ανυψώσεως (16 συμβατικών σταθμών παραγωγής και 5 σταθμών ΑΠΕ), καθώς και 14 Υ/Σ συνδεδεμένοι στην πλευρά 150kV των ΚΥΤ.
- 14 εξυπηρετούν τις ανάγκες του Δικτύου Διανομής στην Αττική.
- 16 Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/MT εκ των οποίων οι 4 Υ/Σ τροφοδοτούν φορτία των Ορυχείων. Ο Υ/Σ Πτολεμαΐδας Ι, συμπεριλαμβάνεται στους προαναφερόμενους 188 και εξυπηρετεί ανάγκες Ορυχείων καθώς επίσης, και ανάγκες Διανομής.

Ο Υ/Σ Αντλιοστάσιο Πολυφύτου, εξυπηρετεί τις ανάγκες άντλησης του ΥΗΣ Πολυφύτου.

Στους προαναφερόμενους Υ/Σ συμπεριλαμβάνονται Υ/Σ υποβιβασμού 150kV/MT που εξυπηρετούν φορτία των σταθμών παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ, 9 Υ/Σ ΘΗΣ και 2 Υ/Σ ΥΗΣ οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε Υ/Σ και ΚΥΤ πλησίον των αντίστοιχων σταθμών παραγωγής.

- 48 Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος μονάδων ΑΠΕ, εκ των οποίων οι Υ/Σ Καρύστου, Λιβαδίου, Αργυρού Σκάλας και Πύλου, εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία Διανομής. Συμπεριλαμβάνονται στους παραπάνω 205 Υ/Σ υποβιβασμού.
- Υ/Σ ανυψώσεως MT/150kV σε σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ
- 7 Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί
- 16 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί
- 3 μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί
- 3 Υ/Σ ανυψώσεως σε συμβατικούς (ΘΗΣ και μεγάλους ΥΗΣ) σταθμούς παραγωγής ανεξάρτητων παραγωγών. Οι μονάδες παραγωγής των εν λόγω σταθμών συνδέονται στα 150kV μέσω Μ/Σ ανυψώσεως MT/150kV.
- 38 Υ/Σ υποβιβασμού 150KV/MT που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις πελατών Υ/Τ, συμπεριλαμβανομένου και των Υ/Σ της Αλουμίνιον ΑΕ και ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ οι οποίοι εξυπηρετούν παράλληλα και τη σύνδεση των σταθμών παραγωγής. Ο Υ/Σ Αλουμινίου συμπεριλαμβάνεται στους προαναφερόμενους 3 Υ/Σ ανυψώσεως των συμβατικών



σταθμών παραγωγής, και ο Υ/Σ ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ συμπεριλαμβάνεται στους Υ/Σ ΑΠΕ.[3]

## **3.2 Είδη και περιγραφή Υ/Σ**

Οι υποσταθμοί διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

- Αναλόγως της τάσης τροφοδοσίας τους, στους υποσταθμούς διανομής και στους υποσταθμούς μεταφοράς.
- Αναλόγως της κατασκευής τους, σε υπαίθριους και σε εσωτερικού χώρου.
- Αναλόγως του μετασχηματισμού της τάσεως που γίνεται, σε ανυψώσεως και σε υποβιβασμού.

### **3.2.1 Οι Υ/Σ διανομής.**

Οι Υ/Σ διανομής υποβιβάζουν την μέση τάση των 15 ή 20kV στην τάση καταναλώσεως των 380/220V.

Αναλόγως του τρόπου κατασκευής τους διακρίνονται σε επίγειους, υπόγειους και εναέριους.

### **3.2.2 Οι Υ/Σ μεταφοράς.**

Οι Υ/Σ μεταφοράς αναλόγως του τρόπου μετασχηματισμού της τάσης διακρίνονται σε Υ/Σ ανυψώσεως και σε Υ/Σ υποβιβασμού και ως προς την λειτουργία σε Υ/Σ ζεύξης.

### **3.2.3 Οι Υ/Σ ανυψώσεως**

Οι Υ/Σ ανυψώσεως βρίσκονται κοντά στους σταθμούς παραγωγής, τροφοδοτούνται από τις γεννήτριες των σταθμών παραγωγής και μετασχηματίζουν την τάση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (15kV ή 20kV) στην τάση μεταφοράς (150kV ή 400kV).

Μεταξύ του σταθμού παραγωγής και του Υ/Σ ανυψώσεως υπάρχει ο Υ/Σ εσωτερικής υπηρεσίας, οι εγκαταστάσεις του οποίου εξασφαλίζουν τις ανάγκες του σταθμού παραγωγής με βοηθητικά κυκλώματα των 3kV, 6kV και 380/220V. Ο Υ/Σ τροφοδοτείται από την γεννήτρια του σταθμού παραγωγής και η σκοπιμότητα που εξυπηρετεί είναι η συνεχής τροφοδότηση των βοηθητικών κυκλωμάτων του σταθμού παραγωγής και από τις γραμμές μεταφοράς μέσω Μ/Σ υποβιβασμού 150/15kV, σε περίπτωση βλάβης της γεννήτριας.

Τα κύρια μηχανήματα των Υ/Σ ανυψώσεως είναι:

- Οι Μ/Σ ανύψωσης της τάσης παραγωγής 15kV ή 20kV στην τάση μεταφοράς 150kV ή 400kV.
- Οι διακόπτες ισχύος και οι αποζεύκτες για την διακοπή της ηλεκτρικής συνέχειας της γραμμής μεταφοράς.

- Οι ζυγοί διακλάδωσης των γραμμών.

### **3.2.4 Οι Υ/Σ υποβιβασμού**

Αναλόγως του τρόπου κατασκευής τους οι διακρίνονται σε υπαίθριους και σε εγκιβωτισμένους (Gas Insulated Substations).

Οι Υ/Σ υποβιβασμού βρίσκονται κοντά σε μεγάλα κέντρα κατανάλωσης (μεγάλα αστικά κέντρα και βιομηχανικές περιοχές) και μετασχηματίζουν την μεταφερόμενη τάση των 150kV στην μέση τάση των 20kV. Το πλήθος των Υ/Σ υποβιβασμού καθορίζουν οι ανάγκες των καταναλωτών για ηλεκτρική ενέργεια και η εμβέλεια των γραμμών διανομής. Οι Υ/Σ υποβιβασμού σχεδιάζονται με οικονομοτεχνικά κριτήρια λαμβάνοντας υπόψη την ασφαλή λειτουργία και την καλαισθησία. Προτιμάται η κατασκευή να γίνεται εκτός των κατοικημένων περιοχών και η τροφοδότηση τους γίνεται με εναέρια δίκτυα (πχ Υ/Σ Κωπαΐδας).

### **3.2.5 Οι εγκιβωτισμένοι υποσταθμοί GIS (Gas Insulated Substations).**

Στις περιπτώσεις εκείνες που είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός Υ/Σ εντός κατοικημένης περιοχής, η επιλογή της κατασκευής προσανατολίζεται σε Υ/Σ κλειστού τύπου (GIS) όπου όλα τα μηχανήματα και ο εξοπλισμός του Υ/Σ είναι εντός κλειστού κτηρίου (πχ Υ/Σ Νέας Ελβετίας). Σε αυτές τις περιπτώσεις η τροφοδοσία των Υ/Σ αυτών γίνεται με υπόγεια καλώδια. Η εξοικονόμηση του χώρου, το χαμηλότερο κόστος κτίσεως του οικοπέδου και η μειωμένη έκθεση του εξοπλισμού σε περιβαλλοντικούς και βιομηχανικούς ρύπους είναι μερικά από τα οφέλη των GIS. Στους Υ/Σ αυτούς τα μέρη του υπό υψηλή τάση εξοπλισμού (αγωγοί τροφοδοσίας, Μ/Σ τάσεως, Μ/Σ εντάσεως, διακόπτες κλπ) βρίσκονται εγκιβωτισμένα μέσα σε μεταλλικά γειωμένα κιβώτια εντός των οποίων υπάρχει εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>) υπό πίεση. Το αέριο αυτό είναι μονωτικό και αποτρέπει την δημιουργία τόξων μεταξύ του εγκιβωτισμένου εξοπλισμού και του κιβωτίου εγκλεισμού.

Στα τελευταία χρόνια οι GIS Υ/Σ υπογειοποιούνται με αποτέλεσμα την καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου.

### **3.2.6 Οι Υ/Σ ζεύξης**

Οι Υ/Σ ζεύξης ενώνουν με υποβρύχια καλώδια το ηπειρωτικό μέρος του δικτύου με τα νησιά επεκτείνοντας το δίκτυο και δίνοντας μεγαλύτερη σταθερότητα και αυτονομία στους καταναλωτές της νησιωτικής χώρας (Υ/Σ Λαυρίου – Υ/Σ Σύρου) ή εξυπηρετούν διασύνδεση με όμορες χώρες μέσω του ηπειρωτικού τμήματος των χωρών (Αλβανία, Βουλγαρία κλπ) αλλά και με υποθαλάσσια σύνδεση (Ιταλία).



Πίνακας 3.1 Συνολικά μήκη Γ.Μ. του Συστήματος (Δεκέμβριος 2014)

Επίπεδο τάσης (kV)	Είδος Γ.Μ.	Συνολικό μήκος (χλμ)
66	Εναέριες	39
	Υποβρύχιες	15
150	Εναέριες	8149
	Υπόγειες	136
	Υποβρύχιες	143
400	Εναέριες	2647
	Υπόγειες	31
	Εναέριες Σ.Ρ.	107
	Υποβρύχιες Σ.Ρ.	160 <sup>1</sup>

### 3.5 Συσκευές Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος

Οι ανάγκες αντιστάθμισης της άεργου ισχύος, καλύπτονται με την εγκατάσταση στατών πυκνωτών και πηνίων. Η τοπική στήριξη των τάσεων στους Υ/Σ 150kV/MT, πραγματοποιείται με τοποθέτηση στατών πυκνωτών, κυρίως, στους ζυγούς MT των Υ/Σ, συνολικής ισχύος περίπου 4150MVA<sub>r</sub>. Επιπλέον, έχουν εγκατασταθεί :

- Συστοιχίες πυκνωτών 150kV, συνολικής ισχύος 450MVA<sub>r</sub>, σε Υ/Σ και KYT του Συστήματος.
- Συστήματα αυτόματης ένταξης/απένταξης πυκνωτών σε βαθμίδες (3x4 MVA<sub>r</sub>) σε Υ/Σ MT και YT.
- Πηνία στην πλευρά των 150kV σε Υ/Σ 150kV/MT στους οποίους συνδέονται υποβρύχια καλώδια, καθώς και στο τριτεύον τύλιγμα (πλευρά των 30kV) των AM/Σ των KYT, για την αντιμετώπιση προβλημάτων εμφάνισης υψηλών τάσεων κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου.

<sup>1</sup> Αφορούν το υποβρύχιο τμήμα διασύνδεσης Ελλάδα – Ιταλία.

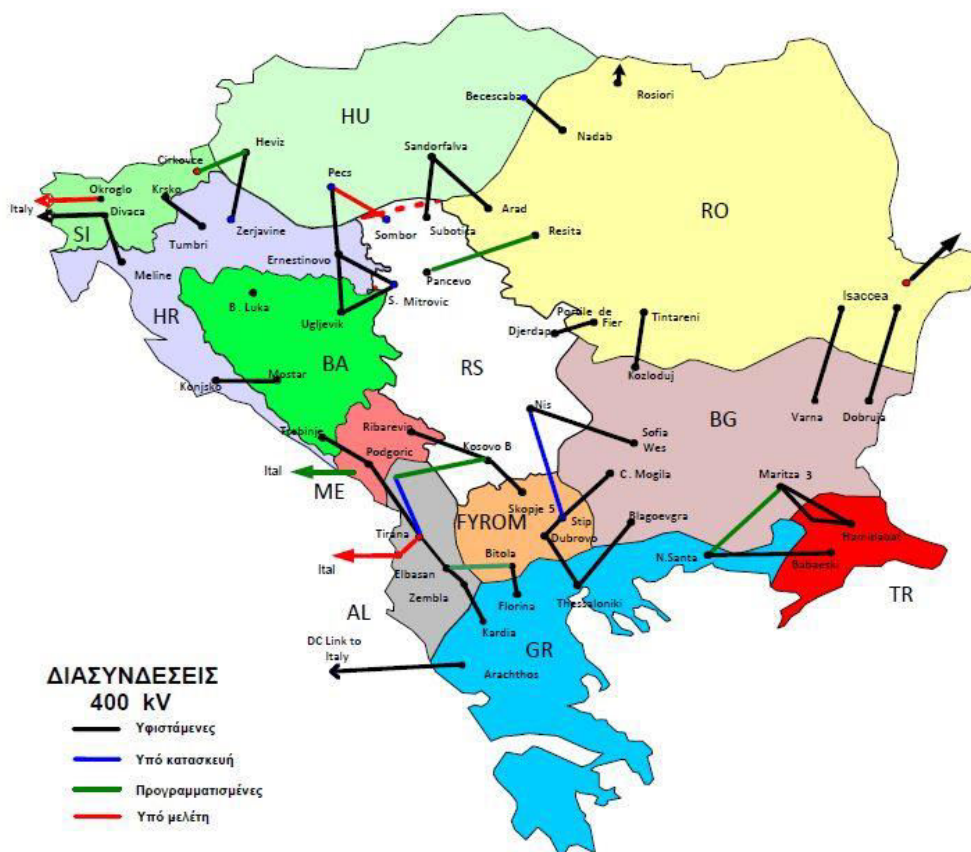


### 3.6 Διεθνείς Διασυνδέσεις

Το Ελληνικό Σύστημα επαναλειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το διασυνδεδεμένο Ευρωπαϊκό Σύστημα από τον Οκτώβριο του 2004 υπό τον συντονισμό του ENTSO-E , που αποτελεί διάδοχο και ευρύτερο σχήμα της UCTE σε ό,τι αφορά θέματα λειτουργίας και ανάπτυξης του Συστήματος, από τον Ιούνιο του 2009.

Η παράλληλη λειτουργία του Ελληνικού Συστήματος με το Ευρωπαϊκό Σύστημα, επιτυγχάνεται μέσω διασυνδεδειμένων Γραμμών Μεταφοράς, κυρίως των 400kV, με τα Συστήματα της Αλβανίας, της ΠΓΔΜ και της Βουλγαρίας. Το Ελληνικό σύστημα συνδέεται επίσης, ασύγχρονα με την Ιταλία, μέσω υποβρυχίου καλωδίου συνεχούς ρεύματος.

Τον Σεπτέμβριο του 2010 το Ελληνικό Σύστημα συνδέθηκε με το Σύστημα της Τουρκίας, το οποίο υπό την αιγίδα της ENTSO-E έχει επίσης συνδεθεί με το Σύστημα της Βουλγαρίας. Στην εικόνα 3.3 που ακολουθεί φαίνεται η τοπολογία των υφιστάμενων διασυνδέσεων και οι υπό ανάπτυξη διασυνδέσεις. Με διαφορετικούς χρωματισμούς καταγράφονται οι υφιστάμενες, οι υπό κατασκευή, οι υπό προγραμματισμό και οι υπό μελέτη διασυνδέσεις.



Εικόνα 3.3 Σχηματικό διάγραμμα των διασυνδεδεμένων Συστημάτων της Βαλκανικής

### **3.6.1 Ελλάδα – ΠΓΔΜ**

Με το εθνικό σύστημα της ΠΓΔΜ, το Ελληνικό Σύστημα συνδέεται μέσω :

- Μίας γραμμής των 400kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ του ΚΥΤ Θεσσαλονίκης και Dubrono στην ΠΓΔΜ και
- Μίας γραμμής των 400kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ του ΚΥΤ Μελίτης και Bitola στην ΠΓΔΜ.

### **3.6.2 Ελλάδα – Αλβανία**

Με το εθνικό Σύστημα της Αλβανίας, το Ελληνικό Σύστημα συνδέεται μέσω :

- Μίας γραμμής των 400kV απλού κυκλώματος με δίδυμο αγωγό, μεταξύ του ΚΥΤ Καρδιάς και Zemblak στην Αλβανία και
- Μίας γραμμής των 150kV ελαφρού τύπου, μεταξύ του Υ/Σ Μούρτου και ΥΗΣ Bistrica στην Αλβανία, ονομαστικής ικανότητας μεταφοράς περίπου 100 MW.

### **3.6.3 Ελλάδα – Βουλγαρία**

Με το εθνικό Σύστημα της Βουλγαρίας το Ελληνικό Σύστημα συνδέεται μέσω μιας γραμμής των 400kV, μεταξύ του ΚΥΤ Θεσσαλονίκης και του Blagoevgrad στην Βουλγαρία.

### **3.6.4 Ελλάδα – Ιταλία**

Η διασύνδεση Ελλάδας – Ιταλίας συνδέει το ΚΥΤ Αράχθου με τον Υ/Σ Galatina στην Ιταλία με σύνδεση συνεχούς ρεύματος και περιλαμβάνει :

- 2 σταθμούς μετατροπής ΥΤΣΡ (HVDC) 400kV ικανότητας 500MV,
- Τμήματα εναερίων γραμμών μεταφοράς DC μήκους 4km επί ιταλικού εδάφους,
- Τμήμα υπογείου καλωδίου DC μήκους 4km επί ιταλικού εδάφους,
- Ένα υποβρύχιο καλώδιο DC 400kV, ισχύος 500MV και μήκους 160km.

Το ΚΥΤ Αράχθου συνδέεται με το Ελληνικό Σύστημα μέσω δύο γραμμών μεταφοράς. Η μία γραμμή μεταφοράς μήκους 105km είναι των 400kV απλού κυκλώματος με τρίδυμο αγωγό και συνδέεται με το ΚΥΤ Τρικάλων. Η άλλη γραμμή συνδέει το ΚΥΤ Αχελώου, έχει μήκος 71,5km και είναι επίσης 400kV απλού κυκλώματος με τρίδυμο αγωγό.

### **3.6.5 Ελλάδα – Τουρκία**

Από το καλοκαίρι του 2008 έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή της γραμμής μεταφοράς των 400kV ΚΥΤ Φιλίππων – ΚΥΤ Νέας Σάντας – Babaeski (Τουρκία). Αυτή η γραμμή μεταφοράς είναι διπλού κυκλώματος στο τμήμα ΚΥΤ Φιλίππων – ΚΥΤ Νέας Σάντας και μονού κυκλώματος στο τμήμα ΚΥΤ Νέας Σάντας – Babaeski. Τον Σεπτέμβριο του 2010

πραγματοποιήθηκε έναρξη δοκιμαστικής σύγχρονη και παράλληλης λειτουργίας του Συστήματος της Τουρκίας με το σύγχρονο Ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο Σύστημα μέσω της γραμμής ΚΥΤ Νέας Σάντας – Babaeski, καθώς και δύο γραμμών μεταφοράς των 400kV από την Βουλγαρία.

### **3.7 Βασικά δεδομένα σχεδιασμού του Συστήματος**

#### **3.7.1 Φορτία**

«Σημαντικός στόχος του σχεδιασμού του ΕΣΜΗΕ είναι η ικανοποίηση κατά τρόπο ασφαλή, αξιόπιστο, οικονομικά αποδοτικό και περιβαλλοντικά αποδεκτό, των αναγκών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με εύλογες παραδοχές κατανομής της παραγωγής και των εισαγωγών για τις ώρες μεγίστων και για τις ώρες ελαχίστων των ηλεκτρικών φορτίων.»[3]

Κρίσιμος παράγοντας για τον σχεδιασμό ανάπτυξης του Συστήματος, πέραν της ανάπτυξης νέων σταθμών παραγωγής, είναι η προβλεπόμενη εξέλιξη των φορτίων και ιδιαίτερα των ακραίων τιμών τους.

Σημαντική επίδραση στην λειτουργία του Συστήματος είναι η στοχαστική παραγωγή των ΑΠΕ. Τα αιολικά πάρκα για τις ώρες των ελαχίστων φορτίων και τα φωτοβολταϊκά πάρκα, για τις μεσημβρινές ώρες που έχουμε μέγιστα φορτία κατά την εαρινή και θερινή περίοδο.

Για το σχεδιασμό του Συστήματος τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη προέρχονται από :

- Την εκτίμηση του ΑΔΜΗΕ για τη συνολική ζήτηση ισχύος και ενέργειας για το Σύστημα,
- Τις διαθέσιμες εκτιμήσεις του Διαχειριστή του Δικτύου σχετικά με την εξέλιξη των φορτίων Διανομής. Ο ΑΔΜΗΕ προσαρμόζει τα φορτία αυτά κατάλληλα, ώστε το συνολικό φορτίο να αντιστοιχεί στις προβλέψεις.
- Τις προβλέψεις των φορτίων των Ορυχείων.
- Τις προβλέψεις των φορτίων των Πελατών Υ.Τ..

#### **3.7.2 Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής**

Οι υφιστάμενες συμβατικές μονάδες παραγωγής και αυτές που είναι στο στάδιο κατασκευής, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 που ακολουθεί.

**Πίνακας 3.2 Υφιστάμενες Θερμικές Μονάδες Παραγωγής Συνδεδεμένες στο Σύστημα  
(Νοέμβριος 2015)**

ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΕΓΚΑΤ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
<b>Λιγνιτικές Μονάδες</b>				
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος I	300	274
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος II	300	274
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος III	310	283
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος IV	310	283
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	Άγ. Δημήτριος V	375	342
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αμυνταίου	Αμύνταιο I	300	273
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αμυνταίου	Αμύνταιο II	300	273
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά I	300	275
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά II	300	275
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά III	306	280
ΔΕΗ	ΑΗΣ Καρδιάς	Καρδιά IV	306	280
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α	Μεγαλόπολη III	300	255
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β	Μεγαλόπολη IV	300	256
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μελίτης	Μελίτη I	330	289
ΔΕΗ	ΑΗΣ Πτολεμαΐδας	Πτολεμαΐδα III	125	116
<b>Σύνολο ισχύος Λιγνιτικών Μονάδων:</b>			<b>4462</b>	<b>4028</b>
<b>Πετρελαϊκές Μονάδες</b>				
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αλιβερίου	Αλιβέρι III	150	144
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αλιβερίου	Αλιβέρι IV	150	144
ΔΕΗ	ΑΗΣ Λαυρίου	Λαύριο I	130	123
ΔΕΗ	ΑΗΣ Λαυρίου	Λαύριο II	300	287
<b>Σύνολο ισχύος Πετρελαϊκών Μονάδων:</b>			<b>730</b>	<b>698</b>
<b>Μονάδες Φυσικού Αερίου Συνδυασμένου Κύκλου (ΜΣΚ)</b>				
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αλιβερίου	Αλιβέρι V	426,9	417
ΔΕΗ	ΑΗΣ Κομοτηνής	ΜΣΚ Κομοτηνής	484,6	476,3
ΔΕΗ	ΑΗΣ Λαυρίου	Λαύριο IV («Μεγάλη ΜΣΚ»)	560	550,2
ΔΕΗ	ΑΗΣ Λαυρίου	Λαύριο V («Νέα ΜΣΚ»)	385,2	377,6
ΔΕΗ	ΑΗΣ Μεγαλόπολης	Μεγαλόπολη V	832	811
ELPEDISON ENERΓΕΙΑΚΗ	ΘΗΣ ΕΝΘΕΣ	ΜΣΚ ΕΝΘΕΣ	408,4	400,3
ΗΡΩΝ Π ΘΗΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ	ΘΗΣ ΗΡΩΝ Π	ΜΣΚ ΗΡΩΝ Π	432	422,1
ΚΟΡΙΝΘΟΣ POWER	ΘΗΣ Αγ. Θεοδώρων	ΜΣΚ Αγ. Θεοδώρων	436,6	433,5
ELPEDISON ENERΓΕΙΑΚΗ	ΘΗΣ Θίβης	ΜΣΚ Θίβης	421,6	410
PROTERGIA S.A.	ΘΗΣ Αγ. Νικολάου	ΜΣΚ Αγ. Νικολάου	444,5	432,7
<b>Σύνολο ισχύος Μονάδων ΦΑ Συνδυασμένου Κύκλου:</b>			<b>4831,8</b>	<b>4730,7</b>
<b>Μονάδες Φυσικού Αερίου Ανοικτού Κύκλου</b>				
ΔΕΗ	ΑΗΣ Αγ. Γεωργίου	Άγ. Γεώργιος VIII	160	151
ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	ΘΗΣ ΗΡΩΝ	3 μονάδες	148,5	147,8
<b>Σύνολο ισχύος Ατμοστροβιλικών Μονάδων ΦΑ:</b>			<b>308,5</b>	<b>298,8</b>
<b>Καταναμημένες Μονάδες ΣΗΘΥΑ</b>				
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ	ΘΗΣ Αλουμινίου	3 μονάδες	334	334
<b>Σύνολο ισχύος Καταναμημένων Μονάδων ΣΗΘΥΑ:</b>			<b>334</b>	<b>334</b>
<b>Σύνολο ισχύος Θερμοηλεκτρικών Σταθμών:</b>			<b>10666,3</b>	<b>10089,5</b>

### **3.7.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Μονάδες Συμπαραγωγής Υψηλής Απόδοσης.**

Η διείσδυση μονάδων ΑΠΕ στο Σύστημα, εκτός της ενίσχυσης των δικτύων Μεταφοράς, απαιτεί δράσεις σε λειτουργικό επίπεδο ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής και αξιόπιστη λειτουργία του Συστήματος.

Τα Αιολικά Πάρκα (Α/Π) λόγω του μεγέθους της ισχύος τους, συνήθως συνδέονται στο Σύστημα μέσω Υ/Σ 150/20kV και σε πολλές περιπτώσεις επιλέγεται η κατασκευή των Υ/Σ σε γήπεδα που βρίσκονται πλησίον στην ζώνη όδευσης των Γραμμών Μεταφοράς Υ.Τ. μέσω των γραμμών Μέσης Τάσης (Μ.Τ.), λόγω αδυναμίας εκτέλεσης έργων Υ.Τ. στην περιοχή του Α/Π, αλλά και για λόγους ταχύτερης υλοποίησης των εργασιών σύνδεσης και μείωσης του κόστους. Ο Διαχειριστής Δικτύου συνδέει Α/Π και λοιπά ΑΠΕ μικρής ισχύος (κάτω των 8MW) στην Μ.Τ., τα οποία αποτελούν τη «Διανεμημένη Παραγωγή». Μικροί ΥΗΣ των οποίων η ονομαστική ισχύς δεν υπερβαίνει συνήθως τα 5MW, συνδέονται κατά κανόνα στο δίκτυο διανομής Μ.Τ..

Οι Σταθμοί συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) που εμπίπτουν στην κατηγορία του άρθρου 9 του Ν.3468/2006, οι αντίστοιχες ΑΠΕ και οι σταθμοί βιομάζας – βιοαερίου, κατά κανόνα είναι μικρής ισχύος και συνδέονται στο Δίκτυο διανομής.[3]

## 4 Εποπτικός έλεγχος και τηλεμετρία.

### 4.1 Εισαγωγή

Στις επιστήμες της πληροφορικής η επικύρωση δεδομένων είναι ένας συνήθης όρος που χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση ότι ένα πρόγραμμα ή εφαρμογή λειτουργεί σωστά και αξιόπιστα. Συνήθως για την επικύρωση των δεδομένων χρησιμοποιούνται ορισμένες ρουτίνες ή μέθοδοι που εξασφαλίζουν την ορθότητα του σήματος εισόδου. Σε σωστά ή μη έγκυρα δεδομένα μπορεί να γίνει εξωγενής αντικατάσταση ή μηδενισμός τιμών, έτσι ώστε να χαρακτηριστούν ως ύποπτα.

Σε συστήματα ισχύος η επικύρωση των δεδομένων μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα αυτοματισμού και η επικύρωση των δεδομένων δεν είναι σαφής. Χαρακτηριστικό της διαδικασίας είναι η αντιμετώπιση των διαφορών που υπάρχουν στα δυναμικά συστήματα. Έτσι, για την επικύρωση των δεδομένων, πρέπει να κατασκευαστεί το σύστημα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να διαχωρίσει τις αλλαγές μεταξύ φυσιολογικής και σφαλματώδους καταστάσεως.

Το κεφάλαιο αυτό αποτελείται από τέσσερα μέρη. Το πρώτο μέρος αντιπροσωπεύει κάποιες τυπικές απαιτήσεις για το εποπτικό σύστημα ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA) και κάποια τυπικά προβλήματα που υπάρχουν. Το δεύτερο μέρος ασχολείται με τα σήματα δεδομένων και επικοινωνιών. Το τμήμα αυτό παρουσιάζει σήματα δεδομένων και κάποιες μεθόδους επικοινωνίας, αλλά και το πώς τα δεδομένα συνήθως επικυρώνονται στα πρωτόκολλα. Το τρίτο μέρος χειρίζεται έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED) σε γενικές γραμμές και εξετάζει κάποιες δυνατότητες. Το πώς αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επικύρωση δεδομένων, στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και στην απόκτηση δεδομένων. Εξετάζεται επίσης το πώς να οικοδομήσουμε ένα αξιόπιστο σύστημα παρακολούθησης. Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι ρουτίνες επικύρωσης δεδομένων που εφαρμόζονται σε MicroSCADA.

Ο όρος SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας. Το χαρακτηριστικό των συστημάτων SCADA είναι ότι αποτελούνται από τοπικούς ελεγκτές, που ελέγχουν επί μέρους στοιχεία και μονάδες μιας εγκατάστασης, συνδεδεμένους σε ένα κεντρικό Master Station (Κύριο Σταθμό Εργασίας). Ο κεντρικός σταθμός εργασίας μπορεί κατόπιν να επικοινωνεί τα δεδομένα που συλλέγει από την εγκατάσταση σε ένα πλήθος από σταθμούς εργασίας σε τοπικό LAN ή και να μεταδίδει τα δεδομένα της εγκατάστασης σε μακρινά

σημεία μέσω κάποιου συστήματος τηλεπικοινωνίας, πχ μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου ή μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου.

Επίσης είναι δυνατό ο κάθε ένας τοπικός ελεγκτής να βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία και να μεταδίδει τα δεδομένα προς το master station μέσω απλού καλωδίου ή μέσω ασύρματου πομποδέκτη, πάντα με σύνολο από τοπικούς ελεγκτές συνδεδεμένους σε τοπολογία αστέρα προς ένα master station.

## 4.2 Τι είναι το SCADA

Το SCADA είναι ένα σύστημα ελέγχου – εποπτείας και μεταφοράς δεδομένων λειτουργίας από απόσταση. Είναι ένα βιομηχανικό σύστημα μέτρησης και έλεγχου που αποτελείται:

- Από έναν κεντρικό διακομιστή ή έναν κύριο σταθμό
- Μια κύρια τελική μονάδα ή MTU
- Ένα ή περισσότερα στοιχεία συλλογής τομέων
- Μονάδες ελέγχου ή remotes (συνήθως αποκαλούμενοι ως σταθμοί απομακρυσμένης λειτουργίας, ή RTU)
- Μια συλλογή του λογισμικού προτύπων που χρησιμοποιείται στον έλεγχο για τον εντοπισμό και καταγραφή στοιχείων σε μακρινή απόσταση.

Τα σύγχρονα συστήματα SCADA αναλύουν τα κυρίως ανοιχτού βρόγχου (open-loop) χαρακτηριστικά ελέγχου. Χρησιμοποιούν κυρίως υπεραστικές επικοινωνίες και μερικά στοιχεία του συστήματος ελέγχου κλειστών βρόγχων ή/και των σύντομων επικοινωνιών απόστασης μπορούν να βρίσκονται στην τοποθεσία της εγκατάστασης.

Τα συστήματα SCADA καλύπτουν γενικά τις μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές, και στηρίζονται σε ποικίλα συστήματα επικοινωνιών που είναι κανονικά λιγότερο αξιόπιστα από το τοπικό LAN. Ο έλεγχος κλειστών βρόγχων σε αυτήν την κατάσταση είναι λιγότερο επιθυμητός.

Το κεντρικό σύστημα χρησιμοποιεί προσωπικούς ή mini υπολογιστές με στόχο τα παρακάτω:

- Συλλογή πληροφοριών όλων των σημείων της εγκατάστασης
- Απεικόνιση τους σε έγχρωμες οθόνες
- Εκτύπωση αναφορών
- Υλοποίηση τηλεχειρισμών και ρυθμίσεων PID
- Απεικόνιση και στατιστική επεξεργασία των πληροφοριών
- Ρύθμιση παραγωγής με χρήση Expert Systems

Το σύστημα περιλαμβάνει ένα περιβάλλον υψηλού επιπέδου για την επικοινωνία με τον χρήστη. Από το περιβάλλον αυτό ο χρήστης προγραμματίζει το σύνολο των λειτουργιών του συστήματος SCADA μέσω ενός PC, κατ' αντιστοιχία με τη γενικότερη φιλοσοφία προγραμματισμού ενός PLC, δηλαδή :

Δημιουργία Βάσης Δεδομένων με τα χαρακτηριστικά των σημάτων ως :

- Μονάδα μέτρησης και συντελεστές μετατροπής σε φυσικό μέγεθος
- Όρια αναγγελίας
- Συμβολικό όνομα
- Πηγή προέλευσης, αύξοντα αριθμό σταθμού, κάρτα και κανάλι μέτρησης.

Το σύστημα SCADA είναι κατάλληλο για έργα επιτήρησης δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, χαλυβουργική, αντλιοστασίων (ύδρευσης, άρδευσης, καυσίμων, κλπ), εγκαταστάσεων χημικής βιομηχανίας, ηλεκτρολογικού εξοπλισμού πλοίων, κτιρίων κλπ. Το μέγεθος τέτοιων εγκαταστάσεων κυμαίνεται από μερικές χιλιάδες έως αρκετές δεκάδες χιλιάδες που εισάγονται ως κανάλια εισόδου – εξόδου (I/O). Τα συστήματα SCADA εξελίσσονται γρήγορα και εισάγουν τώρα στην αγορά των εγκαταστάσεων διάφορα κανάλια I/O αρκετών εκατοντάδων Kilo (K) ξέρουμε επίσης για δύο περιπτώσεις που βρίσκονται σε ανάπτυξη με κανάλια I/O έως και ενός Mega (M). Παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας εικόνων για έγχρωμες οθόνες με την αναπαράσταση της εγκατάστασης και την ενημέρωση της εικόνας με τις τιμές σε πραγματικό χρόνο (δυναμικά πεδία).

Σε περίπτωση αναγγελίας σφάλματος τα δυναμικά πεδία αλλάζουν χρώμα και αναβοσβήνουν. Όταν ο χειριστής αναγνωρίσει το σφάλμα σταθεροποιούνται στο νέο χρώμα. Με την καταχώρηση των στοιχείων του χρήστη και την επεξεργασία τους, γίνεται η μεταφορά των δεδομένων στο περιβάλλον real – time. [8]

### **4.3 Ιστορία**

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



Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στους μηχανικούς, τους επόπτες, τους μανάτζερ και τους χειριστές να παρακολουθούν και να αλληλεπιδρούν με τις διεργασίες της παραγωγής μέσω των οθονών εποπτείας του SCADA. Επειδή το τελευταίο διαθέτει πιο εύχρηστο περιβάλλον και μεγαλύτερες υπολογιστικές δυνατότητες, μπορεί να χειριστεί εξαιρετικά πολύπλοκες λειτουργίες και υπολογισμούς, χωρίς κίνδυνο να επέμβει επισφαλώς στον πυρήνα του αυτόματου ελέγχου ο οποίος διεξάγεται από τα PLCs.[8]

Στις 20 του Σεπτεμβρίου 2000, η Επιτροπή χρηματοδότησης ενέκρινε την πρόταση να διαπραγματευτεί μια σύμβαση με την ETM A.G. (Eisenstadt, Αυστρία) για τον ανεφοδιασμό συστημάτων SCADA της ETM και την ανάπτυξη των συστημάτων ελέγχου των εταιριών ALICE, ATLAS, CMS και LHCb. Επιπλέον η ομάδα εργασίας SCADA, που οργανώθηκε από το Κέντρο ερευνών (CERN) ελέγχει τον πίνακα, συστήνει PVSS ως ένα από τα προϊόντα SCADA για την ανάπτυξη από τα μελλοντικών συστημάτων ελέγχου στο κέντρο (CERN). Ευρέως χρησιμοποιημένα στη βιομηχανία για τον εποπτικό έλεγχο και την απόκτηση στοιχείων των βιομηχανικών διαδικασιών, τα συστήματα SCADA πλέον ξεπερνούν τα πειραματικά εργαστήρια φυσικής για τους ελέγχους των βοηθητικών συστημάτων όπως η ψύξη, ο εξαερισμός, η διανομή δύναμης, κ.λπ. Πιο πρόσφατα υποβλήθηκαν αιτήσεις επίσης για τους ελέγχους των μικρότερων ανιχνευτών μεγέθους μορίων όπως ο L3 ανιχνευτής και το πείραμα NA48, για την ονομασία δύο παραδειγμάτων κατά (CERN).

Τα συστήματα SCADA έχουν σημειώσει ουσιαστική πρόοδο κατά τη διάρκεια των πρόσφατων ετών από άποψη της λειτουργίας, της εξελιξιμότητας, της απόδοσης και της ειλικρίνειας τους έτσι ώστε να είναι μια εναλλακτική λύση για την εξέλιξη στο σπίτι ακόμη και πολύ σύνθετων συστημάτων ελέγχου όπως εκείνων των πειραμάτων φυσικής.

#### **4.4 SCADA και DCS**

Γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει μια διαφοροποίηση του ελέγχου που διεξάγει το σύστημα SCADA και του αυτόματου ελέγχου διεργασιών και βρόχων που εκτελούν τα PLCs. Το σύστημα των τελευταίων ονομάζεται Σύστημα Διανεμημένου Ελέγχου (Distributed Control System – DCS). Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό το επίπεδο ελέγχου των SCADA παραθέτουμε στην επόμενη παράγραφο τη σύγκριση και τις διαφορές μεταξύ SCADA και DCS.

Το SCADA μπορεί να λειτουργεί σε ένα πιθανόν αργό και μη αξιόπιστο δίκτυο, και να διατηρεί μια βάση δεδομένων με παρελθούσες τιμές, τις οποίες μπορεί να προβάλλει κατ' απαίτηση του χειριστή. Επιπλέον μπορεί να χρειάζεται να αξιολογεί τα δεδομένα και να αποφασίζει αν η πληροφορία είναι χρήσιμη ή περιττή. Αντίθετα, το DCS σύστημα είναι

πάντα συνδεδεμένο στην πηγή πληροφοριών του, οπότε δεν χρειάζεται συνήθως παρελθόντα δεδομένα, ενώ η πληροφορία που λαμβάνει επεξεργάζεται πάντα και δε θεωρείται ποτέ περιττή.

Οι διαφορές αυτές οδηγούν σε διαφορετική σχεδιαστική φιλοσοφία των δύο συστημάτων. Τα SCADA απαιτούν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στο χειρισμό και την συλλογή των δεδομένων, ενώ τα DCS στις λειτουργίες ελέγχου διεργασιών και βρόχων. Μια ακόμα βασικότερη διαφορά στο επίπεδο ελέγχου που ασκείται από τα συστήματα των δύο τύπων, σχετίζεται με την αντιμετώπιση της πληροφορίας από τα εν λόγω συστήματα. Για να το θέσουμε πιο απλά, το SCADA είναι οδηγούμενο από γεγονότα, ενώ το DCS από καταστάσεις. Το DCS ενδιαφέρεται για την πρόοδο της διαδικασίας, ενώ το SCADA για τα γεγονότα που προκύπτουν από αυτήν.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα SCADA και DCS είναι διαφορετικά σχεδιασμένα και εφαρμόζονται κάτω από διαφορετικές απαιτήσεις, ενώ βέβαια πολύ συχνά απαιτείται ο συνδυασμός και η συνεργασία τους. Αυτό που πρέπει όμως να σημειωθεί είναι ότι το σύστημα SCADA δεν εκτελεί έλεγχο της προόδου της διεργασίας, αλλά καταγράφει και εποπτεύει τις καταστάσεις της, και τα γεγονότα που προκύπτουν από αυτές.[9]

#### **4.5 SCADA και HMI**

«Τα συστήματα HMI (Human-Machine Interface) αποτελούν το μέρος της λειτουργίας των SCADA που αλληλεπιδρά με τον τελικό χρήστη, δηλαδή των χειριστή του συστήματος. Συνήθως αποτελούνται από μια οπτική απεικόνιση της διεργασίας, πάνω στην οποία εμφανίζονται τιμές μεταβλητών, καταστάσεις ή και διαγράμματα. Ακόμη τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την κατ' απαίτηση εμφάνιση ιστορικών των μεταβλητών, ειδικών διαγραμμάτων κτλ. Οι πληροφορίες αυτές αντλούνται από τη βάση δεδομένων του συστήματος SCADA, γι' αυτό όπως είναι κατανοητό τα συστήματα SCADA και HMI είναι αλληλένδετα συνδεδεμένα μεταξύ τους και για το λόγο αυτό συχνά δεν διαχωρίζονται. Στην πραγματικότητα βέβαια οι περισσότεροι κατασκευαστές συστημάτων SCADA ενσωματώνουν την δυνατότητα ανάπτυξης HMI εφαρμογών στις υπηρεσίες ή τα πακέτα SCADA τους. Η ουσία είναι όμως ότι μια εφαρμογή HMI μπορεί να κατασκευαστεί ανεξάρτητα από τον πυρήνα καταγραφής ενός SCADA ώστε να αντλεί πληροφορίες από αυτό και να το χρησιμοποιεί για να διεξάγει τον απαραίτητο έλεγχο.»[8]

## 4.6 Βασικά χαρακτηριστικά των SCADA

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

- Εξωτερική πρόσβαση.

Η εξωτερική πρόσβαση παρέχει τη φυσική σύνδεση με το περιβάλλον. Μέσα διασύνδεσης συμπεριλαμβάνουν σειριακές επικοινωνίες (RS232, RS485), πρόσβαση με PC κάρτες (AB DH+, ARCNET, Modbus Plus) ή απευθείας αναλογική / ψηφιακή I/O (Input/Output - Είσοδο/Εξοδο). Πιο σύγχρονες συνδέσεις είναι τα fieldbuses, όπως τα DeviceNet, Profibus ή ακόμα τα δίκτυα Ethernet, ή ο Ενιαίος Σειριακός Δίαυλος (Universal Serial Bus – USB).

- Ενημέρωση για κρίσιμες τιμές μεταβλητών και συμβάντα.
- Καταγραφή και παρουσίαση δεδομένων.
- Αποστολή σημάτων ελέγχου στον απομακρυσμένο εξοπλισμό.
- Μηχανή υπολογισμών.

Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να υπολογίζει υπόλοιπα, μέσες τιμές, στατιστικά και ότι πληροφορίες μπορεί να πηγάζουν από τα δεδομένα που παρέχουν οι διεργασίες.

Δικτυακή πρόσβαση, δηλαδή δυνατότητα να γίνεται εποπτεία και έλεγχος από απομακρυσμένα σημεία.

- Πρόσβαση σε Βάσεις Δεδομένων.

Πολλά πακέτα SCADA προσφέρουν απευθείας καταχώρηση και ανάκτηση δεδομένων από κεντρικούς διακομιστές όπως Oracle, Sybase, Microsoft SQL Server και γενικά όλες τις συμβατές με ODBC ή ADO (ActiveX Data Objects) βάσεις δεδομένων

- Κατά περίπτωσην προγραμματισμός.

Τα διάφορα πακέτα επιτρέπουν διάφορα επίπεδα διαμόρφωσης κατά περίπτωσην. Μερικά προμηθεύουν βιβλιοθήκες C ή επιτρέπουν την προσθήκη modules, άλλα επιτρέπουν την εκτέλεση scripts σε VBA (Visual Basic for Applications) ή Java, ενώ άλλα επιτρέπουν στον χειριστή να θέτει triggers μέσω από το σύστημα SCADA που να καλούν και να εκτελούν άλλα προγράμματα.»[8]

## 4.7 Οφέλη και πλεονεκτήματα των συστημάτων SCADA

«Η λειτουργία κάθε βιομηχανικού οργανισμού χαρακτηρίζεται από ροή ενέργειας, ροή υλών και ροή πληροφορίας. Ο βασικός στόχος ελέγχου του οργανισμού είναι ο βέλτιστος χειρισμός με μηχανικά μέσα των ροών ενέργειας και υλών μέσω της παρακολούθησης της ροής πληροφορίας. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος απαιτείται συνήθως να γίνει ένας

συμβιβασμός μεταξύ κάποιων οικονομικών και ποιοτικών παραγόντων που θα οδηγεί σε κάποια άλλα οφέλη. Τα οφέλη που προκύπτουν από τον έλεγχο του βιομηχανικού οργανισμού στη γενικότερη μορφή του είναι:

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

Ειδικότερα τα συστήματα SCADA προσφέρουν:

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

Μερικά πρακτικά παραδείγματα του οφέλους των SCADA περιλαμβάνουν:

- Δυνατότητα στη διοίκηση και τους μηχανικούς να προβάλουν πληροφορίες στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή τους, είτε η πηγή των δεδομένων βρίσκεται κοντά τους είτε μίλια μακριά.
- Οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιούν οθόνες PCs που τρέχουν Microsoft Windows για να εποπτεύουν ή και να ελέγχουν τον εξοπλισμό, μέσω εύχρηστων GUIs (Graphical User Interfaces – Γραφικά Περιβάλλοντα Χρήσης).
- Οι ενημερώσεις κρίσιμων καταστάσεων (Alarms) μπορούν να γίνονται με ηχογραφημένα μηνύματα τα οποία μπορούν να εκπέμπονται αυτόματα μέσω τηλεφώνων, ασυρμάτων, δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών κτλ.

- Δυνατότητα για αποθήκευση και ανάκτηση «ιστορικών» δεδομένων για περαιτέρω συγκρίσεις, συμπεράσματα ή διάγνωση σφαλμάτων.
- Ρύθμιση του απομακρυσμένου εξοπλισμού από απόσταση.
- Επιτρέπει την χρήση φθηνών και εύχρηστων προσωπικών υπολογιστών ως τερματικές συσκευές. Οι υπολογιστές αυτοί είναι πιο εύκολο και οικονομικό να αναβαθμιστούν ή να υποστούν μετατροπές από ότι ο εξειδικευμένος εξοπλισμός.
- Επιτρέπει τη χρήση σύγχρονων και συνηθισμένων πρωτοκόλλων και υλικών δικτύων, που είναι επίσης εύκολο και οικονομικό να αναβαθμιστούν, να προσαρμοστούν ή να αντικατασταθούν. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αξιόπιστη δικτυακή επικοινωνία μεταξύ υλικού διαφορετικών κατασκευαστών.
- Τεχνική υποστήριξη και συντήρηση του συστήματος από τον προμηθευτή του.»[8]

#### 4.7.1 Εμπορικές εφαρμογές SCADA

«Οι τρόποι που οι κατασκευαστές προσεγγίζουν την υλοποίηση ενός SCADA δεν είναι πάντα ίδιοι. Μερικά συστήματα ενσωματώνουν π.χ. λειτουργίες DCS ή δυνατότητα για δημιουργία πολύπλοκων στατιστικών αναφορών. Τρεις από τους σημαντικότερους κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων είναι η Intellution, η Wonderware και η Rockwell. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι σε σχετική στατιστική έρευνα μεταξύ των αναγνωστών του περιοδικού Control Magazine ([www.controlmag.com](http://www.controlmag.com)) για το 2002, στην κατηγορία SCADA η Intellution συγκέντρωσε το 23% των προτιμήσεων, με την Wonderware να ακολουθεί με 14%, την Rockwell με 9%, την Honeywell με 8% και την OSI Software με 5%.

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

Ο iHistorian είναι μια εφαρμογή «plant – wide», όπως τον αποκαλεί η Intellution, δηλαδή που καλύπτει όλον τον οργανισμό, όχι τα επιμέρους διανεμημένα τμήματα ξεχωριστά. Προσφέρει καταγραφή και προβολή των δεδομένων και των γεγονότων σε σχεσιακές βάσεις δεδομένων, «ιστορική» και σε πραγματικό χρόνο προβολή των δεδομένων και παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσεις στατιστικές αναφορές. Ο iHistorian δεν προσφέρει ιδιότητες ελέγχου, καθώς αυτός αφήνεται εξολοκλήρου στο iFix.

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

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

Στα ίδια περίπου πλαίσια κινείται και η Wondareware, διαχωρίζοντας όμως ακόμη παραπάνω τη γραμμή μεταξύ εποπτείας και καταγραφής δεδομένων. Με άλλα λόγια η Wondareware προσφέρει ξεχωριστά το HMI προϊόν, της το οποίο αποκαλεί InTouch, ενώ ως ξεχωριστό πακέτο προσφέρει και την βιομηχανική βάση δεδομένων InSQL Server (Industrial SQL Server), ενημερώνοντας φυσικά ότι τα δύο αυτά προϊόντα συνεργάζονται μεταξύ τους για το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Ο InSQL δεν αποτελεί έναν απλό καταγραφέα, όπως ο iHistorian, αλλά μια πανίσχυρη πραγματικού χρόνου βάση δεδομένων, κατά τα πρότυπα του πολύ δημοφιλούς Microsoft SQL Server. Αυτό δίνει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στον InSQL Server, καθώς ο ίδιος προσφέρει μεγαλύτερη ευχρηστία και οικειότητα στους προγραμματιστές και τους τεχνικούς για ανάπτυξη εφαρμογών. Το InTouch με τη σειρά του παρέχει τις ίδιες βασικές λειτουργίες και δυνατότητες με το iFix, με τη σύγκριση των δύο να μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε πρακτικό επίπεδο.

Τέλος, η πολύ γνωστή στο χώρο των αυτοματισμών, Rockwell έχει διεισδύσει και στον χώρο των SCADA συστημάτων με ένα όμοιο με τα παραπάνω από πλευράς ιδιοτήτων πακέτο. Η λύση της Rockwell στον τομέα του HMI ονομάζεται RSView, ενώ κυκλοφορεί ξεχωριστά ο RSBizHistorian (καταγραφέας και αναλυτής δεδομένων) και μια σειρά άλλων εργαλείων, όπως το RSTrend (δημιουργία real-time ή ιστορικών γραφημάτων) και το RSMessenger (ειδοποίηση κρίσιμων γεγονότων-Alarms μέσω H/Y, τηλεφώνου, βομβητή, ηχοσυστήματος κτλ.)[8]

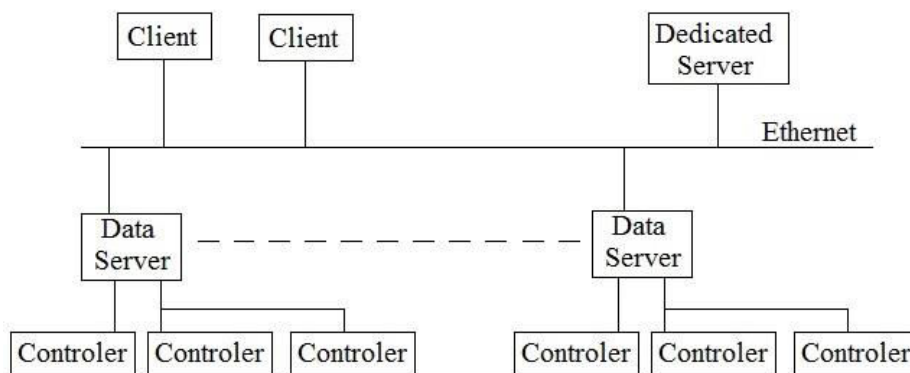
#### **4.8 Αρχιτεκτονική υλικού**

Εκτός από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου, από άποψη υλικοτεχνικής υποδομής, ένα σύστημα SCADA αποτελείται, και από μια συλλογή αισθητηρίων και διατάξεων μετατροπής, που είναι συνδεδεμένοι στις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units – RTUs). Οι RTUs είναι με τη σειρά τους επικοινωνούν με ένα κεντρικό υπολογιστή ή κεντρική τερματική μονάδα (Master Terminal Unit - MTU) στην οποία «τρέχει» ο βασικός

πυρήνας του συστήματος, το λογισμικό του συστήματος SCADA. Η σχέση μεταξύ MTU και RTUs είναι ανάλογη με τη σχέση master – slave.

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

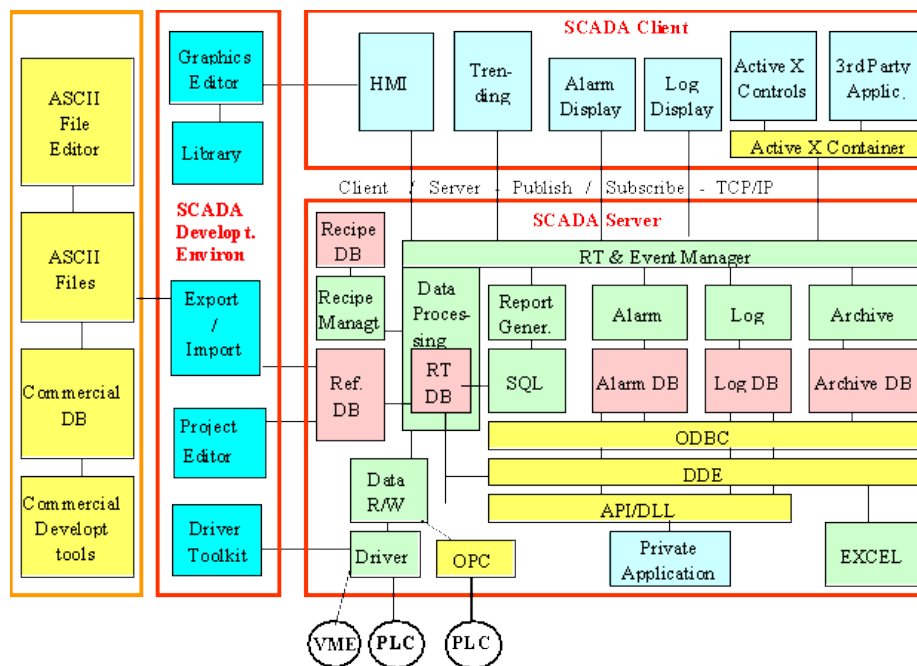
Ένα σύστημα SCADA διακρίνεται σε δύο βασικά στρώματα το «στρώμα πελατών» που φροντίζουν για την αλληλεπίδραση μηχανών ατόμων και το «στρώμα κεντρικών υπολογιστών στοιχείων» που χειρίζεται τα περισσότερα από τα στοιχεία διαδικασίας τα οποία ελέγχουν τις δραστηριότητες. Οι κεντρικοί υπολογιστές στοιχείων επικοινωνούν με τις συσκευές μέσω των ελεγκτών διαδικασίας. Οι ελεγκτές διαδικασίας, (π.χ. PLCs), συνδέονται με τους κεντρικούς υπολογιστές στοιχείων είτε άμεσα είτε μέσω των δικτύων είτε μέσω αρτηριών πεδίου (fieldbuses) που είναι ιδιόκτητες (π.χ. Siemens H1), ή μη ιδιόκτητες (π.χ. Profibus). Οι κεντρικοί υπολογιστές στοιχείων συνδέονται ο ένας με τον άλλον και με τους σταθμούς πελατών μέσω του τοπικού δικτύου LAN Ethernet. Οι κεντρικοί υπολογιστές στοιχείων και οι σταθμοί πελατών είναι πλατφόρμες NT αλλά για πολλά προϊόντα οι σταθμοί πελατών μπορούν επίσης να είναι W95 μηχανές. Το σχήμα 4.1 παρουσιάζει χαρακτηριστική αρχιτεκτονική υλικού.[10]



Σχήμα 4.1 Τυπική αρχιτεκτονική διασύνδεση υλικού (Hardware)

## 4.9 Αρχιτεκτονική λογισμικού

Τα προϊόντα είναι πολλαπλών καθηκόντων και είναι βασισμένα σε μια βάση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (RTDB) που βρίσκεται σε έναν ή περισσότερους κεντρικούς υπολογιστές. Οι κεντρικοί υπολογιστές είναι αρμόδιοι για τα στοιχεία (απόκτηση και χειρισμός τους) (π.χ. ελεγκτές, συναγερμοί που ελέγχουν, υπολογισμοί, αναγραφή και αρχειοθέτηση ψηφοφορίας) σε ένα σύνολο παραμέτρων.



Σχήμα 4.2 Η γενική αρχιτεκτονική δομή του λογισμικού SCADA.

Εντούτοις, είναι δυνατό να έχουν αφιερωθεί οι κεντρικοί υπολογιστές για τους ιδιαίτερους στόχους, π.χ. ιστορικός, datalogger, χειριστής συναγερμών. Το σχήμα 4.2 παρουσιάζει την γενική αρχιτεκτονική δομή του συστήματος SCADA.[10]

### 4.9.1 Επικοινωνίες. Εσωτερική επικοινωνία.

Η επικοινωνία υπολογιστή – πελατών και υπολογιστή – κεντρικών υπολογιστών βασίζεται σε μια σχέση έκδοσης-περιγραφής που χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο TCP/\*IP, δηλαδή, μια εφαρμογή πελατών επιβεβαιώνει μια παράμετρο που είναι κύρια, από μια ιδιαίτερη εφαρμογή κεντρικών υπολογιστών και αλλάζει μόνο σε εκείνη την παράμετρο με την οποία επικοινωνούν με την εφαρμογή πελατών.

Οι κεντρικοί υπολογιστές στοιχείων επιλέγουν τους ελεγκτές σε ένα χρησιμοποιούμενο μέσω ενός ποσοστού επιλογής. Το ποσοστό επιλογής μπορεί να είναι διαφορετικό για



διαφορετικές παραμέτρους. Οι ελεγκτές περνούν τις ζητούμενες παραμέτρους στους κεντρικούς υπολογιστές στοιχείων. Η χρονική επιλογή των παραμέτρων διαδικασίας εκτελείται χαρακτηριστικά στους ελεγκτές και αυτός ο χρόνος επιλογής (time-stamp) αναλαμβάνεται από τον κεντρικό υπολογιστή στοιχείων. Εάν ο ελεγκτής και το πρωτόκολλο επικοινωνίας χρησιμοποιήσουν την εκούσια μεταφορά στοιχείων έπειτα τα προϊόντα θα το υποστηρίξουν.

Τα προϊόντα παρέχουν τους οδηγούς επικοινωνίας για το μεγαλύτερο μέρος των PLCs και των ευρέως χρησιμοποιημένων αρτηριών πεδίου (fieldbuses), π.χ., Modbus. Από τα τρία fieldbuses που συστήνονται στο Κέντρο (CERN), το Profibus και το Worldfip υποστηρίζονται αλλά το CANbus συχνά όχι. Μερικοί από τους οδηγούς είναι βασισμένοι στα προϊόντα τρίτων (π.χ., κάρτες Applicom) και επομένως έχουν συμπληρωματικό κόστος. Ένας συνηθισμένος κεντρικός υπολογιστής στοιχείων μπορεί να υποστηρίξει τα πολλαπλά πρωτόκολλα επικοινωνιών. Μπορεί γενικά να υποστηρίξει τόσα πολλά πρωτόκολλα όσες είναι οι θέσεις για τις κάρτες διεπαφών.

Η προσπάθεια που απαιτείται για την ανάπτυξη νέων οδηγών είναι περίπου 2 – 6 εβδομάδες ανάλογα με την πολυπλοκότητα και την ομοιότητα με τους υπάρχοντες οδηγούς, επίσης ένα κουτί με εργαλεία ανάπτυξης οδηγών παρέχεται για αυτό.[9]

## **4.10 Διασύνδεση**

### **4.10.1 Διεπαφές εφαρμογής/επισκόπησης**

Η παροχή λειτουργίας πελατών OPC (Open Platform Communication) για SCADA για να έχει πρόσβαση στις συσκευές κατά τρόπο ανοικτό και τυποποιημένο αναπτύσσεται. Ακόμα φαίνεται να υπάρχει μια έλλειψη συσκευών/ελεγκτών, που παρέχουν το λογισμικό κεντρικών υπολογιστών OPC, αλλά αυτό βελτιώνεται γρήγορα δεδομένου ότι οι περισσότεροι από τους παραγωγούς των ελεγκτών περιλαμβάνονται ενεργά στην ανάπτυξη αυτών των προτύπων. Το OPC έχει αξιολογηθεί από το Κέντρο (CERN)-IT-CO.

Τα προϊόντα παρέχουν επίσης

- Μια ανοικτή διεπαφή συνδετικότητας βάσεων δεδομένων (ODBC) στα στοιχεία archive/logs, αλλά όχι στη βάση δεδομένων διαμόρφωσης,
- Μια δυνατότητα εισαγωγών/εξαγωγών ASCII για τα στοιχεία διαμόρφωσης,
- Μια βιβλιοθήκη APIs που υποστηρίζει την C, την C ++, και την visual basic (VB) στα στοιχεία πρόσβασης στο RTDB, archive/logs. Το API συχνά δεν παρέχει την

πρόσβαση στα εσωτερικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του προϊόντος όπως ο χειρισμός συναγερμών, η υποβολή έκθεσης, η τάση, κ.λπ....

Τα προϊόντα Η/Υ παρέχουν την υποστήριξη για τα πρότυπα της Microsoft όπως η δυναμική ανταλλαγή στοιχείων (DDE) που επιτρέπει π.χ. την δυναμική εποπτεία σε ένα φύλλο EXCEL, δυναμική σύνδεση βιβλιοθήκης (DLL) και αντικειμένου συνδέσεων και ενσωμάτωση (OLE).

#### **4.10.2 Βάση δεδομένων**

Τα στοιχεία διαμόρφωσης αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων που συγκεντρώνεται λογικά αλλά φυσικά διανέμεται και που είναι γενικά ενός ιδιόκτητου σχήματος. Για λόγους απόδοσης, το RTDB (Real – Time Database) κατοικεί στη μνήμη των κεντρικών υπολογιστών και είναι επίσης ιδιόκτητου σχήματος. Το σχήμα αρχείων και αναγραφών είναι συνήθως επίσης ιδιόκτητο για λόγους απόδοσης, αλλά μερικά προϊόντα υποστηρίζουν την αναγραφή σε ένα σύστημα διαχείρισης συγγενικών βάσεων δεδομένων (RDBMS) σε ένα πιο αργό ποσοστό είτε άμεσα είτε μέσω μιας διεπαφής ODBC (Open Database Connectivity).

#### **4.10.3 Εξελιξιμότητα**

Η εξελιξιμότητα γίνεται κατανοητή ως δυνατότητα να επεκταθεί το βασισμένο στο SCADA σύστημα ελέγχου με την προσθήκη περισσότερων μεταβλητών διαδικασίας ή πιο εξειδικευμένους κεντρικούς υπολογιστές (πχ για το συναγερμό που χειρίζεται) ή περισσότερους πελάτες. Τα προϊόντα επιτυγχάνουν την εξελιξιμότητα από τη σύνδεση των πολλαπλών κεντρικών υπολογιστών τους με τους αντίστοιχους πολλαπλούς ελεγκτές. Κάθε κεντρικός υπολογιστής στοιχείων έχει τη βάση δεδομένων διαμόρφωσης και RTDB του και είναι αρμόδιος για το χειρισμό ενός υποσυνόλου των μεταβλητών διαδικασίας (απόκτηση, χειρισμός συναγερμών, αρχειοθέτηση κτλ.).

#### **4.10.4 Πλεονασμός**

Τα προϊόντα συχνά έχουν ενσωματώσει τον πλεονασμό λογισμικού σε επίπεδο κεντρικών υπολογιστών, το οποίο είναι κανονικά διαφανές (transparent) στο χρήστη. Πολλά από τα προϊόντα παρέχουν επίσης τις πληρέστερες λύσεις πλεονασμού αν είναι απαραίτητο.

## **4.11 Λειτουργία**

### **4.11.1 Έλεγχος πρόσβασης**

Οι χρήστες διατίθενται στις ομάδες, οι οποίες έχουν καθορίσει τα ανάγνωσης- γραφής προνόμια πρόσβασης στις παραμέτρους διαδικασίας στο σύστημα και συχνά επίσης στη συγκεκριμένη λειτουργία προϊόντων.

### **4.11.2 MMI (Man – Machine Interface)**

Τα προϊόντα υποστηρίζουν τις πολλαπλές οθόνες, οι οποίες μπορούν να περιέχουν τους συνδυασμούς συνοπτικών διαγραμμάτων και κειμένου. Υποστηρίζουν επίσης την έννοια ενός «γενικού» γραφικού αντικείμενου με τις συνδέσεις για να επεξεργαστούν τις μεταβλητές. Αυτά τα αντικείμενα μπορούν με την διαδικασία (drag and drop) να επιλεγούν από μια βιβλιοθήκη και να περιληφθούν σε ένα συνοπτικό διάγραμμα.

Τα περισσότερα από τα προϊόντα SCADA που αξιολογήθηκαν αποσυνθέτουν τη διαδικασία στις «ατομικές» παραμέτρους (π.χ. ένα ρεύμα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, η μέγιστη αξία του, η κατάσταση on/off, κ.λπ.) στο οποίο ένα όνομα – ετικέτα συνδέεται. Τα Tag-Names που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τα γραφικά αντικείμενα με τις συσκευές μπορούν να εκδοθούν όπως απαιτείται. Τα προϊόντα περιλαμβάνουν μια βιβλιοθήκη κάποιων τυποποιημένων γραφικών συμβόλων, πολλά από τα οποία εντούτοις δεν θα ήταν εφαρμόσιμα στον τύπο εφαρμογών που αντιμετωπίζονται στην πειραματική κοινότητα φυσικής.

Οι στάνταρ δυνατότητες διαμόρφωσης των WINDOWS παρέχονται όπως: zooming, re-sizing, scrolling etc. Η On-line σύνδεση διαμόρφωση και η προσαρμογή του MMI είναι δυνατές για τους χρήστες με τα κατάλληλα προνόμια. Οι συνδέσεις μπορούν να δημιουργηθούν μεταξύ των σελίδων επίδειξης για να πλοηγήσουν από μια άποψη σε άλλη.[9]

### **4.11.3 Αυτοματοποίηση**

Η πλειοψηφία των προϊόντων επιτρέπει ενέργειες να προκληθούν αυτόματα από τα γεγονότα. Μια scripting γλώσσα που παρέχεται από τα προϊόντα SCADA επιτρέπει σε αυτές τις ενέργειες να καθοριστεί. Γενικά, κάποιος μπορεί να φορτώσει μια ιδιαίτερη επίδειξη, να στείλει με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, να τρέχει μια καθορισμένη εφαρμογή από το χρήστη ή ένα χειρόγραφο και να γράφει στο RTDB.

Η έννοια των συνταγών υποστηρίζεται, από μια ιδιαίτερη διαμόρφωση συστημάτων που μπορεί να σωθεί σε ένα αρχείο και να ξαναφορτωθεί έπειτα σε μια μεταγενέστερη ημερομηνία. Η αλληλουχία (sequencing) που υποστηρίζεται επίσης από το όνομα, δείχνει, ότι είναι δυνατό να εκτελεσθεί μια πιο σύνθετη ακολουθία ενεργειών σε μια ή περισσότερες

συσκευές. Οι ακολουθίες μπορούν επίσης να αντιδράσουν στα εξωτερικά γεγονότα. Μερικά από τα προϊόντα υποστηρίζουν ένα έμπειρο σύστημα αλλά κανένα δεν έχει την έννοια μιας (FSM) Finite State Machine.

#### **4.11.4 Εξέλιξη**

Οι προμηθευτές SCADA κυκλοφορούν μια σημαντική έκδοση και μια έως δύο πρόσθετες δευτερεύουσες εκδόσεις μία φορά το χρόνο. Αυτά τα προϊόντα εξελίσσονται έτσι πολύ γρήγορα ώστε να εκμεταλλευθούν τις νέες ευκαιρίες αγοράς, για να καλύψουν τις νέες απαιτήσεις των πελατών τους και για να εκμεταλλευθούν τις νέες τεχνολογίες.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα περισσότερα από τα προϊόντα SCADA που αξιολογήθηκαν αποσυνθέτουν τη διαδικασία στις «ατομικές» παραμέτρους στις οποίες ένα όνομα-ετικέτα (Tag-Name) συνδέεται. Αυτό είναι μη πρακτικό στην περίπτωση των πολύ μεγάλων διαδικασιών όταν πρέπει να διαμορφωθούν τα πολύ μεγάλα σύνολα ετικετών. Δεδομένου ότι οι βιομηχανικές εφαρμογές αυξάνονται στο μέγεθος, οι νέες εκδόσεις SCADA έχουν ως σκοπό τώρα να χειριστούν τις συσκευές ακόμη και τα ολόκληρα συστήματα ως πλήρεις οντότητες (κατηγορίες) που τοποθετούν όλες τις συγκεκριμένες ιδιότητες και τη λειτουργία σε συμπίκνωση (encapsulation) αυτών. Επιπλέον, θα υποστηρίξουν την ανάπτυξη πολλαπλών ομάδων.

Όσον αφορά στις νέες τεχνολογίες, τα προϊόντα SCADA υιοθετούν τώρα:

- Τεχνολογία Web, ActiveX, Java, κτλ.
- OPC ως μέσο για εσωτερική επικοινωνία μεταξύ του πελάτη και των ενοτήτων κεντρικών υπολογιστών. Πρέπει έτσι να είναι δυνατό να συνδεθούν οι υποχωρητικές ενότητες τρίτων OPC σε αυτό το προϊόν SCADA.

#### **4.12 Αναμενόμενα οφέλη από τη χρήση συστήματος SCADA**

Τα οφέλη που κάποιος μπορεί να αναμένει από την υιοθέτηση ενός συστήματος SCADA για τον έλεγχο των πειραματικών εγκαταστάσεων φυσικής μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Μια πλούσια λειτουργία και εκτενείς εγκαταστάσεις ανάπτυξης.
- Το ποσό συγκεκριμένης ανάπτυξης που πρέπει να εκτελεσθεί από τον τελικό χρήστη είναι περιορισμένο, ειδικά με την κατάλληλη εφαρμοσμένη μηχανική.
- Τεχνική υποστήριξη και συντήρηση από τον προμηθευτή.

### **4.13 Αξιοπιστία και ευρωστία**

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για τις κρίσιμες βιομηχανικές διαδικασίες αποστολής όπου η αξιοπιστία και η απόδοση είναι κυρίαρχες. Επιπλέον, η συγκεκριμένη ανάπτυξη εκτελείται μέσα σε ένα καθιερωμένο πλαίσιο που ενισχύει την αξιοπιστία και την ευρωστία.

Για τις μεγάλες συνεργασίες, όπως για το Κέντρο Πυρηνικών Μελετών και Ερευνών (CERN) LHC τα πειράματα, που χρησιμοποιούν ένα σύστημα SCADA για τους ελέγχους τους εξασφαλίζουν ένα κοινό πλαίσιο όχι μόνο για την ανάπτυξη των συγκεκριμένων εφαρμογών αλλά και για να ενεργοποιήσουν τους ανιχνευτές. Οι χειριστές δοκιμάζουν το ίδιο πράγμα «κοιτάζουν και αισθάνονται» (look and feel) οτιδήποτε μέρος του πειράματος ελέγχουν. Εντούτοις, αυτή η πτυχή εξαρτάται επίσης σε σημαντική έκταση από την κατάλληλη εφαρμοσμένη μηχανική.[9]

### **4.14 Ιστορικό.**

Αυτό το κεφάλαιο εισάγει σύντομα κάποιους όρους και τις έννοιες που σχετίζονται με τα δεδομένα επικύρωσης έτσι ώστε να είναι ευκολότερο να καταλάβουμε τι σημαίνει η επικύρωση δεδομένων και γιατί είναι σημαντικό.

#### **4.14.1 Γνώση, πληροφορίες και δεδομένα**

Γνώση ορίζεται από τον Αγγλικής Γλώσσας Λεξικό Collins Cobuild :

«Γνώση είναι πληροφορίες και κατανόηση για το θέμα το οποίο ένα άτομο έχει στο μυαλό του ή συμμερίζονται όλα τα ανθρώπινα όντα.»

(Collins Cobuild 1987, 803)

Με βάση αυτή τον ορισμό η γνώση μπορεί να θεωρηθεί ως αποτελούμενη από την πληροφορίες π.χ. τι μπορούμε να δούμε στην οθόνη του υπολογιστή.

Στο ίδιο λεξικό η πληροφορία αυτή ορίζεται ως εξής:

«Αν έχετε πληροφορίες για κάτι, ξέρετε κάτι γι' αυτό. »

(Collins Cobuild 1987, 748)

Με βάση αυτούς τους δύο ορισμούς των δεδομένων μπορεί να γίνει κατανοητό ότι ο ορισμός των δεδομένων είναι :

«Τα δεδομένα είναι πληροφορίες, συνήθως με τη μορφή των γεγονότων ή στατιστικές που μπορείτε να αναλύσετε, ή που χρησιμοποιείτε για να κάνετε περαιτέρω υπολογισμούς.»

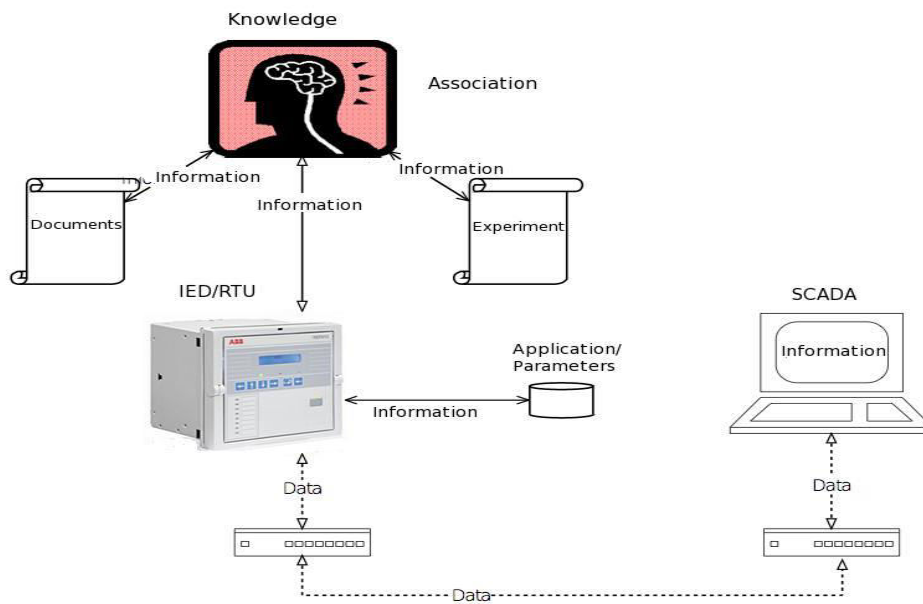
(Collins Cobuild 1987, 357)

Το συμπέρασμα είναι ότι τα δεδομένα δεν έχουν σχέση με τις πληροφορίες που τις περιβάλλουν. Η μεταφορά δεδομένων είναι απαραίτητη αν η πληροφορία αυτή θέλει να

μετακινείται από το ένα σημείο στο άλλο. Αν τα περιεχόμενα των δεδομένων ερμηνεύονται και κατανοούνται, μπορεί να ονομαστούν πληροφορίες. Η ερμηνεία μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους:

- Στο αντί τα ηχητικά κύματα ερμηνεύονται σε ηλεκτρικούς παλμούς και ο εγκέφαλος δημιουργεί πληροφορίες που βασίζονται σε αυτές τους ηλεκτρικούς παλμούς.
- Οι άνθρωποι έχουν συμφωνήσει ότι ορισμένοι ήχοι αποτελούνται από ορισμένες λέξεις και αυτές οι ορισμένες λέξεις διαβιβάζουν τις πληροφορίες.
- Πληροφορίες μεταξύ των ηλεκτρονικών συσκευών αποτελείται από bits, bytes και words.
- Σ' ένα σύστημα εκπομπής και λήψης, ο πομπός και ο δέκτης για να μπορεί να καταλάβει ο ένας τον άλλον, θα πρέπει η γλώσσα τους πρέπει να είναι η ίδια. Αυτή η κοινή γλώσσα ονομάζεται πρωτόκολλο. [11]

Το σχήμα 4.3 διευκρινίζει τους όρους που εξηγούνται ανωτέρω.



Σχήμα 4.3 Γνώση - Πληροφορίες - Δεδομένα.

Τα δεδομένα είναι συνήθως το αποτέλεσμα των διαφορετικών μετρήσεων και μπορεί να είναι η βάση για τα γραφήματα, εικόνες, ή παρατηρήσεις των μεταβλητών που δημιουργούν τελικά τις λειτουργικές εφαρμογές.

Στο σύστημα SCADA τα δεδομένα συλλέγονται από τα IEDs ή τα RTUs. Η εφαρμογή SCADA και τα IEDs δημιουργούν τις πληροφορίες στις οθόνες τους και ο χειριστής συνεργάζεται για την κατανόηση της κατάστασης της διαδικασίας.

#### **4.15 Επικύρωση**

Η ακόλουθη δήλωση διευκρινίζει την έννοια της επικύρωσης:

«Για να επικυρώσετε μια δήλωση ή ισχυρισμό σημαίνει ότι μπορείτε να αποδείξετε ή να επιβεβαιώσετε ότι είναι αληθής ή σωστή. Μια αρκετά επίσημη λέξη.»

(Collins Cobuild 1987, 1615)

Κατά συνέπεια, η επικύρωση είναι η διαδικασία του ελέγχου, η οποία ικανοποιεί ένα συγκεκριμένο κριτήριο.

Στη μηχανική ή το μέρος ενός συστήματος διαχείρισης της ποιότητας, η επικύρωση επιβεβαιώνει ότι οι ανάγκες ενός εξωτερικού πελάτη ή χρήστη ενός προϊόντος, υπηρεσίας, ή συστήματος πληρούνται. Η επικύρωση είναι η εξασφάλιση του «Φτιάχνω το σωστό προϊόν».

Στην ορολογία υπολογιστών, η επικύρωση αναφέρεται στη διαδικασία της επικύρωσης δεδομένων, την εξασφάλιση νομοθεσίας και της εποπτείας ότι τα δεδομένα που εισάγονται σε μια αίτηση πληρούν προκαθορισμένες απαιτήσεις, δηλαδή ανέφερε μήκος, προδιαγραφές, χαρακτηριστικά και άλλα καθορισμένα κριτήρια. Μπορεί επίσης να διασφαλίσει ότι μόνο τα δεδομένα που είναι είτε αληθής είτε πραγματικά μπορούν να εισαχθούν σε μια βάση δεδομένων. Η επικύρωση αναφέρεται στο να ανακαλύψει σφάλματα στο hardware, αλλά και αποδεικνύει την απουσία ορισμένων κρίσιμων σφαλμάτων που μπορεί να μην έχουν λύσεις και μπορεί να οδηγήσουν σε ακύρωση του έργου ή την ανάκληση του προϊόντος. Ο πίνακας 4.1 ορίζει κάποιες τυπικές ρουτίνες επικύρωσης που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη των υπολογιστών:

Πίνακας 4.1 Τυπικές ρουτίνες επικύρωσης σε υπολογιστές

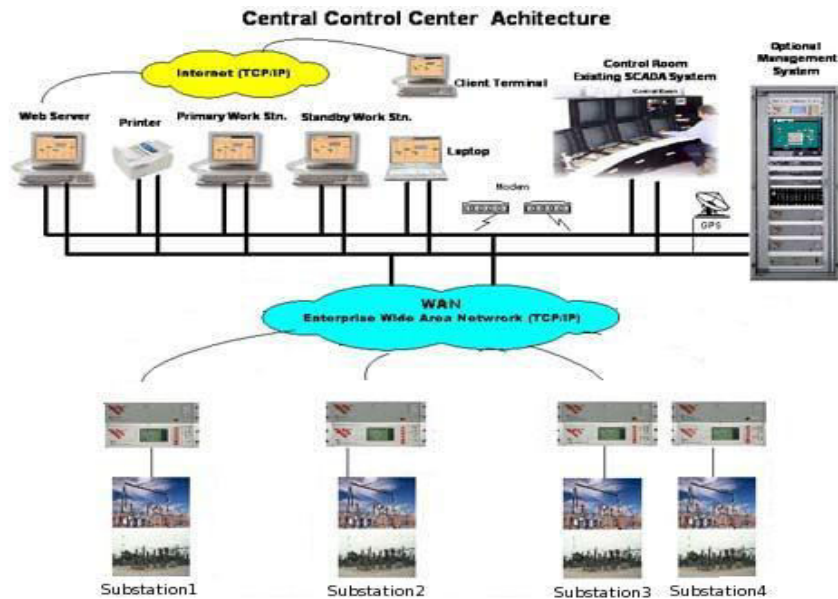
Μέθοδος	Περιγραφή
Έλεγχος εύρους	Η μέθοδος αυτή ελέγχει εάν τα δεδομένα βρίσκονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών.
Έλεγχος ύπαρξης	Η μέθοδος αυτή ελέγχει εάν σημαντικά δεδομένα βρίσκονται όντως εκεί και δεν λείπουν.
Έλεγχος τύπου	Η μέθοδος αυτή ελέγχει εάν τα δεδομένα είναι κατάλληλου τύπου.
Έλεγχος μήκους	Η μέθοδος αυτή ελέγχει ότι τα πεδία έχουν τον σωστό αριθμό χαρακτήρων.
Έλεγχος ψηφίων	Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για δεδομένα αριθμών.
Σύνολα παρτίδας	Η μέθοδος αυτή ελέγχει για χαμένες εγγραφές.
Κατακερματισμός συνόλου.	Είναι ένας έλεγχος συνόλου παρτίδας που γίνεται σ' ένα ασήμαντο πεδίο.

#### 4.16 Σύστημα SCADA

Το SCADA είναι μια συντομογραφία από τα λόγια (Supervisory Control And Data Acquisition) Εποπτικός Έλεγχος Και Απόκτηση Δεδομένων. Τα συστήματα SCADA αποτελούνται από δίκτυα, ηλεκτρονικές συσκευές, αισθητήρες μέτρησης, συσκευές κ.λπ. Η δομή του συστήματος δίνει τη δυνατότητα να ελέγχονται και να διαχειρίζονται οι διαδικασίες τοπικά ή απομακρυσμένα, να αναλύονται τα δεδομένα, να δημιουργούν συναγερμούς και να τις στέλνουν σε διαφορετικές θέσεις μεταγωγής κ.λπ. Ο όρος SCADA συχνά χρησιμοποιείται για να ορίσει το σύστημα που είναι γεωγραφικά διασκορπισμένο.

Ένα κληρονομικό σύστημα αποτελείται από μία κεντρική υποδοχή, μία ή περισσότερες μονάδες συλλογής δεδομένων και ελέγχου, επίσης γνωστή ως RTUs, και μια συλλογή των τυποποιημένων ή και εξατομικευμένου λογισμικού που χρησιμοποιείται για να παρακολουθεί και να ελέγχει από απόσταση τα στοιχεία δεδομένων πεδίου. Το σχήμα 4.4 δείχνει μια τυπική δομή των σύγχρονων SCADA για μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.[11]





Σχήμα 4.4 SCADA παράδειγμα συστήματος.

#### 4.17 Απαιτήσεις συστήματος SCADA

Οι μη φυσιολογικές ηλεκτρικές συνθήκες στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εντοπίζονται και αντιμετωπίζονται με ρελέ προστασίας. Η ικανότητα της σωστής αποκατάστασης του συστήματος τροφοδοσίας πίσω στην κανονική λειτουργία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό τόσο την διαμόρφωση των ρελέ αλλά και της κατανόησης της τοπολογίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι τελικοί χρήστες και οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανησυχούν όλο και περισσότερο για την ποιότητα και την αξιοπιστία του συστήματος ενέργειας και όλων των διαταραχών που μειώνουν τη συνολική ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Η αυτοματοποίηση έχει αντικαταστήσει ένα τοπικό προσωπικό συντήρησης στον υποσταθμό και έχει επίσης αυξήσει την αξιοπιστία της διανομής, αλλά δεν μπορεί να μην κάνει έλεγχο και πράξεις χωρίς δικαίωμα παραμετροποίησης και διαμόρφωσης των εφαρμογών και συσκευών. Για να χειριστούν αυτά τα πράγματα το προσωπικό συντήρησης στην αίθουσα ελέγχου πρέπει να εξακολουθεί να έχει μια καλή αντίληψη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Ως αποτέλεσμα των εξελίξεων της τεχνολογίας, νέες απαιτήσεις για την παρακολούθηση και τον έλεγχο μπορεί να προκύψουν. Οι αλλαγές του συστήματος θα πρέπει να παρακολουθούνται πολύ στενά, αξιόπιστα και με τα γεγονότα και τις συνέπειες που απαιτούνται για να αναλύσει αυτόματα, έτσι ώστε να δίνει τη δυνατότητα να αντιδράσει σε πιθανότητες σφάλματος του συστήματος γρήγορα. Αυτό δημιουργεί πίεση στις εφαρμογές και τους πωλητές της συσκευής. Σήμερα η κατάσταση του υποσταθμού είναι αρκετά δύσκολη

ειδικά για την ενσωμάτωση του συστήματος, λόγω του ευρέως φάσματος των διαφόρων συσκευών. Αυτό δημιουργεί ανάγκες για την ανάπτυξη των ελέγχων και των συστημάτων παρακολούθησης συνεχώς.

#### **4.18 Προκλήσεις**

Μια τοπολογία συστήματος ισχύος ορίζεται από την κατάσταση του διακόπτη. Η τοπολογία του συστήματος ενημερώνεται αυτόματα από τη λειτουργία των ηλεκτρονόμων προστασίας ή, σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται χειροκίνητα. Δεν έχει σημασία ποια είναι η σύμβαση, είναι πιθανό ότι τα τοπολογικά δεδομένα δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική κατάσταση μεταγωγής των συσκευών ισχύος στον τομέα. Εάν η τιμή μέτρησης είναι κακή θα μπορούσε να προκαλέσει αξιοσημείωτο σφάλμα σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Λάθος μέτρηση ενέργειας προκαλεί σφάλματα σε ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες εκθέσεις.

Οι φορείς μπορούν επίσης να έχουν δυσκολίες να πάρουν αποφάσεις για την αποκατάσταση τμημάτων του συστήματος ενέργειας που μπορεί να έχουν αποσυνδεθεί αυτόματα από τις έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED), ειδικά αν οι χειριστές δεν έχουν σαφή τρόπο για την επαλήθευση των όρων του συστήματος ή των συναφών τοπολογιών. Το πρόβλημα με το SCADA δεν είναι η έλλειψη των δεδομένων. Υπάρχουν περισσότερα διαθέσιμα δεδομένα από ότι χρησιμοποιούνται αλλά το πρόβλημα είναι πώς να τα χρησιμοποιήσουμε ορθολογικά.

Παλιά RTUs δεν είχαν σχεδιαστεί για να παρακολουθούν τις αναλογικές μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Η μόνη κατ' εξαίρεση αναφορά, γίνεται όταν υπάρχει υπέρβαση ορισμένων ορίων. Κατά τη διάρκεια ηλεκτρικών βλαβών στο δίκτυο π.χ. σφάλμα βραχυκυκλώματος, τα αναλογικά σήματα αλλάζουν πολύ γρήγορα, και μόνο μια πιο προσεκτική παρακολούθηση μπορεί να δώσει τις πληροφορίες σχετικά με τις σχέσεις φάσης και δυναμικές αλλαγές στα μεγέθη σήματος. Εάν τα σφάλματα απαιτούνται να ανιχνευτούν με RTUs πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι εξωτερικές συσκευές εγγραφής της διαταραχής. Εάν χρησιμοποιούνται νέες IEDs, δίνονται περισσότερες ευκαιρίες να αντιδράσουν στα λάθη και να πάρουν ισχυρές πληροφορίες.

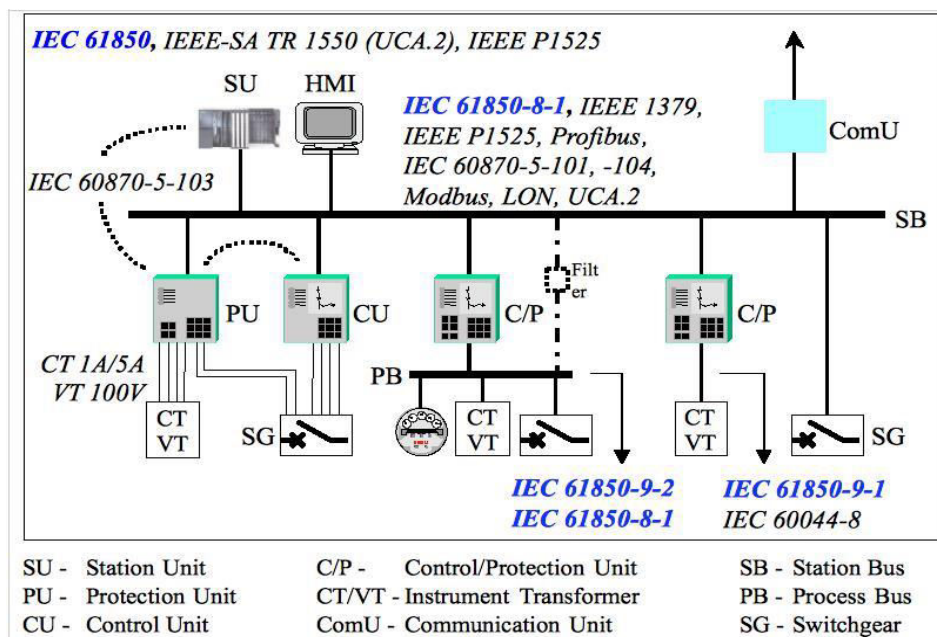
Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι και η ασυμβατότητα των προϊόντων και η μη-ύπαρξη του σχετικού προτύπου, που θα ενοποιήσει τις μορφές των δεδομένων που παράγονται από την ποικιλία των συσκευών. Οι πληροφορίες από τις συσκευές διαφέρουν μεταξύ των πρωτοκόλλων και για το λόγο αυτό δεν είναι απλό οι συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους. Στο μέλλον ένα νέο πρότυπο επικοινωνίας υποσταθμού το IEC 61850, μπορεί να διευκολύνει αυτό το πρόβλημα.[11]

## 5 Μεταφορά δεδομένων και επικοινωνία

Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με ορισμένες αρχές της μεταφοράς δεδομένων. Το πρώτο μέρος σε παρουσιάζει λίγο την σειριακή και την παράλληλη μετάδοση. Οι τεχνικές αυτές είναι ακόμα σε χρήση, αλλά θα μπορούσαμε να πούμε ότι ειδικά η καθαρά σειριακή μετάδοση είναι ήδη παλιά τεχνική στον υποσταθμό, επειδή οι ανάγκες και οι απαιτήσεις των επικοινωνιών έχουν αυξηθεί. Η σειριακή μετάδοση δεν μπορεί να μεταφέρει αρκετά δεδομένα τόσο γρήγορα όσο απαιτείται.

### 5.1 Επισκόπηση

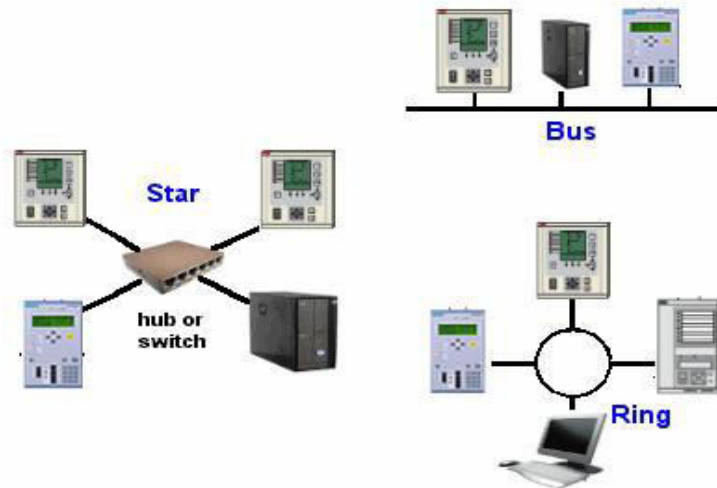
Πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Οι διαφορετικές συσκευές δημιουργούν ποικίλες απαιτήσεις για τα σήματα και τις επικοινωνίας. Το σχήμα 5.1 δείχνει κάποια πρωτόκολλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επικοινωνία στα ηλεκτρικά συστήματα αυτοματισμού μεταφοράς και διανομής.



Σχήμα 5.1 Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία σε υποσταθμούς.

### 5.2 Τοπολογίες δικτύων

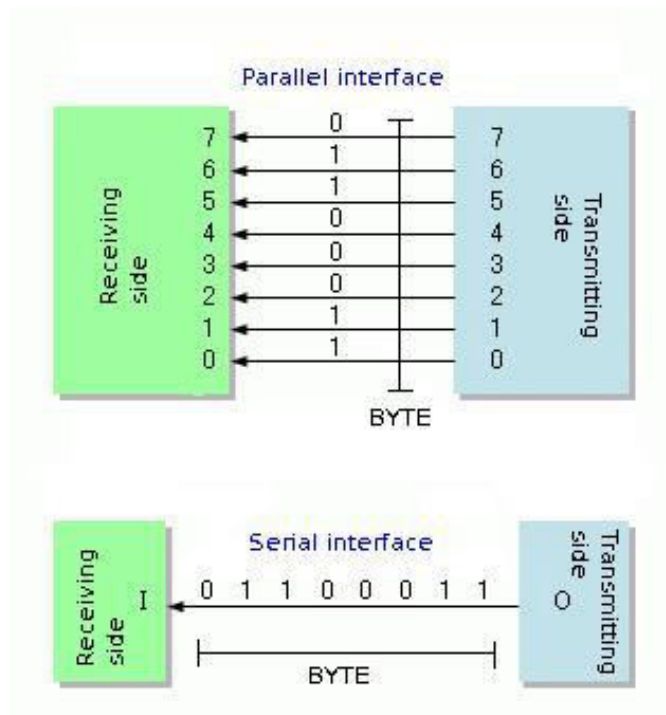
Το δίκτυο επικοινωνίας μπορεί να κατασκευαστεί με διάφορους τρόπους. Μερικές από τις κοινές δομές που χρησιμοποιούνται στο σύστημα SCADA αντιπροσωπεύονται με απλουστευμένο τρόπο στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Τυπικές τοπολογίες δικτύου

### 5.3 Μεταφορά δεδομένων

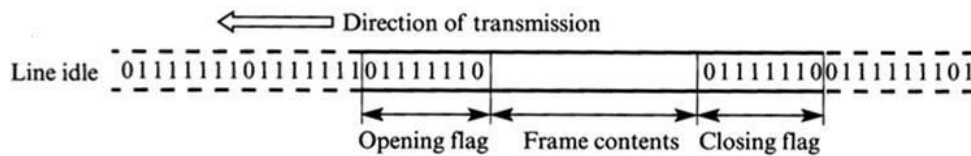
Η παραδοσιακή λύση στην ψηφιακή μεταφορά δεδομένων είναι η σειριακή ή η παράλληλη εκπομπή. Στην σειριακή επικοινωνία τα δεδομένα αποστέλλονται ένα κομμάτι κάθε φορά από τον πομπό στο δέκτη και στην παράλληλη επικοινωνία πολλά bits δεδομένων ή ολόκληρο byte μεταφέρονται ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια αρκετών παράλληλων καναλιών. Το σχήμα 5.3 δείχνει τη διαφορά.



Σχήμα 5.3 Η βασική ιδέα της παράλληλης και σειριακής μετάδοσης

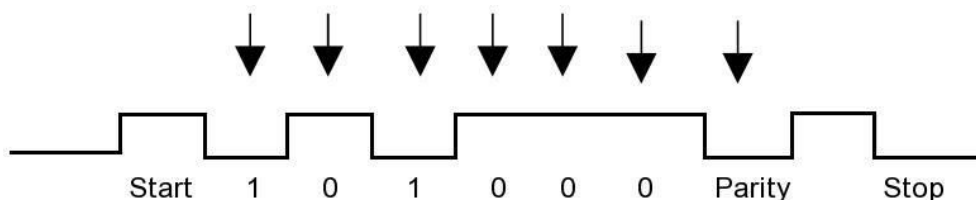
Η παράλληλη επικοινωνία χρησιμοποιείται σε μικρές αποστάσεις, συνήθως μέσα σε υπολογιστές. Η παράλληλη μετάδοση είναι ένας γρήγορος τρόπος για να μεταφέρετε δεδομένα, αλλά σε μεγάλη απόσταση τα περισσότερα καλώδια που χρειάζεται καθιστά το χειρισμό σφαλμάτων πιο προκλητικό και ως εκ τούτου αυξάνεται το κόστος.

Η σειριακή μετάδοση συνήθως χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο συστημάτων ή συστημάτων πληροφορικής, όπου η απόσταση είναι μεγάλη. Τα πρωτόκολλα π.χ. SPA, που χρησιμοποιούνται στον τομέα της αυτοματοποίησης υποσταθμών βασίζονται σε μια σειριακή λειτουργία. Η σειριακή μετάδοση μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε ασύγχρονη. Στην σύγχρονη μετάδοση, οι ομάδες δυαδικών ψηφίων συνδυάζονται σε πλαίσια και τα πλαίσια αποστέλλονται συνεχώς, με ή χωρίς στοιχεία, στον δέκτη. Στην ασύγχρονη μετάδοση, οι ομάδες των bits αποστέλλονται ως ανεξάρτητες μονάδες με το άνοιγμα/κλείσιμο της σημαίας και χωρίς συγχρονισμό ζεύξης δεδομένων, και δημιουργούνται κενά μεγέθους μεταξύ των πλαισίων. Ωστόσο, η έναρξη/διακοπή των bits διατηρεί το φυσικό επίπεδο συγχρονισμού των bits μόλις εντοπιστεί. Το σχήμα 5.4 διευκρινίζει την κατάσταση.



Σχήμα 5.4 Τυπικό ασύγχρονο πλαίσιο που περιλαμβάνει το άνοιγμα / κλείσιμο της σημαίας.

Ο διάυλος SPA, ο οποίος αρχικά είχε σχεδιαστεί ως ένας διάυλος πεδίου για εφαρμογή σε ένα κατανεμημένο δίκτυο, είναι ένα τυπικό παράδειγμα της ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας. Τα πακέτα δεδομένων της παρουσιάζονται στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5 Το πακέτο δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο SPA-bus

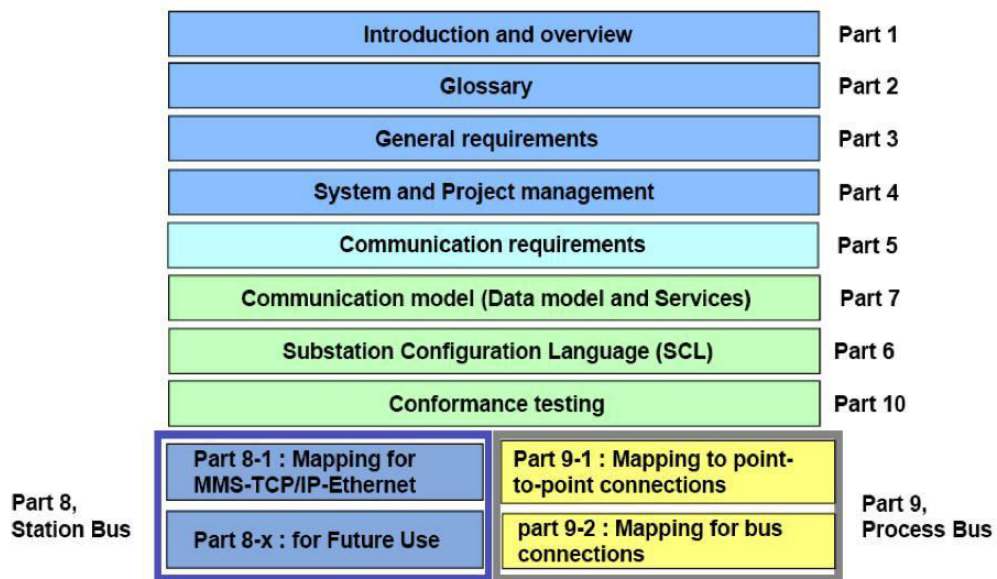
Στην ασύγχρονη μετάδοση, το bit έναρξης πρέπει να περιλαμβάνεται στο πακέτο και αυτό ειδοποιεί ότι τα δεδομένα φτάνουν στο δέκτη. Μετά το bit έναρξης, υπάρχουν επτά bit δεδομένων και προστίθεται επίσης μια ισοτιμία bits. Το bit ισοτιμίας είναι ένα σήμα το οποίο προστίθεται για να εξασφαλιστεί ότι ο αριθμός των bits με την τιμή "1" σε ένα σύνολο δυαδικών ψηφίων είναι άρτιο ή περιττό. Τα δυαδικά ψηφία ισοτιμίας χρησιμοποιούνται ως απλούστερη μορφή του κωδικού ανίχνευσης σφάλματος. Το τελευταίο bit του πακέτου είναι το bit διακοπής το οποίο διαχωρίζει τα διάφορα πακέτα δεδομένων το ένα από το άλλο.

Για παράδειγμα, στον δίαυλο SPA υποτίθεται ότι η «εξαρτώμενη» συσκευή έχει μια αυτόματα εκινούμενη ανάγκη να «μιλήσει» με την «κύρια» συσκευή, αλλά η «κύρια» συσκευή έχει επίγνωση των δεδομένων που περιέχονται στις «εξαρτώμενες» και να ζητήσει τα απαιτούμενα δεδομένα. Σε αντίθεση, η «κύρια» συσκευή μπορεί να στείλει δεδομένα στην «εξαρτώμενη». Η αίτηση από την κύρια συσκευή μπορεί να γίνει είτε με ακολουθία εγγραφών (δηλαδή πληροφορίες για την εκδήλωση) ή μόνο με ζήτηση.

#### **5.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας δικτύου TCP/IP και IEC 61850**

Το TCP/IP είναι το σύνολο των πρωτοκόλλων επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται για το Διαδίκτυο και άλλα παρόμοια δίκτυα. Πήρε το όνομά του από τα δύο πιο σημαντικά πρωτόκολλα του διαδικτύου : το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP) και το πρωτόκολλο Internet (IP), τα οποία ήταν τα δύο πρώτα πρωτόκολλα δικτύωσης ορίζοντας το πρότυπο αυτό. Το δίκτυο TCP/IP έχει συνήθως κυκλική δομή η οποία βελτιώνει την αξιοπιστία του δικτύου, επειδή μια αποτυχία σε ένα μόνο καλώδιο δικτύου ή διακόπτη δεν διακόπτουν κάθε επικοινωνία.

Το IEC 61850 είναι ένα αρκετά νέο πρότυπο για το σχεδιασμό του αυτοματισμού του Υποσταθμού. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και εργαλείων για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και προστατευτικό ρελέ. Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη με τα IEDs να υποστηρίζουν το πρότυπο IEC 61850 είναι ότι μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους μέσω του δικτύου TCP/IP. Το IEC 61850 περιλαμβάνει όλα τα στρώματα του μοντέλου OSI, ώστε να περιλαμβάνει και τις τεχνικές μεθόδους ανίχνευσης σφαλμάτων. Η δομή του προτύπου παρουσιάζεται στο σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 Δομή του IEC 61850. (IEC 61850 πρότυπο)

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς το IEC 61850 είναι ένα πολύ ευέλικτο πρότυπο και μόνο ένα μικρό μέρος του ασχολείται με τη μετάδοση δεδομένων. Το τμήμα 8-1 περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα TCP / IP και το στρώμα αυτό περιλαμβάνει επίσης την ανίχνευση σφαλμάτων από τα μηνύματα.

## 5.5 Ανίχνευση σφάλματος στην μεταφορά δεδομένων

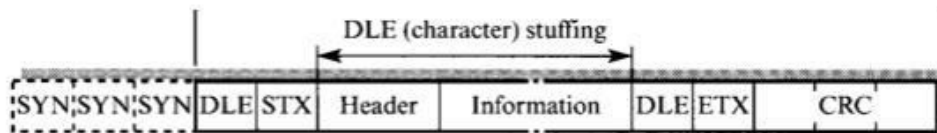
Ένας αριθμός διαφορετικών ρουτινών έχουν αναπτυχθεί για την ανίχνευση και τη διόρθωση σφαλμάτων από τα μηνύματα. Ο στόχος μιας τεχνικής ανίχνευσης λάθους είναι να καταστεί δυνατή η λήψη ενός μηνύματος που μεταδίδεται μέσα από ένα θορυβώδες κανάλι, για να διαπιστωθεί αν το μήνυμα έχει καταστραφεί. Μερικές από τις πιο χαρακτηριστικές λύσεις συζητούνται στο επόμενο κεφάλαιο.

### 5.5.1 Άθροισμα ελέγχου

Ένα άθροισμα ελέγχου είναι μια κοινή μέθοδος όπου ο πομπός υπολογίζει μια τιμή, (επίσης γνωστή ως άθροισμα ελέγχου) το οποίο είναι ένα μέρος του μηνύματος, και το προσαρτά στο μήνυμα. Ο δέκτης μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει την ίδια μέθοδο για τον υπολογισμό του αθροίσματος ελέγχου του ληφθέντος μηνύματος και να το συγκρίνει με το συνημμένο άθροισμα ελέγχου για να δει αν το έλαβε ορθώς. Το άθροισμα ελέγχου χρησιμοποιείται συνήθως από ανώτερο στρώμα πρωτοκόλλου, π.χ. το άθροισμα ελέγχου περιλαμβάνεται στο πρωτόκολλο IP.

### 5.5.2 Κυκλικός έλεγχος απόρριψης

Ένας κυκλικός έλεγχος πλεονασμού (CRC) είναι μία από τις πλέον χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την ανίχνευση σφαλμάτων στις επικοινωνίες δεδομένων. Η τεχνική CRC χρησιμοποιείται για την προστασία των μπλοκ δεδομένων (πλαίσια). Το CRC βασίζεται σε πολυωνυμική μέθοδο υπολογισμού. Χρησιμοποιώντας την τεχνική CRC, ο πομπός προσαρτά μία επιπλέον N- ακολουθία bit σε κάθε πλαίσιο που ονομάζεται Frame Check Sequence (FCS). Το FCS διατηρεί περιττές πληροφορίες σχετικά με το πλαίσιο που βοηθά τον πομπό για τον εντοπισμό σφαλμάτων στο πλαίσιο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι FCS μπορεί να περιλαμβάνει πολλές άλλες αθροίσατα ελέγχου από ότι το CRC. Μια θέση του CRC σε πλαίσιο αναπαρίσταται στο σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7 Το μπλοκ στο οποίο έχει προστεθεί το CRC.

### 5.5.3 Απόσταση Hamming

Η απόσταση Hamming (HD) είναι ένα μέτρο για το πόσο ασφαλές είναι ένα πρωτόκολλο κατά παρερμηνεία ενός πακέτου.  $HD = 4$  μας λέει ότι τουλάχιστον 4 bits μπορεί να είναι λάθος, και οι υπολογισμοί του αθροίσματος ελέγχου ακόμα ταιριάζουν, προκειμένου αυτό να είναι λάθος ως έγκυρο πακέτο. Η βασική ιδέα είναι ότι εάν περιλαμβάνονται περισσότερα δυαδικά ψηφία διόρθωσης σφαλμάτων σε ένα μήνυμα, και εάν αυτά τα δυαδικά ψηφία μπορούν να διαταχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε διαφορετικά εσφαλμένα bits παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα σφαλμάτων, τότε θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν κακά bits. Σε ένα 7-bit μήνυμα, υπάρχουν επτά πιθανά λάθη bit, έτσι ώστε π.χ. τρία bits ελέγχου σφαλμάτων θα μπορούσε δυνητικά να καθορίζουν όχι μόνο ότι παρουσιάστηκε κάποιο σφάλμα, αλλά και ποια bit προκάλεσαν το σφάλμα. Το μαθηματικό μοντέλο δεν είναι απλό και δεν συζητείται περαιτέρω εδώ.



## 6 Πηγές δεδομένων και κατάσταση

### 6.1 Μετασχηματιστές Οργάνων - Αναλογικές είσοδοι

Οι μετασχηματιστές οργάνων χρησιμοποιούνται τόσο για την προστασία του προσωπικού όσο και των συσκευών από υψηλές τάσεις και επιτρέπει με λογικά επίπεδα μόνωσης την ασφαλή λήψη της μέτρησης της τάσεως ή της εντάσεως. Οι ενδείξεις λαμβάνονται, πολλαπλασιάζοντας την ένδειξη του οργάνου με τον λόγο μετασχηματισμού του Μ/Σ μέτρησης.

Πλεονεκτήματα :

- Με την χρήση των Μ/Σ οργάνων, ο χρήστης (ηλεκτρολόγος ή κάτοχος του δικτύου) δεν έρχεται σε επαφή με την Υψηλή Τάση για να πάρει την μέτρηση.
- Δεν απαιτείται η χρήση ειδικών και ακριβών οργάνων για την λήψη των μετρήσεων.
- Δεν απαιτείται η χρήση αντιστάσεων για την επέκταση της κλίμακας μέτρησης ενός οργάνου.
- Τα όργανα είναι βαθμονομημένα σε μεγάλες κλίμακες (πχ. kV, 500A, 1000A κα) και δεν χρειάζεται να γίνονται πράξεις υπολογισμού της ένδειξης.

Συνδεσμολογία.

- Οι Μ/Σ οργάνων διακρίνονται σε δύο είδη Μ/Σ μετρήσεων :
- Μ/Σ μέτρησης τάσεως
- Μ/Σ μέτρησης εντάσεως

Στους Μ/Σ τάσεως, συνδέεται το πρωτεύον τύλιγμα του οργάνου παράλληλα με το δίκτυο ή το σύστημα που θέλουμε να μετρήσουμε και στο δευτερεύον τύλιγμά τους παίρνουμε τάση σε χαμηλά επίπεδα ούτως ώστε να μπορούμε να την μετρήσουμε από απλά όργανα μικρότερης τιμής μέτρησης και ασφαλέστερης για τον χρήστη.

Στους Μ/Σ εντάσεως, η σύνδεση γίνεται εν σειρά το πρωτεύον του Μ/Σ με το δίκτυο που θέλουμε να μετρήσουμε. Στο δευτερεύον τύλιγμα παίρνουμε την τιμή της έντασης σε χαμηλό επίπεδο ώστε να μπορεί να μετρηθεί από απλό όργανο. Οι Μ/Σ εντάσεως δεν παρεμβάλλονται στο κύκλωμα διακόπτοντάς το για να συνδεθούν σε σειρά με αυτό. Είναι ειδικά κατασκευασμένοι δακτύλιοι οι οποίοι αγκαλιάζουν τον αγωγό που πρόκειται να μετρηθεί. Στο δευτερεύον τύλιγμα δημιουργείται ρεύμα, λόγω του φαινομένου της επαγωγής, το οποίο μπορεί να μετρηθεί μ' ένα απλό αμπερόμετρο ή να καταγραφεί..

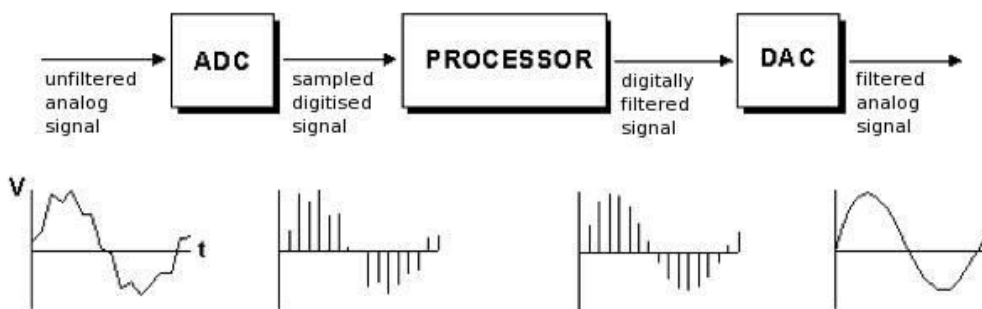
Η απόδοση του οργάνου μετασχηματισμού είναι κρίσιμη σε μετεγκατάσταση προστασίας δεδομένου ότι οι ρελέ μπορεί να είναι μόνο τόσο ακριβής όσο οι πληροφορίες που τους

παρέχονται από το μετασχηματιστή οργάνου. Τυπικοί μετασχηματιστές και προστατευτικά ρελέ έχουν βαθμονομηθεί 1 ή 5 A/ 100, 110 ή 120 V και 50, 60 Hz.

Όταν τα προστατευτικά ρελέ λειτουργούν μόνο με μέγεθος ρεύματος ή τάσης, η σχετική κατεύθυνση της ροής του ρεύματος στα τυλίγματα του μετασχηματιστή δεν είναι σημαντική. Η σχετική κατεύθυνση, και ως εκ τούτου η πολικότητα, πρέπει να είναι γνωστές, όπου οι ηλεκτρονόμοι συγκρίνουν το άθροισμα ή τη διαφορά των δύο ρευμάτων ή των αλληλεπιδράσεων των διαφόρων ρευμάτων ή τάσεων.

Το αναλογικό σήμα εισόδου πρέπει πρώτα να υποβληθεί σε δειγματοληψία και να ψηφιοποιηθεί πριν να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αριθμητικά. Αυτή η μετατροπή γίνεται με τη χρήση ενός αναλογικού προς ψηφιακό μετατροπέα (ADC). Το αποτέλεσμα είναι δυαδικοί αριθμοί που αντιπροσωπεύουν διαδοχικές τιμές του δείγματος (1 και 0) του σήματος εισόδου. Μετά τη μετατροπή, οι τιμές του δείγματος μεταφέρεται στον επεξεργαστή, ο οποίος εκτελεί διαφορετικές αριθμητικούς υπολογισμούς. Αυτοί οι υπολογισμοί φτιάχνονται συνήθως πολλαπλασιάζοντας τις τιμές εισόδου από σταθερές και προσθέτοντας τα αποτελέσματα μαζί. Εάν είναι απαραίτητο, τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών, που σήμερα αντιπροσωπεύουν τιμές του φιλτραρισμένου σήματος δειγματοληψίας, είναι έξοδοι μέσω ενός ψηφιακού-αναλογικού μετατροπέα (DAC) για να μετατρέψει το σήμα πίσω σε αναλογική μορφή. Το φιλτράρισμα θα αντιμετωπιστεί αργότερα. Το Σχήμα 6.1 δείχνει την αλληλουχία του ADC-DAC.

Σε όλα τα σήματα AC γίνεται δειγματοληψία αμέσως μετά την πρώτη αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή και συνήθως καταγράφονται ακόμη και αν το ρελέ ή η συσκευή εγγραφής χρησιμοποιεί κατακερματισμένα δείγματα για άλλες λειτουργίες που είναι επιθυμητές. Το σχήμα 6.1 αντιπροσωπεύει τη μετατροπή της διαδικασίας AD.



Σχήμα 6.1 Ακολουθία της AD-μετατροπής.

### **6.1.1 Μετασχηματιστές εντάσεως**

Ένας μετασχηματιστής εντάσεως ή ρεύματος (CT), όπως και κάθε άλλος μετασχηματιστής, έχει ένα πρωτεύον τύλιγμα, ένα μαγνητικό πυρήνα, και μια δευτερεύουσα περιέλιξη. Το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που ρέει στο πρωτεύον κύκλωμα (καλώδιο) και παράγει ένα μαγνητικό πεδίο στον πυρήνα και τελικά ο πυρήνας επάγει μία ροή ρεύματος στο δευτερεύον κύκλωμα περιελίξεως. Ένας πρωταρχικός στόχος της τρέχουσας σχεδίασης μετασχηματιστή είναι να εξασφαλισθεί ότι τα πρωτογενή και δευτερογενή κυκλώματα είναι αποτελεσματικά συζευγμένα, έτσι ώστε το δευτερεύον ρεύμα φέρει μια ακριβή σχέση προς το πρωτογενές ρεύμα.

Ο Μ/Σ εντάσεως μειώνει το υψηλό ρεύμα, έτσι ώστε η μέτρηση να μπορεί να συνδεθεί με μέσα μέτρησης και καταγραφής. Απομονώνει επίσης τα όργανα μέτρησης από την υψηλή τάση στο κύκλωμα παρακολούθησης.

Οι Μ/Σ εντάσεως έχουν καλή απόκριση συχνοτήτων και συνήθως δεν απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, όταν λειτουργούν στο συνιστώμενο εύρος της βαθμονόμησης τους. Η μόνη ίσως απρόβλεπτη υποβάθμιση στο σήμα εισόδου μπορεί να είναι λόγω της χωρητικότητας των καλωδίων. Αυτό μπορεί να εισαγάγει μεγάλα λάθη σε διάφορα kilohertz και τα λάθη στη γωνία φάσης σε αρκετές εκατοντάδες Hertz.

Σε πολλές περιπτώσεις είναι πιο εύκολο να μετρηθεί ρεύμα από την τάση. Τα τρέχοντα κυκλώματα έχουν χαμηλή αντίσταση που είναι λιγότερο ευαίσθητα στα επαγωγικά σήματα ή θόρυβο, ενώ τα κυκλώματα τάσης που έχουν υψηλή αντίσταση είναι πιο ευαίσθητα.

Σε μεσαίους και μεγάλους υποσταθμούς, η επιβάρυνση για τους Μ/Σ εντάσεως καθορίζεται κυρίως από το βάρος του καλωδίου. Είναι χρήσιμη η μείωση του βάρους των ηλεκτρομηχανικών ρελέ με τη χρήση των ψηφιακών ρελέ, αλλά συνήθως το βάρος του καλωδίου είναι το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής επιβάρυνσης των Μ/Σ, είτε με ψηφιακό είτε με ηλεκτρομηχανικό ρελέ.

### **6.1.2 Μετασχηματιστές τάσεως**

Οι μετασχηματιστές τάσεως (VTS) δεν έχουν καλή απόκριση συχνοτήτων. Η χωρητικότητα του καλωδίου μεταξύ του μετασχηματιστή τάσης και του ρελέ θα υποβαθμίσουν περαιτέρω το σήμα εισόδου. Αλλά, ανάλογα με τη συχνότητα, αυτό μπορεί να είναι ελάχιστο συγκρίνοντας το με τα σφάλματα που οφείλονται στην απόκριση συχνότητας του συγκεκριμένου Μ/Σ.

## **6.2 Παρεμβολές και ζεύξεις**

Συνήθως τα μετρούμενα σήματα είναι ηλεκτρικά και ως εκ τούτου περιλαμβάνουν διάφορες παρεμβολές. Η ισχύς του σήματος είναι γενικά τόσο μικρή ώστε παρεμβολές μπορεί να δημιουργήσουν σημαντικά σφάλματα στη γραμμή μετάδοσης σήματος. Οι παρεμβολές μπορεί να προκαλέσουν αρκετές είδους βλάβες για συσκευές αυτοματισμού, όπως λανθασμένη λειτουργία ή άλλα σφάλματα σήματος. Στη χειρότερη περίπτωση, ολόκληρο το σύστημα μέτρησης μπορεί να είναι κατεστραμμένο.

Το πρόβλημα με τις παρεμβολές μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ομάδες: τις πηγές των παρεμβολών, της σύζευξης των παρεμβολών και τις εκτεθειμένες συσκευές.

### **6.2.1 Πηγές παρεμβολών**

Το να εξαλειφθεί η πηγή παρεμβολών είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την απομάκρυνση των παρεμβολών. Για παράδειγμα, εάν η δημιουργία σπινθήρων έχει εξαλειφθεί από την ολίσθηση των ρελέ, εξαλείφονται επίσης οι παρεμβολές από τα κυκλώματα μέτρησης. Τυπικές πηγές παρεμβολών στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (<100kHz) είναι:

- Καλώδια τροφοδοσίας
- Πηνία και ρελέ
- Μετασχηματιστές
- Κινητήρες
- Η λειτουργία των διακοπών κυκλώματος και διακόπτες αποσύνδεσης
- Κλίμα [12]

### **6.2.2 Σύζευξη των παρεμβολών**

Προβλήματα σύζευξης μπορούν να αντιμετωπιστούν με συνδεσμολογίες και σωστές λύσεις σύνδεσης. Η πρακτική λύση είναι να πάρει την ειδοποίηση από αυτά τα προβλήματα την ίδια στιγμή των προγραμματισμένων ρυθμίσεων μέτρησης. Ο καλός προγραμματισμός είναι αναγκαίος, διότι παρεμβολές μπορούν να υπάρξουν στα κυκλώματα μέτρησης από διάφορες πηγές, όπως παρεμβολές του αγωγού στο σήμα. [12]

#### **6.2.2.1 Γαλβανική σύζευξη**

Η γαλβανική σύζευξη συμβαίνει εάν υπάρχει κοινή όδευση των αγωγών ισχύος και σημάτων. Αυτό το είδος της λύσης θα πρέπει να αποφεύγεται και είναι προτιμώμενο να χρησιμοποιείται διαφορετική διαδρομή για τους αγωγούς τροφοδοσίας και διαφορετική διαδρομή για τους αγωγούς σημάτων. [12]

#### **6.2.2.2 Επαγωγική σύζευξη**

Η επαγωγική σύζευξη λαμβάνει χώρα μέσω του μαγνητικού πεδίου. Καθώς το ρεύμα ρέει στο καλώδιο, αυτό δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από το καλώδιο. Η μεταβολή του ρεύματος επάγει τάση στους βρόγχους του κυκλώματος. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει να αποφεύγονται οι βρόχοι. Ο βρόχος θα μπορούσε να είναι δυνατός αν το καλώδιο είναι γειωμένο και στα δύο άκρα. Σήμερα τα περισσότερα καλώδια σήματος είναι συνεστραμμένα ζεύγη και με αυτόν τον τρόπο η επαγόμενη τάση προκαλεί λιγότερες παρεμβολές για το καλώδιο. [12]

#### **6.2.2.3 Χωρητική σύζευξη**

Η χωρητική σύζευξη συμβαίνει λόγω των κατανεμημένων χωρητικοτήτων μεταξύ των κυκλωμάτων. Το ρεύμα ρέει μέσω των κατανεμημένων χωρητικοτήτων ενώ αλλάζει η τάση. Η σύζευξη μπορεί να εξαλειφθεί εάν η πηγή παρεμβολής τοποθετείται αρκετά μακριά από τα κυκλώματα σήματος. Αυτό σημαίνει ότι τα καλώδια των οργάνων δεν συνιστάται να στερεώνονται στον ίδιο αγωγό καλωδίων με καλώδια υψηλής τάσης. [12]

#### **6.2.2.4 Ακτινοβολία**

Η ακτινοβολία είναι μια πολύ περίπλοκη περίπτωση και οι πηγές ακτινοβολίας αυξάνονται. Η EMC (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία), είναι σήμερα μία όλο και πιο σημαντική περίπτωση, επειδή οι ηλεκτρικές συσκευές αυξάνονται όλη την ώρα και είναι ταυτόχρονα οι πηγές των παρεμβολών, αλλά και ευαίσθητες στις παρεμβολές. Η προστασία από τις παρεμβολές είναι να οικοδομήσουμε το μεταλλικό κάλυμμα γύρω από τη συσκευή και τα καλώδια που έχουν μείνει έξω από το κάλυμμα θα πρέπει να καλύπτονται επίσης από γειωμένη ασπίδα ξεχωριστά. [12]

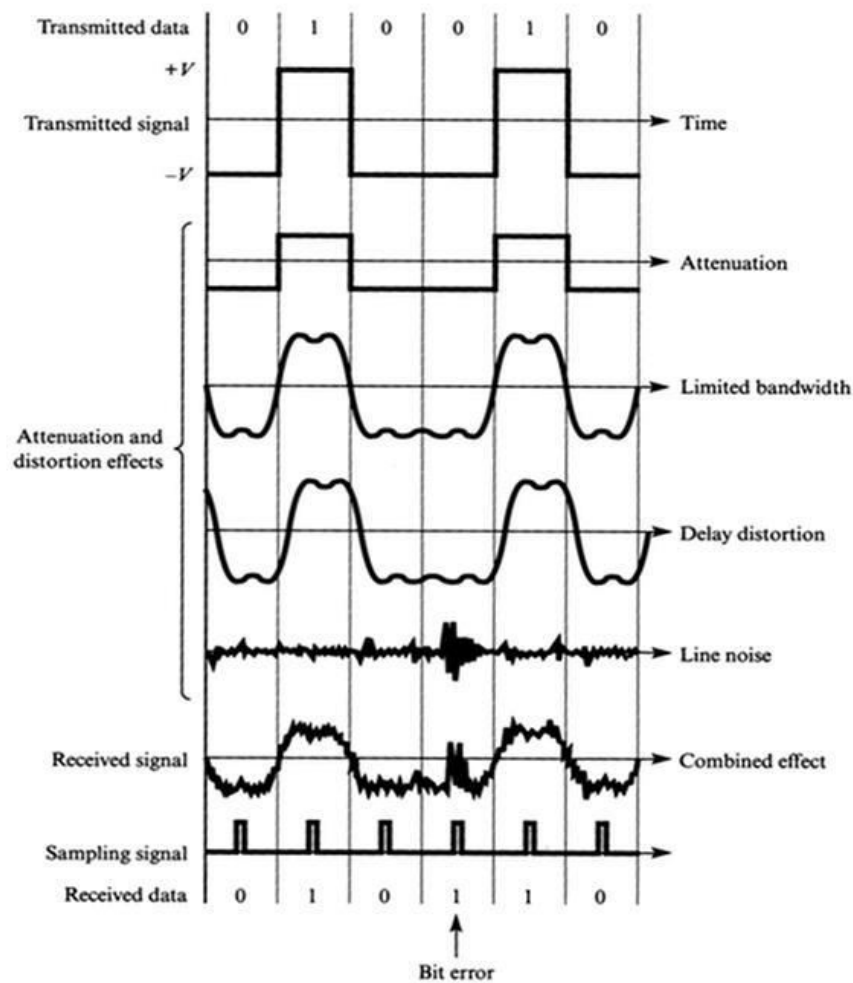
### **6.3 Ψηφιακές είσοδοι**

Στα RTUs και στα IEDs, οι ψηφιακές είσοδοι λαμβάνουν συνήθως τα ψηφιακά σήματα από τις εξωτερικές επαφές, δηλαδή τερματικοί διακόπτες των Μ/Σ εντάσεως για την ένδειξη θέσης ή εσωτερικές ενδείξεις κατάστασης της συσκευής π.χ. χαμηλή πίεση του αερίου SF<sub>6</sub> στο θάλαμο. Αν και αυτή η είσοδος μπορεί να είναι μια απλή επαφή, αξίζει ιδιαίτερη προσοχή, διότι τα σήματα αυτά είναι πολύ σημαντικά για τη διαδικασία ανάλυσης.

## 6.4 Φιλτράρισμα

Το φιλτράρισμα είναι ένα σημαντικό μέρος του χειρισμού του σήματος και, κατά συνέπεια, συνδέεται με την επικύρωση δεδομένων. Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει εν συντομία και με ένα απλοποιημένο τρόπο τις βασικές ιδέες του φιλτραρίσματος.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι παρεμβολές προκαλούν παραμόρφωση στο σήμα. Το σχήμα 6.2 αντιπροσωπεύει την κατάσταση, όπου οι παρεμβολές που δημιουργούνται διαστρεβλώνουν στο σήμα.



Σχήμα 6.2 Τυπική παρεμβολές στο σήμα τάσης.

Φιλτράρισμα σημαίνει αφαίρεση των ανεπιθύμητων τμημάτων του σήματος, όπως τυχαίο θόρυβο. Από την άλλη πλευρά, το φιλτράρισμα καθιστά δυνατό να εξαχθούν χρήσιμα μέρη του σήματος, όπως αυτά που βρίσκονται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Για τη διαχείριση των εν λόγω στρεβλώσεων των σημάτων, το φιλτράρισμα θα πρέπει να

περιλαμβάνεται στο δέκτη. Το φιλτράρισμα που εφαρμόζεται στα σήματα μπορεί να είναι τόσο αναλογικό και όσο και ψηφιακό, και μαζί με το ρυθμό δειγματοληψίας καθορίζει την απόκριση συχνότητας που καταγράφονται οι πληροφορίες.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από διαφορετικά είδη φίλτρων που έχουν αναπτυχθεί με τα χρόνια για να καλύψουν τις ανάγκες των διαφόρων εφαρμογών. Παρά την ποικιλία αυτή, πολλά φίλτρα βασίζονται σε μερικά κοινά χαρακτηριστικά.

Μια αρχή είναι το εύρος συχνοτήτων στη ζώνη διέλευσής τους. Η ζώνη διέλευσης ενός φίλτρου είναι το εύρος των συχνοτήτων μέσω του οποίου το φίλτρο θα περάσει ένα εισερχόμενο σήμα. Οι συχνότητες του σήματος που βρίσκονται έξω από τη ζώνη διέλευσης είναι εξασθενημένες. Το επόμενο κεφάλαιο συζητά μόνο το φιλτράρισμα των σημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως αυτό που χρησιμοποιείται στα IEDs. [13]

#### **6.4.1 Αναλογικό φιλτράρισμα ημιτονοειδών σημάτων**

Οποιαδήποτε ψηφιακή συσκευή, συμπεριλαμβανομένων των IEDs, πρέπει να περιλαμβάνει μια λειτουργία εξομάλυνσης, η οποία συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αναλογικού φίλτρου. Η εξομάλυνση εξαλείφει την υψηλότερη συχνότητα που διαφορετικά θα επικαλύπτει το κατώτερο τμήμα του φάσματος λόγω των πεπερασμένων ρυθμών δειγματοληψίας των ψηφιακών συσκευών.

Ένα από τα θεωρήματα που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ρυθμού δειγματοληψίας της συσκευής είναι το θεώρημα δειγματοληψίας Nyquist:

«Η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο φορές η υψηλότερη συχνότητα που περιέχεται στο σήμα.»

Η σε μαθηματικούς όρους:  $f_s \geq 2 \cdot f_c$  (6.1)

όπου  $f_s$  είναι η συχνότητα δειγματοληψίας (πόσο συχνά λαμβάνονται δείγματα ανά μονάδα χρόνου ή χώρου), και  $f_c$  είναι υψηλότερη συχνότητα που περιέχεται στο σήμα.

Συνήθως ο ρυθμός δειγματοληψίας στα IEDs διαφέρει σε 4 δείγματα/κύκλο έως 356 δείγματα/κύκλο. Οι ψηφιακές συσκευές καταγραφής σφαλμάτων (DFRs) χρησιμοποιούν συνήθως ένα ρυθμό δειγματοληψίας των 16 με 128 δειγμάτων/κύκλο, αλλά μερικές συσκευές επιτρέπουν ρυθμούς δειγματοληψίας μέχρι 384 δείγματα/κύκλο. Οι DFRs χρησιμοποιούν συνήθως υψηλότερα ποσοστά δειγματοληψίας από ρελέ, δεδομένου ότι είναι σημαντικό να πάρει ακριβή στοιχεία για περαιτέρω ανάλυση, δηλαδή για τους υπολογισμούς των αρμονικών. Τα DFRs' φίλτρα αποκοπής ορίζονται σαφώς άνω του 1 kHz τα οποία αποδίδουν σχετικά καλή φασματική κάλυψη.

Τα δείγματα των ρελέ προστασίας δειγματοληπτούν χαμηλά, 4 έως 20 δείγματα ανά κύκλο, για να απλοποιήσουν την αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή και το φιλτράρισμα. Μερικά σύγχρονα ρελέ δειγματοληπτούν σε ένα εύρος 32 με 128 δειγμάτων ανά κύκλο ή περισσότερο για σκοπούς εγγραφής, παρέχοντας καλή φασματική κάλυψη.

Μια άλλη πτυχή του αναλογικού φιλτραρίσματος είναι ο σχεδιασμός του ίδιου του φίλτρου. Όταν χρησιμοποιούνται φίλτρα υψηλής τάξης, η απάντησή τους μπορεί να μην είναι ιδανικά επίπεδη κατά τη διάρκεια των ζωνών διέλευσης συχνοτήτων. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν μια λεπτομερής αρμονική ανάλυση πραγματοποιείται με χρήση αρχείων που παράγονται από προστατευτικό ρελέ.

Το αναλογικό φίλτρο των ψηφιακών ρελέ είναι συνήθως ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, επιτρέποντας τις υπο-αρμονικές και dc συνιστώσες να περνούν. Ωστόσο, η απόκριση συχνότητας των μαγνητικών μονάδων εισόδου σε χαμηλές συχνότητες μπορεί να μεταβάλλει τις συνιστώσες χαμηλής συχνότητας (στο επίπεδο των λίγων Hz). Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάλυση των υπο-αρμονικών και φθινουσών dc συνιστωσών.

[14]

#### **6.4.2 Φιλτράρισμα ψηφιακών ημιτονοειδών σημάτων**

Ο πρωταρχικός στόχος του ψηφιακού φιλτραρίσματος, όπως και άλλων φίλτρων, είναι να φιλτράρει ανεπιθύμητα περιεχόμενα των εφαρμοζόμενων σημάτων, δηλαδή το συστατικό dc. Για να επιτευχθεί αυτό, το φίλτρο πρέπει να περιλαμβάνει ένα τμήμα διαφοροποίησης το οποίο θα πρέπει να ταιριάζει ιδανικά με το σταθερό L/R του πρωτεύοντος κυκλώματος. Η ακρίβεια του σήματος εισόδου και τα καταγεγραμμένα δεδομένα επηρεάζονται από την εκτέλεση οποιουδήποτε φιλτραρίσματος που εφαρμόζεται στο σήμα εισόδου AC. Το ψηφιακό φίλτρο εφαρμόζεται ειδικά σε ρελέ προστασίας, όπως ρελέ που επεξεργάζονται τα δεδομένα του δείγματος για να πάρουν τις κατάλληλες αποφάσεις για την λειτουργία της προστασίας. Μια σωστή ανάλυση των καταγεγραμμένων δεδομένων απαιτεί την κατανόηση κάθε ψηφιακού φίλτρου που εφαρμόζεται στα σήματα εισόδου AC.

Τα ψηφιακά ρελέ τείνουν να καταγράφουν δείγματα δεδομένων μετά από το ψηφιακό φίλτρο. Νεότερα ψηφιακά ρελέ καταγράφουν τα πρώτα δείγματα πριν από το ψηφιακό φίλτρο. Αυτό όχι μόνο διευρύνει την αποτελεσματικότητα του φάσματος συχνοτήτων των καταγεγραμμένων κυματομορφών, αλλά διασφαλίζει επίσης ότι οι αποθηκευμένες πληροφορίες δεν εξαρτώνται από κανέναν αλγόριθμο ψηφιακής επεξεργασίας σήματος. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη βάση περιλαμβάνουν τη μετατροπή κυματομορφών του δείγματος σε RMS ή άλλες εφαρμογές ειδικών τιμών.



## 7 Ευφυείς Ηλεκτρονικές Συσκευές (IEDs)

Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με τα IEDs, γενικά, και εισάγει το ρόλο τους στο σύστημα SCADA. Τέλος συζητούνται τέτοιες σημαντικές λειτουργίες προστασίας οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για επικύρωση δεδομένων.

Οι έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές (IED) είναι ένας γενικός όρος για τον εξοπλισμό που βασίζεται ο μικροεπεξεργαστής που χρησιμοποιείται για τη συντήρηση, τον έλεγχο, την προστασία και την παρακολούθηση της διαδικασίας. Τα ρελέ προστασίας που κατασκευάζονται αυτές τις μέρες είναι κυρίως IEDs. Με τη διαθέσιμη τεχνολογία μικροεπεξεργαστών, μια ενιαία μονάδα μπορεί να εκτελέσει πολλές λειτουργίες προστασίας, ελέγχου και άλλες. Ενώ πριν από την τεχνολογία μικροεπεξεργαστών μια ενιαία μονάδα περιέχει μόνο μία λειτουργία προστασίας και αν απαιτούνται αρκετές λειτουργίες προστασίας, κάποιος θα πρέπει να συνδυάσει μια σειρά από διαφορετικές μονάδες του ρελέ προστασίας. Η επεξεργαστική ισχύ των ψηφιακών ηλεκτρονικών συσκευών είναι ένας από τους κύριους λόγους για να αντικαταστήσει κάποιος αυτές τις παλιές αναλογικές συσκευές. Η ευκολία της ψηφιακής ανταλλαγής δεδομένων είναι ένας άλλος πολύ σημαντικός λόγος για να αντικαταστήσει κανείς τα παραδοσιακά αναλογικά όργανα.

Συνήθως υπάρχουν τρεις κατηγορίες αισθητήρων εισόδου ή μετατροπείς για IEDs. Δύο από αυτά είναι αναλογικά – ρεύματος και τάσης, και η άλλη είναι η ψηφιακή, γεγονός που αντανακλά την κατάσταση και την αλλαγή της κατάστασης πληροφοριών για την επιλεγμένη λειτουργία του εξοπλισμού. Οι IEDs και η εφαρμογή τους στους Υποσταθμούς διευκολύνει την απόκτηση ενισχυμένων στοιχείων. Η ποσότητα των δεδομένων αυξάνεται και όλα τα δεδομένα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά προσφέροντας ήδη πολύ καλύτερη παρακολούθηση της φόρτωσης και της κατάστασης μεταγωγής εντός των υποσταθμών. Τόσο οι αναλογικές όσο και οι ψηφιακές καταστάσεις δεδομένων μπορούν να συλλέγονται από διάφορες θέσεις εντός του Υποσταθμού και υποβάλλονται σε επεξεργασία σε συγκεκριμένη τοποθεσία. Αυτή η θέση μπορεί να είναι η ίδια η τα IEDs ή τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν σε διάφορες εφαρμογές. Τα μελλοντικά IED θα επεξεργάζονται περισσότερα δεδομένα πιο αποτελεσματικά στον υποσταθμό.[11]

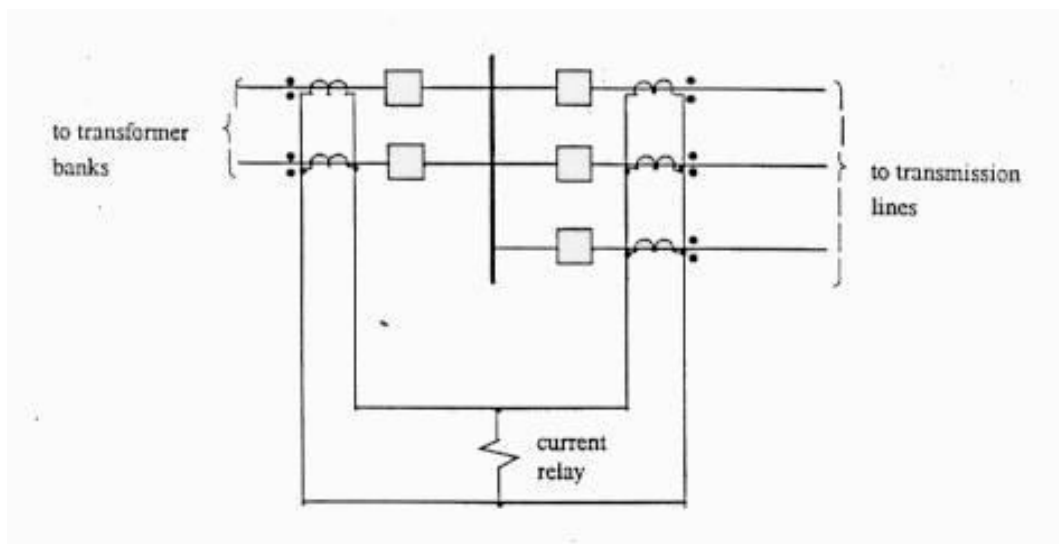
### 7.1 Προστασία από υπερένταση

Η προστασία υπερέντασης χρησιμοποιείται για βλάβες βραχυκυκλώματος και βαριά υπερφόρτωση. Οι λειτουργίες προστασίας υπερέντασης προσφέρουν ίσως την πιο εύκολη και την πιο οικονομική προστασία για πολλές συσκευές. Σήμερα οι IEDs περιλαμβάνουν διάφορα στάδια υπερέντασης που μπορεί να ρυθμιστούν ξεχωριστά. Η IED μετρά την τρέχουσα φάση

και η λειτουργία προστασίας είναι ευαίσθητη για το υψηλότερο από τα τρία ρεύματα φάσης. Κάθε φορά που η υψηλότερη τιμή υπερβαίνει το όριο ενός συγκεκριμένου σταδίου, το στάδιο αυτό το παίρνει και ένα σήμα έναρξης εκδίδεται. Εάν η κατάσταση σφάλματος παραμένει μεγαλύτερη από τη ρυθμισμένη καθυστέρηση λειτουργίας, στέλνεται ένα σήμα διακοπής (trip). Η χρονική καθυστέρηση μπορεί να είναι σταθερού ή αντίστροφου τύπου. Η αντίστροφη καθυστέρηση σημαίνει ότι ο χρόνος λειτουργίας εξαρτάται από το ποσό το μετρημένο ρεύμα υπερβαίνει το ρυθμισμένο όριο. Όσο μεγαλύτερη είναι η τρέχουσα βλάβη τόσο πιο γρήγορη θα είναι η λειτουργία.

## 7.2 Διαφορική Προστασία

Η διαφορική προστασία χρησιμοποιείται ευρέως για την προστασία των γεννητριών, μετασχηματιστών και των ζυγών. Ένα διαφορικό ρελέ μετρά ρεύματα από κάθε φάση σε δύο διαφορετικές θέσεις. Για την κανονική λειτουργία, τα ρεύματα φάσης που εισέρχονται και εξέρχονται είναι ίσα. Εάν το σφάλμα εμφανίζεται μεταξύ των δύο συνόλων των μετασχηματιστών ρεύματος, μία ή περισσότερες φάσεις ρεύματος θα αυξηθούν ενώ από την άλλη το ρεύμα θα μειωθεί ή θα αυξηθεί και θα ρέει στην αντίθετη κατεύθυνση. Το σχήμα 7.1 δείχνει την ιδέα.



Σχήμα 7.1 Ενιαίο διάγραμμα γραμμών ζυγών διαφορικής προστασίας

Μία εφαρμογή αυτού είναι η υψηλή απόκλιση αντίστασης μετεγκατάστασης με βάση την συντηρητική παραδοχή ότι οι Μ/Σ εντάσεως στη μία πλευρά του προστατευόμενου στόχου

λειτουργούν τέλεια για ένα εξωτερικό σφάλμα και η άλλη ομάδα οι Μ/Σ εντάσεως έχουν κορεστεί πλήρως. Εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι η τάση που εμφανίζεται κατά μήκος του ρελέ είναι περιορισμένη για εξωτερικά σφάλματα με την πτώση τάσης που παράγεται από το μέγιστο δευτερεύον ρεύμα που ρέει μέσω των αγωγών από το ρελέ στο κορεσμένο Μ/Σ εντάσεως (CT) και την εσωτερική του αντίσταση. Για μια εσωτερική βλάβη, η τάση θα προσεγγίσει το ανοικτό κύκλωμα.

Μια άλλη λύση είναι ένα ποσοστό διαφορικού ηλεκτρονόμου η οποία λύνει τα προβλήματα της κακής ευαισθησίας και την αργή λειτουργία. Οι είσοδοι από τις δύο σειρές των Μ/Σ εντάσεως χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν μια ποσότητα συγκράτησης. Αυτό συγκρίνεται στη συνέχεια με τη διαφορά των δύο αυτών ρευμάτων. Η λειτουργία παράγεται ως αποτέλεσμα της σύγκρισης της διαφοράς με την αυτοσυγκράτηση. Αυτό ελαττώνει την ευπάθεια των σφαλμάτων του ρελέ υψηλών εξωτερικών ρευμάτων. Το ρελέ θα λειτουργήσει μόνο αν πληρούται ο τύπος:

$$|I_1 - I_2| \geq k \cdot \left| \frac{I_1 + I_2}{2} \right| \quad (7.1)$$

όπου  $k$  είναι η αναλογία του ρεύματος λειτουργίας του πηνίου με την τρέχουσα συγκράτησης και ρυθμίζεται τυπικά μεταξύ 10 - 40%.

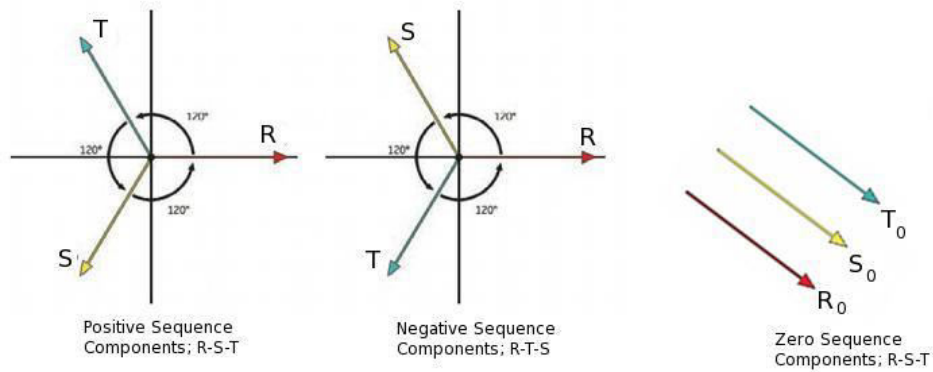
Το ρεύμα που απαιτείται για την λειτουργία των ρελέ αυξάνεται με το μέγεθος του ρεύματος σφάλματος. Το ποσοστό των αυξήσεων μπορεί να είναι σταθερό ή το ποσοστό των αυξήσεων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την τρέχουσα εξωτερική βλάβη. Η επίδραση της αντίστασης στο εσωτερικό σφάλμα είναι αμελητέα, επειδή η ποσότητα λειτουργίας σταθμίζεται και ανταποκρίνεται σύμφωνα με την συνολική τρέχουσα δευτερογενή βλάβη. [15]

Τα πολυλειτουργικά ρελέ μικροεπεξεργαστών δεν έχουν φυσική λειτουργία εκκαθάρισης, η διαφορά των συγκρατημένων ρευμάτων υπολογίζεται μαθηματικά από αλγόριθμους.

### 7.3 Ασύμμετρη Προστασία

Η ασύμμετρη προστασία βασίζεται σε πληροφορίες που οποιοδήποτε σύνολο ασύμμετρών ποσοτήτων τριών φάσεων θα μπορούσε να εκφραστεί ως το άθροισμα των τριών συμμετρικών ισορροπημένων φάσεων. Υπάρχουν τρία σετ ανεξάρτητων συστατικών σε ένα τριφασικό σύστημα: θετική, αρνητική και μηδενική, τόσο για το ρεύμα όσο και την τάση. Οι θετικές ακολουθίες τάσης παρέχονται από τις γεννήτριες του συστήματος και είναι πάντα παρών. Ένα δεύτερο σύνολο ισορροπημένων φάσεων είναι επίσης ίσο σε μέγεθος και με διαφορά 120°, αλλά εμφανίζει μια ακολουθία αριστερόστροφης περιστροφής του R-S-T, η οποία αντιπροσωπεύει μια αρνητική ακολουθία. Το τελικό σύνολο ισορροπημένων φάσεων είναι ίσο σε μέγεθος και σε φάση μεταξύ τους, ωστόσο, εφόσον δεν υπάρχει περιστροφική

ακολουθία αυτό είναι γνωστό ως μηδενική ακολουθία. Το σχήμα 7.2 δείχνει τις διάφορες συνιστώσες διανύσματος.[16]



Σχήμα 7.2 Εξαρτήματα θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας

Οι συμμετρικές συνιστώσες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό τυχόν μη ισορροπημένου ρεύματος ή τάσης ( $I_R, I_S, I_T$  ή  $U_R, V_S, U_T$  με τα οποία γίνεται αναφορά σε ασύμμετρων φάσεων Γραμμή-Προς-Ουδέτερο) ως εξής:

$$I_E = I_1 + I_2 + I_0 \quad U_R = U_1 + U_2 + U_0 \quad (7.2)$$

$$I_S = a_2 I_1 + a I_2 + I_0 \quad U_S = a_2 U_1 + a U_2 + U_0 \quad (7.3)$$

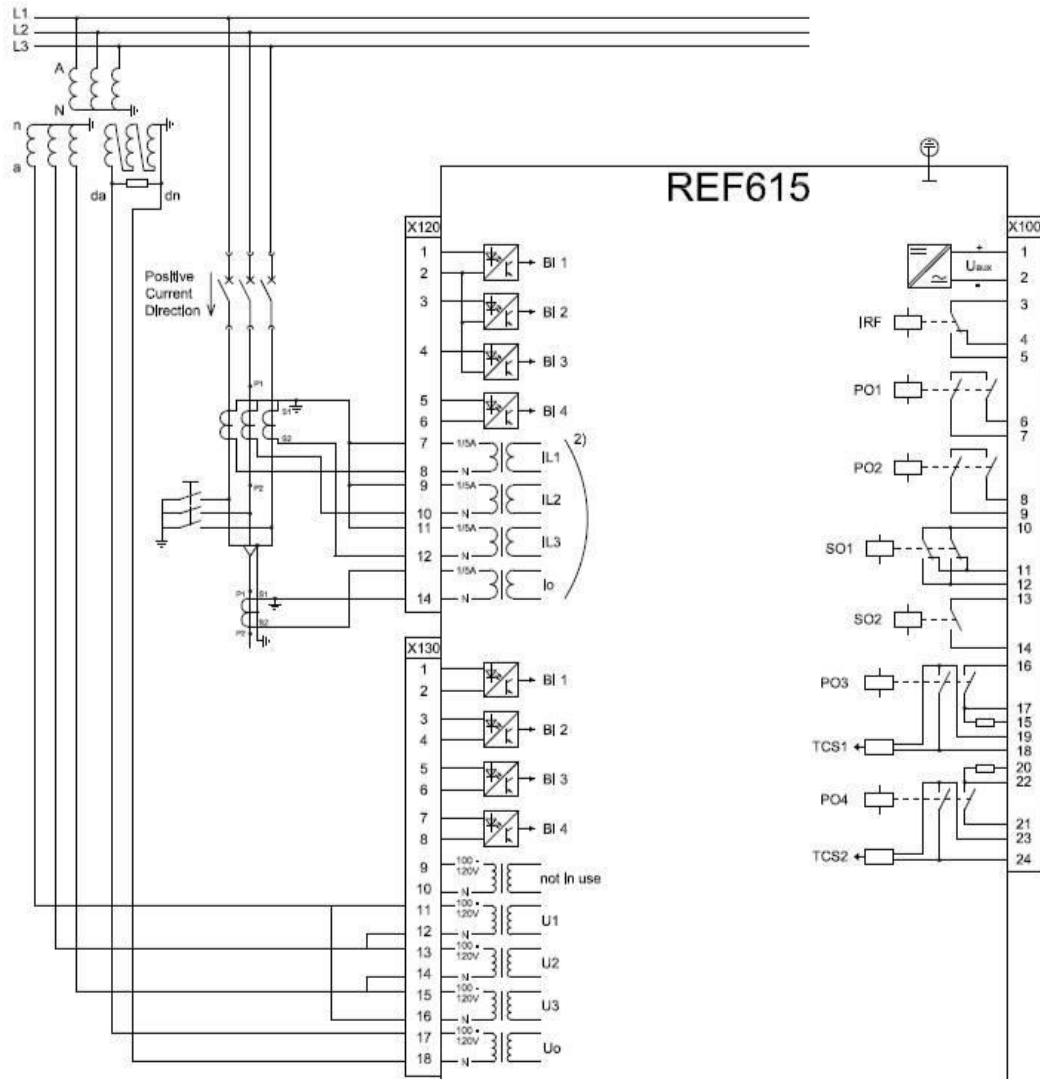
$$I_T = a I_1 + a_2 I_2 + I_0 \quad U_T = a U_1 + a_2 U_2 + U_0 \quad (7.4)$$

όπου "a" ο χειριστής μετατοπίζει ένα φορά κατά μία γωνία 120 μοιρών προς τα αριστερά.

Υπό κανονικές συνθήκες, το σύστημα τροφοδοσίας θεωρείται ουσιαστικά ένα συμμετρικό σύστημα και υπάρχουν επομένως μόνο θετικά ρεύματα αλληλουχίας και τάσεις. Κατά τη στιγμή της βλάβης, θετικά, αρνητικά και ενδεχομένως να υπάρχουν μηδέν ρεύματα αλληλουχίας και τάσεις. Χρησιμοποιώντας πραγματικές τάσεις φάσης και ρεύματα μαζί με φόρμουλες Fortescue, μπορούν να υπολογιστούν όλα τα θετικά, τα αρνητικά και μηδενικής ακολουθίας ρεύματα. Τα ρελέ προστασίας χρησιμοποιούν αυτά τα στοιχεία ακολουθίας μαζί με την τρέχουσα φάση ή και δεδομένα τάσης ως είσοδο σε προστατευτικά στοιχεία. [16]

## 7.4 Σφάλμα προστασίας προς γη

Ένα ρελέ σφάλματος γης είναι ένα ρελέ υπερέντασης και συνδέεται με το κύκλωμα στο σημείο αστέρα ενός συνόλου 3 φάσεων Μ/Σ εντάσεως και μετράται ως το άθροισμα του ρεύματος. Υπό κανονικές συνθήκες, το άθροισμα της φάσης-ρεύματος  $I_1$ ,  $I_2$  και  $I_3$  δηλαδή μηδενικό ρεύμα, το  $3 \cdot I_0$  θα πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν. Το σχήμα 7.3 δείχνει πώς αυτές οι Μ/Σ εντάσεως συνδέονται συνήθως με το ρελέ.

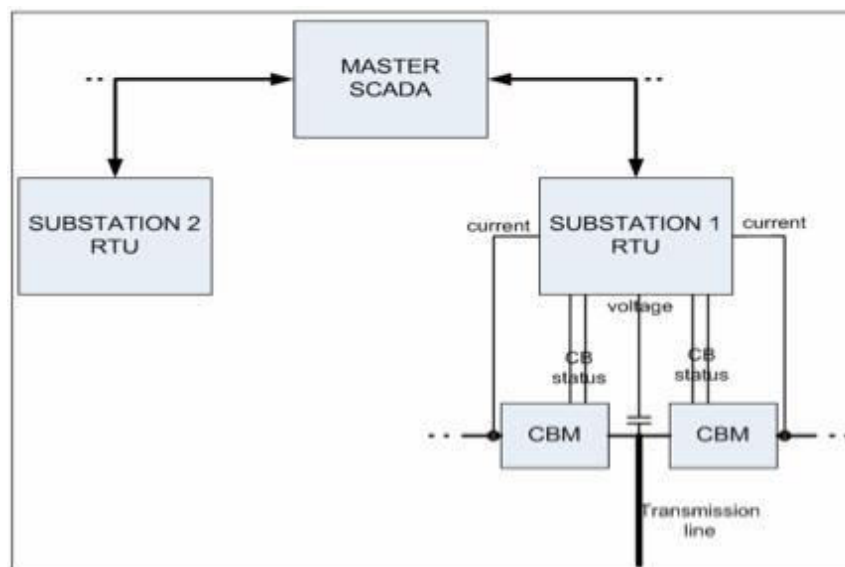


Σχήμα 7.3 IED με τις μετρήσεις σφάλματος γης. (Terminal Διάγραμμα REF615)

## 8 Παρακολούθηση τοπολογίας σε πραγματικό χρόνο

Σε ένα σύστημα ισχύος, η τοπολογία ορίζεται από την συνδεσιμότητα μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπως μετασχηματιστές, διακόπτες κυκλώματος, γραμμές μεταφοράς και τα φορτία. Οι αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με την τοπολογία είναι σημαντικές για πολλές δράσεις οι οποίες εκτελούνται στο σύστημα. Γενικά, η τοπολογία του δικτύου ενημερώνεται από την κατάσταση των μηχανισμών διακοπής. Ο συνηθισμένος τρόπος είναι να παρακολουθεί την κατάσταση του Διακόπτη Κυκλώματος CB (Circuit Breaker) ή να μετρά το στοιχείο και να ενημερώνει την τοπολογία με βάση αυτές τις πληροφορίες. Για παράδειγμα, σε παλαιότερα συστήματα RTUs και σήμερα IEDs είναι συνδεδεμένο σε οριακούς διακόπτες κυκλώματος που λειτουργούν όταν ο μηχανισμός διακοπής αλλάζει κατάσταση. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο γίνεται συνήθως μέσω των RTUs του SCADA και τις αλλαγές στην κατάσταση του CB αναφέρει στο περιβάλλον SCADA.

Σήμερα η κατάσταση του CB παρακολουθείται από τους οριακούς διακόπτες κυκλώματος ελέγχου ως «a» και «b». Οι επαφές αυτές έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε μία ανοικτή και μία κλειστή κατάσταση να είναι εύκολο να προσδιοριστεί με επαλήθευση της αντίθετης κατάστασης του «a» και «b» στη θέση επαφής. Παρακολουθώντας την ανοικτή/κλειστή κατάσταση όλων των CBs, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένα ευρύ διαμόρφωσης τοπολογίας ζυγού/τροφοδότη του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 8.1, το «a» και τα σήματα επαφής «b» παρουσιάζουν την τάση κατά μήκος των βοηθητικών διακοπών οι οποίοι καθορίζουν την ανοικτή ή κλειστή κατάσταση του CB.[17]



## Σχήμα 8.1 Παραδοσιακή τοπολογία SCADA

Η αξιοπιστία της επαφής ένδειξης «a», «b» ήταν μια ανησυχία λόγω των σχετικά συχνών σφαλμάτων στις μετρήσεις των επαφών, που μπορεί να προκαλέσουν δυσλειτουργία, ή λάθη στην επικοινωνία SCADA.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο βοηθητικός διακόπτης ορίου δεν δείχνει την πραγματική κατάσταση του διακόπτη κυκλώματος λόγω μηχανικού, ηλεκτρικού ή προβλήματος καλωδίωσης. Οι περισσότερες από τις αποτυχιές διακόπτη που έχουν εντοπιστεί στον τομέα μπορεί να οριστούν σε μηχανικές βλάβες και δυσκολίες που σχετίζονται με τα βοηθητικά κυκλώματα ελέγχου. Περίπου το 25% των μειζόνων και ελασσόνων αποτυχιές των διακοπών κυκλώματος στην επισκευή προκαλούνται από σφάλματα στο κύκλωμα ελέγχου.

Δύο γενικά θέματα που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της τοπολογίας, δηλαδή το σύστημα ευρείας προσπάθειας να βελτιώσει τη συνολική αποφασιστικότητα τοπολογίας του δικτύου και την τοπική προσπάθεια να βελτιωθεί η διαδικασία καθορισμού της κατάστασης ενός CB. Τοπικά σε επίπεδο υποσταθμού, τα θέματα τοπολογίας περιλαμβάνουν την εξέταση της αυτοματοποιημένης ανάλυσης της κατάστασης CB με βάση τις μετρήσεις σήματος από το κύκλωμα ελέγχου του CB, αλλά επίσης, η εξέταση του ελέγχου τοπολογίας συνοχής βασίζεται σε μετρήσεις από IEDs του Υποσταθμού.

### 8.1 Παρακολούθηση

Η παρακολούθηση, ειδικά αν εκτελείται σε πραγματικό χρόνο, απαιτεί την αναλογική μέτρηση των ρευμάτων και των τάσεων, καθώς και τη μέτρηση της κατάστασης CB. Το λογισμικό απόκτησης δεδομένων θα πρέπει να «τρέχει» συνέχεια ώστε ο χειριστής να μπορεί να διατηρήσει τη διαδικασία αποτελεσματική σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν επίσης εφαρμογές όπως συσκευές εγγραφής διαταραχής που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση και την ανάλυση σφαλμάτων και άλλα τέτοια περιστατικά έπειτα αλλά η χρήση στην κανονική κατάσταση δεν είναι χρήσιμη.

Στην επόμενη παράγραφο ασχολούμαστε με τις δυνατότητες που μπορούν να βοηθήσουν στο να καθοριστεί η τοπολογία του συστήματος αξιόπιστα.[17]

### 8.2 Πολλαπλές και περιττές πληροφορίες

Αν ένα σήμα είναι διαθέσιμο από διάφορες πηγές, η σύγκριση μπορεί ουσιαστικά να γίνει αρκετά εύκολα και να αποφασιστεί αν ταιριάζουν τα σήματα. Ο πίνακας 8.1 δείχνει ένα παράδειγμα κατάστασης όπου υπάρχουν τα περιττά σήματα και πως η μείωση θα μπορούσε να εντοπιστεί.

Πίνακας 8.1 Περιγραφή των τύπων των σημάτων για DFRs, DPRs και μέτρα οικοδόμησης εμπιστοσύνης.

<b>Digital Fault Recorder</b>	<b>Digital Protective Relay</b>	<b>Circ. Breaker Monitor</b>
“A” and “B” contacts	“A” and “B” contacts	“A” and “B” contacts
Phase currents	Phase currents	Phase currents
Relay trip signal	Relay trip signal	Trip and close initiate
Recloser timing signal	Recloser timing signal	Trip and close currents
Breaker failure initiate	Breaker failure initiate	“X” and “Y” coils
Comm. scheme signals	Comm. scheme signals	DC supply

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, η μείωση υπάρχει και η σύγκριση είναι δυνατό να εκτελεστεί. Στην περίπτωση που τα σήματα ταιριάζουν, το επίπεδο της εμπιστοσύνης για τα δεδομένα είναι αρκετά υψηλό. Αν αυτά τα σήματα διαφέρουν μεταξύ τους, μια λογική ψήφου 2-από-τα-3 μπορεί να εφαρμοστεί για να επιλεγεί ένα πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα. Ωστόσο, αυτού του είδους η λύση είναι πολύ σπάνια σε συστήματα SCADA.

Ένα πλεονέκτημα της συσχέτισης μεταξύ αναλογικών μετρήσεων και σημάτων κατάστασης του διακόπτη κυκλώματος είναι μια δυνατότητα να οριοθετηθεί με ακρίβεια η αλληλουχία των γεγονότων που σχετίζονται με την εκκαθάριση σφάλματος. Αυτό βελτιώνει την ανάλυση της λειτουργίας ενός μόνο διακόπτη κυκλώματος, αλλά επίσης επιτρέπει την ανάλυση της λειτουργίας των πολλαπλών διακοπών κυκλώματος. Αν ο τροφοδότης περιλαμβάνει αρκετούς διακόπτες κυκλώματος, είναι δυνατόν να παρακολουθεί αυτές τις διακοπές ταυτόχρονα συνδυάζοντας καταστάσεις τους και να ορίζει την κατάσταση ως ένα ισοδύναμο διακόπτη.

Ο προσδιορισμός της τοπολογίας του συστήματος ισχύος με μεγάλη ακρίβεια με τη χρήση πληροφοριών SCADA, δεν είναι πάντα εφικτός. Αξιοποιώντας στοιχεία από διαφορετικές IEDs που συνδέονται με ένα συγκεκριμένο διακόπτη βελτιώνει την ευρωστία για τον προσδιορισμό της τοπολογίας, αλλά μπορεί επίσης να χρειάζονται ειδικές λύσεις και αίτηση για την απόκτηση δεδομένων και την ενσωμάτωση μιας τέτοιας εφαρμογής στο υπάρχον σύστημα SCADA .[17]



### **8.3 Κύκλωμα Παρακολούθησης κατάστασης διακόπτη**

Οι αναφερόμενες IEDs επιτρέπουν την παρακολούθηση των λειτουργικών καθηκόντων του διακόπτη: την εκκαθάριση των βλαβών και την αλλαγή της τοπολογίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση, ένα αυτόματος ελεγκτής ή ένας χειριστής κινεί τη λειτουργία διακόπτη, το τελικό αποτέλεσμα ενός διακόπτη αλλάζει κατάσταση ή παραμένει στο ίδιο και εξαρτάται από την λειτουργία που ο διακόπτης κυκλώματος υποστηρίζει. Για παράδειγμα, τα σήματα τάσης και ρεύματος θα πρέπει να αλλάξουν, αν υπάρχει βλάβη στη γραμμή μετάδοσης. Το ρελέ θα πρέπει να καθορίσει τη θέση βλάβης και το είδος βλάβης που οδηγεί σε μια απόφαση για τη διαδικασία, και αν υπάρχει ένα διαδικασία ή εντολές κλεισίματος, η οθόνη του κυκλώματος ελέγχου του διακόπτη καταγράφει τη συμπεριφορά του κυκλώματος ελέγχου. Ολόκληρη η ακολουθία μπορεί να πει αν ο διακόπτης κυκλώματος λειτουργεί σωστά, και αν όχι, ποιοι είναι οι πιθανοί λόγοι.

Μια πιθανή λύση είναι η οθόνη του διακόπτη που θα είναι μόνιμα συνδεδεμένη με τον υποσταθμό του διακόπτη. Η οθόνη παρακολούθησης του διακόπτη (Circuit Breaker Monitor) CBM καταγράφει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με κάθε λειτουργία του διακόπτη σε πραγματικό χρόνο, ανεξάρτητα από το αν η λειτουργία ξεκινά χειροκίνητα από τον χειριστή ή αυτόματα από τον εξοπλισμό προστασίας και ελέγχου και τα αποθηκεύει σε μορφή αρχείου COMTRADE. Η ιδέα του συστήματος είναι ότι μετά τη συλλογή των δεδομένων, αυτά επεξεργάζονται αυτόματα για να συλλέξει τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν, τα οποία στη συνέχεια διανέμονται σε διάφορους χρήστες.[17]

### **8.4 Επιλογή σήματος για Τοπολογία**

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός των ποσοτήτων και των σημάτων που θα μπορούσαν να παρακολουθούνται για λόγους διακοπής κυκλώματος και παρακολούθησης τοπολογίας. Υπάρχουν επίσης πολλές μέθοδοι για τη μέτρηση ή τον υπολογισμό των παραμέτρων αυτών. Παραδοσιακά οι υπολογισμοί γίνονται από κάποιο άλλο πρόγραμμα και όχι το SCADA. Για το SCADA τα σήματα προς παρακολούθηση θα πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνουν αρκετές πληροφορίες για να βγάλει συμπεράσματα για τον διακόπτη κυκλώματος και την κατάσταση του συστήματος και τις λειτουργίες χωρίς υπολογισμούς. Είναι σημαντικό να έχουμε ένα πλήρες σύνολο ποσοτήτων/σημάτων για να είναι σε θέση να κάνει ανάλυση της ποιότητας ανά μορφή και να δώσει αξιόπιστες πληροφορίες για την κατάσταση του διακόπτη.

Τα δεδομένα συλλέγονται από τους διακόπτες κυκλώματος σε έναν υποσταθμό, και το σύστημα συνδυάζει τα δεδομένα για να κάνουν κρατήσεις για την απόδοση τοπολογίας και τη λειτουργία του συστήματος που θα μπορούσε να βοηθήσει στην αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος. Πιο ακριβής και αξιόπιστη εκτίμηση της τοπολογίας του συστήματος μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση πλεοναζόντων δεδομένων από το σύστημα SCADA και το σύστημα παρακολούθησης.[17]

## **8.5 Επικύρωση δεδομένων**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχει περισσότερη πληροφορία διαθέσιμη από αυτή που χρησιμοποιείται. Μετά τον καθορισμό των κατάλληλων σημάτων, ελάχιστες απαιτήσεις για τα σήματα και τα αρχεία έχουν επίσης, καθοριστεί. Τα σήματα μπορεί να υποφέρουν από διάφορες παρεμβολές που μεταφέρονται κατά μήκος, έτσι συγκεκριμένες ρουτίνες χειρισμού σφαλμάτων έχουν ήδη έχουν συμπεριληφθεί στα πρωτόκολλα. Αυτές οι μέθοδοι μπορεί να ειπωθεί ότι είναι σταθερές και δεν είναι δυνατή ή ακόμη και απαιτούμενη η ρύθμισή τους.

Η κατάσταση είναι διαφορετική σε εφαρμογές βάσεων δεδομένων και άλλα προγράμματα που χρησιμοποιούν ορισμένα εισαγόμενα δεδομένα. Είναι σημαντικό οι εφαρμογές να λειτουργούν με καθαρά και σωστά δεδομένα. Προκειμένου οι εφαρμογές να λειτουργούν όπως έχουν προγραμματιστεί κάποιες απαιτήσεις για τα εισαγόμενα δεδομένα πρέπει να καθοριστούν. Για να ανταποκριθούν σε αυτές τις βασικές απαιτήσεις, είναι στο χέρι του χρήστη ή των ρουτινών στο πρόγραμμα το να επιβεβαιώνονται ότι τα δεδομένα είναι έγκυρα. Η επικύρωση θα μπορούσε να περιλαμβάνει ορισμένους ελέγχους που μπορούν να εκτελεστούν για την εγγραφή αμέσως μετά την εγγραφή των δεδομένων ή σαν τις βάσεις δεδομένων οι ρουτίνες τυπικά εκτελούνται σε ορισμένο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα μία φορά την ημέρα. Οι βάσεις δεδομένων επιτρέπουν επίσης να οικοδομήσουμε πιστοποιημένες ρουτίνες με μεγάλη ακρίβεια και μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επικύρωση των εισαγομένων δεδομένων είναι, στατιστικά. Αυτό το είδος της εφαρμογής είναι πολύ περίπλοκη και συνήθως χρειάζεται μια εξωτερική μαθηματική ανάλυση.

Σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας η παρακολούθηση της κατάστασης διενεργείται τακτικά ανά μετρήσεις και η κατάσταση της συσκευής αναλύεται με βάση αυτά τα δεδομένα. Η κατάσταση παρακολούθησης της κατάστασης της συσκευής επικυρώνεται από:

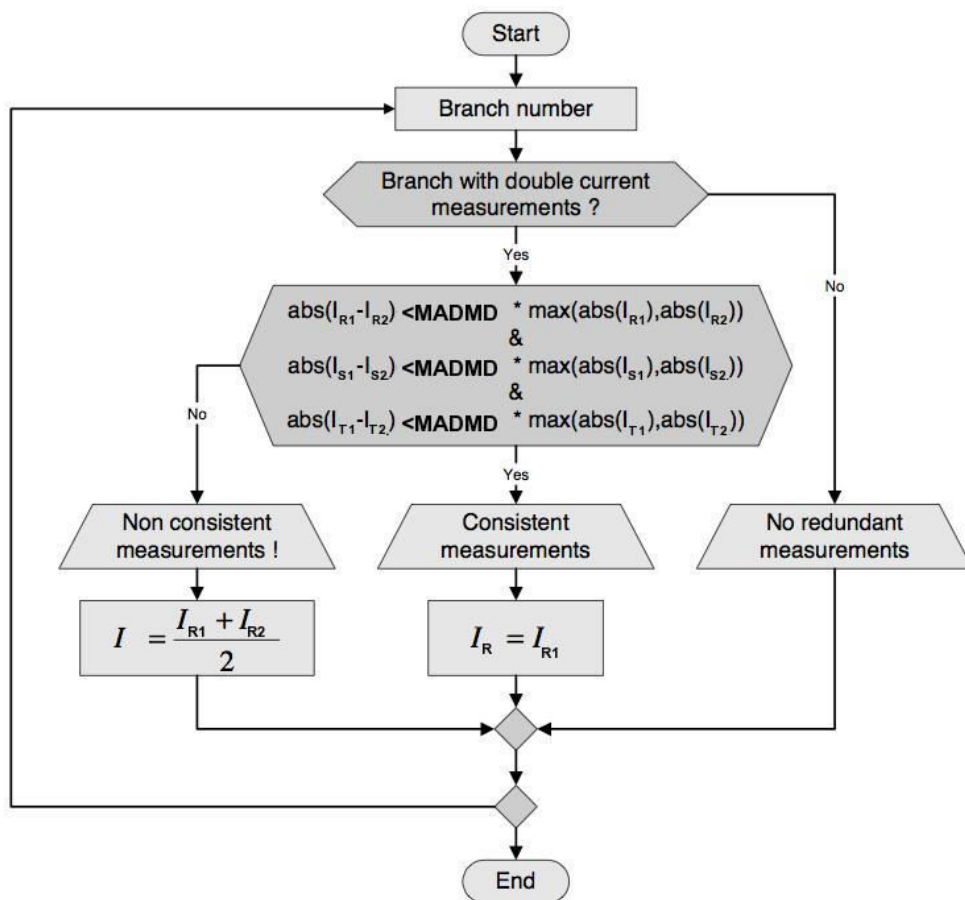
- Τα όρια συναγερμού, εάν η υπάρχει υπέρβαση του ορίου ή μεταβολή της τιμής μέτρησης.
- Η παρακολούθηση των τάσεων. Εάν οι τιμές αλλάζουν σε μεγάλο χρονικό διάστημα αυτό δείχνει αλλαγές στο φορτίο ή αλλαγές στη χρήση. Μια απλή λύση είναι ότι η

ποσότητα αιχμών δημιουργεί συναγερμό, και μπορεί να εκτελέσει οδηγίες ανάλυσης της κατάσταση.

Είναι δυνατή η χρήση αυτών των μεθόδων σε SCADA αλλά πρέπει να είναι γνωστό πώς τα όριά του μπορεί να ρυθμιστούν αξιόπιστα.

## 8.6 Έλεγχος Χρησιμοποιώντας Περισσότερες Μετρήσεις Ρεύματος

Θα μπορούσαν να υπάρχουν συγκροτήματα που περιέχουν διακόπτες κυκλώματος με δύο τρέχοντες μετασχηματιστές στους δακτυλίους τους. Οι περιττές μετρήσεις του ρεύματος που αποκτήθηκαν από RTU ή κάποιο άλλο IED παρακολουθούν τον τροφοδότη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να αποφασίσει ποια είναι η τιμή για το ρεύμα στον τροφοδότη αλλά πρέπει επίσης να γίνει δυνατό να συνδυάσει αυτές τις δύο μετρήσεις. Στην ιδανική περίπτωση, οι δύο τιμές θα πρέπει να είναι ίσες. Η απόφαση του μία από τις δύο μετρήσεις να είναι σωστή είναι απλή αν και οι δύο μετρήσεις είναι οι ίδιες, αλλά γίνεται λίγο πιο δύσκολο όταν οι τιμές είναι διαφορετικές. Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου απεικονίζεται στο σχήμα 8.2.[18]



Σχήμα 8.2 Αλγόριθμος για τον έλεγχο συνέπειας της τροφοδοσίας του ρεύματος.

Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να χειριστεί όλα τα τροφοδοτικά στο σταθμό. Πρώτον, καθορίζει εάν υπάρχει μια επιπλέον μέτρηση του ρεύματος στον τροφοδότη. Στους τροφοδότες όπου υπάρχει περιττή μέτρηση, μπορεί να προταθεί έλεγχος συνέπειας. Το κριτήριο είναι ότι η απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ των ρευμάτων φάσης θα πρέπει να είναι μικρότερη από ορισμένο ποσοστό της απόλυτης τιμής του μεγαλύτερου ρεύματος. Στην περίπτωση αυτή, το ποσοστό ορίζεται από τη μεταβλητή MADMD (μέγιστη επιτρεπόμενη διπλά Μετρούμενη διαφορά). Το κριτήριο αυτό πρέπει να ικανοποιηθεί και για τις τρεις φάσεις. Η πιθανότητα είναι ότι δεν θα υπάρχει διαφορά στην γωνία φάσης χωρίς τις διαφορές που διαπιστώθηκαν στο μέγεθος.

Εάν το κριτήριο ικανοποιείται, το ρεύμα στο τροφοδοτικό θα επιλέξει μία από τις μετρήσεις (δεδομένου ότι είναι η ίδια με την μεταβλητή που καθορίζεται ακριβώς από τη MADMD).

Στην περίπτωση που κανένα από τα ισχύοντα κριτήρια φάση δεν ικανοποιείται, ένας συναγερμός δημιουργείται. Το ρεύμα σε έναν τροφοδότη προσδιορίζεται ως η μέση τιμή των δύο τρεχουσών μετρήσεων. Μια εναλλακτική λύση σε αυτό το συμπέρασμα θα ήταν να σηματοδοτήσει το ρεύμα σε αυτό το τροφοδότη, και μετά από επιπρόσθετους ελέγχους, να απορρίψει μία από τις μετρήσεις. [18]

## **8.7 Έλεγχος Χρησιμοποιώντας μετρήσεις Χωρίς περιττές πληροφορίες**

### **8.7.1 Ρεύμα**

Η μέθοδος επικύρωσης που εισήχθη στην παράγραφο 8.6 μπορεί να εφαρμοστεί, ακόμη αν και δεν υπάρχουν δύο μετρήσεις στον τροφοδότη. Οι βάσεις επικύρωσης ρουτίνας στην ψηλότερη φάση του ρεύματος μετριέται ( $I_{max}$ ) και τα δύο άλλα ρεύματα φάσης (δηλαδή  $I_R$ ,  $I_S$ ) είναι σε σύγκριση με το  $I_{max}$  ρεύμα. Εάν η μετρούμενη τιμή στις δύο φάσεις ( $I_R$ ,  $I_S$ ) πέσουν κατώτερα από ορισμένα ποσοστά της  $I_{max}$  παράγεται ο συναγερμός. Αυτό το ποσοστό θα μπορούσε να είναι δηλαδή το 15% του  $I_{max}$  ( $0,15 \times I_{max}$ ).

Είναι καλό να παρατηρήσετε ότι αυτή η μέθοδος είναι πολύ πιο αποτελεσματική, αν ληφθούν υπόψη, επίσης, και οι καταστάσεις διακόπτη από το συγκεκριμένο τροφοδότη.

### **8.7.2 Τάση**

Η ίδια μέθοδος λειτουργεί και με τις τάσεις και τη διαδικασία επικύρωσης μπορεί να είναι πολύ παρόμοια, όπως ήταν με το ρεύμα. Η μέγιστη μετρούμενη τάση ( $U_{max}$ ) μπορεί να διαβαστεί και οι δύο άλλες φάσεις συγκρίνονται με την  $U_{max}$  για το αν είναι τα όρια ακριβώς. Αυτού του είδους η λειτουργία είναι αρκετά αξιόπιστη.

## 8.8 Έλεγχος με τους νόμους του ρεύματος του Kirchoff

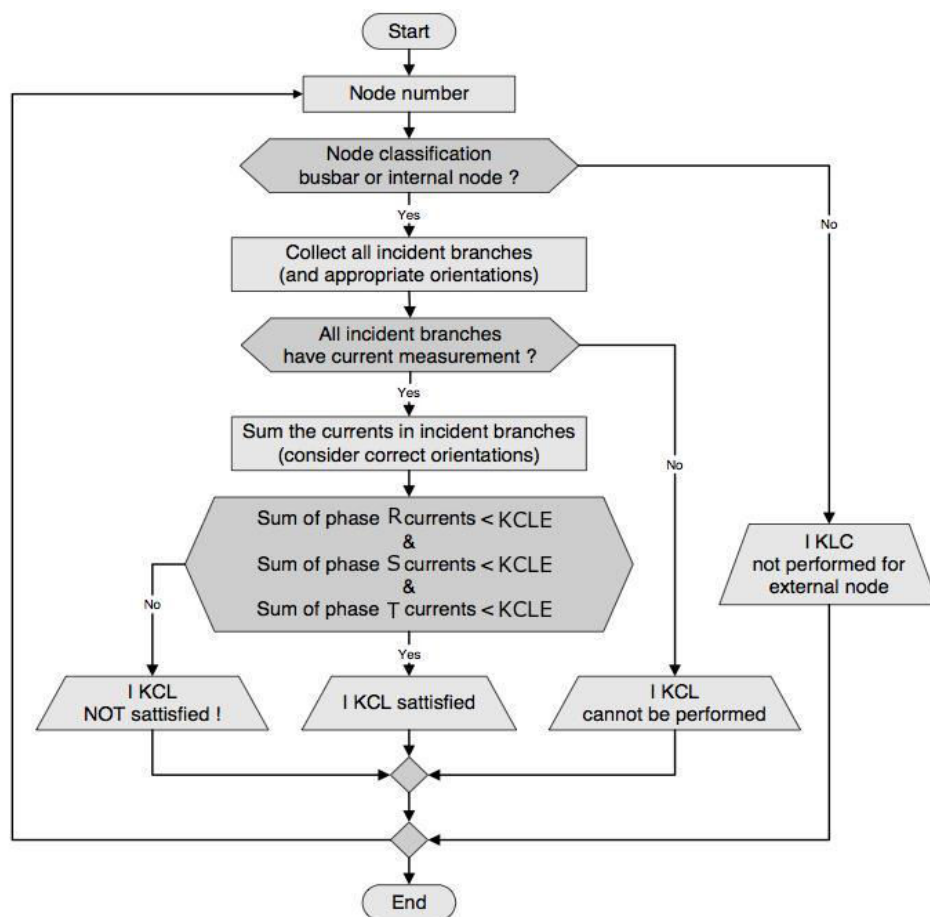
Αυτός ο τύπος ελέγχου μπορεί να εκτελεστεί για όλους τους κόμβους όπου συναντώνται δύο ή περισσότεροι τροφοδοτές και τις μετρήσεις του ρεύματος που υπάρχουν σε όλες αυτούς τους τροφοδοτές. Ο νόμος του ρεύματος του Kirchoff (KCL) μπορεί να διατυπωθεί με λόγια:

«Σε οποιονδήποτε κόμβο σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, το άθροισμα των ρευμάτων που ρέουν μέσα στον κόμβο είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων που ρέουν έξω από τον κόμβο.»

Ή σε μαθηματικούς όρους:

$$\sum_{k=1}^n \bar{I}_k = 0 \quad (8.1)$$

Ο αλγόριθμος παρουσιάζεται στο σχήμα 8.3.



Σχήμα 8.3 Αλγόριθμος για τον έλεγχο του νόμου του ρεύματος του Kirchoff

Κατ' αρχάς, ελέγχεται η ταξινόμηση του κόμβου. Μόνο οι ζυγοί και οι εσωτερικοί κόμβοι του υποσταθμού λαμβάνονται υπόψη. Ο πρώτος νόμος του Kirchoff (KCL) δεν γίνεται για τους εξωτερικούς κόμβους αφού διαχωρίζουν την γραμμή μεταφοράς (που συνδέει δύο

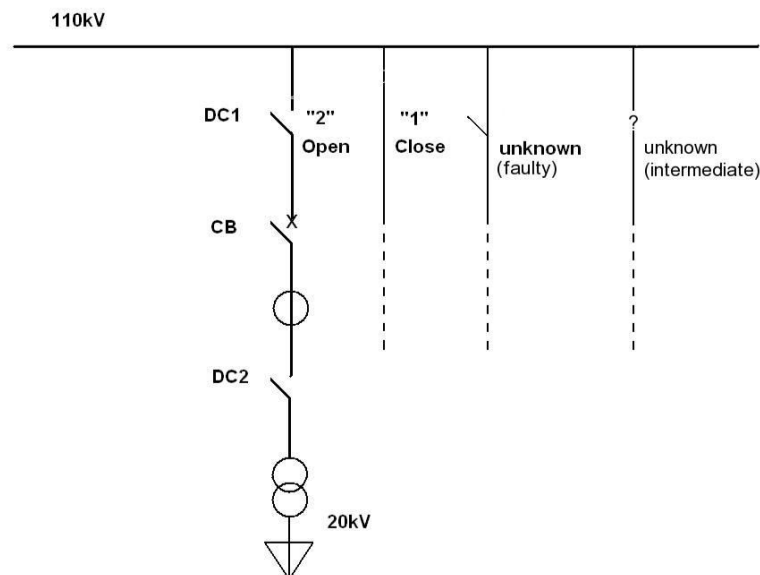
υποσταθμούς) σε δύο μέρη και συνήθως δεν υπάρχει τρέχουσα μέτρηση διαθέσιμη τουλάχιστον στη μία πλευρά.

Για ζυγούς ή εσωτερικούς κόμβους, οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να καθοριστούν και να γίνεται ένας έλεγχος για να δούμε αν όλα αυτά είναι εξοπλισμένα με RTUs ή IEDs που μετρούν τα ρεύματα.

Για τους εσωτερικούς κόμβους, υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για τον έλεγχο με τον νόμο του Kirchhoff. Τα ρεύματα στους κόμβους που τροφοδοτούν το περιστατικό συνοψίζονται σύμφωνα με τον προσανατολισμό του κάθε ρεύματος (έξοδος ή είσοδος του κόμβου). Τότε η κατάσταση του πρώτου του νόμου του Kirchhoff μπορεί να ελεγχθεί για κάθε φάση ξεχωριστά. Στην ιδανική περίπτωση το άθροισμα των ρευμάτων θα πρέπει να είναι μηδέν, αλλά φυσικά, θα πρέπει να επιτρέπονται ορισμένα σφάλματα. Αυτό ορίζεται με την μεταβλητή KCLE. [17]

### 8.9 Έλεγχος της κατάστασης της Γραμμής Μεταφοράς.

Ο προσδιορισμός της μεταγωγής καταστάσεων της Γραμμής Μεταφοράς μπορεί να επιτευχθεί λαμβάνοντας υπόψη όλες τις συσκευές μεταγωγής (στοιχεία μεταγωγής). Συνήθως υπάρχει είτε διακόπτης κυκλώματος με ένα γειωτή ή ένα αποζεύκτη και μία γραμμή αποσύνδεσης σε μια Γραμμή Μεταφοράς του υποσταθμού μέσης τάσης.



Σχήμα 8.4 Ο τροφοδότης με ένα διακόπτη και δύο αποζεύκτες.

Οι διαφορετικές καταστάσεις μεταγωγής της μίας συσκευής παρουσιάζονται επίσης.

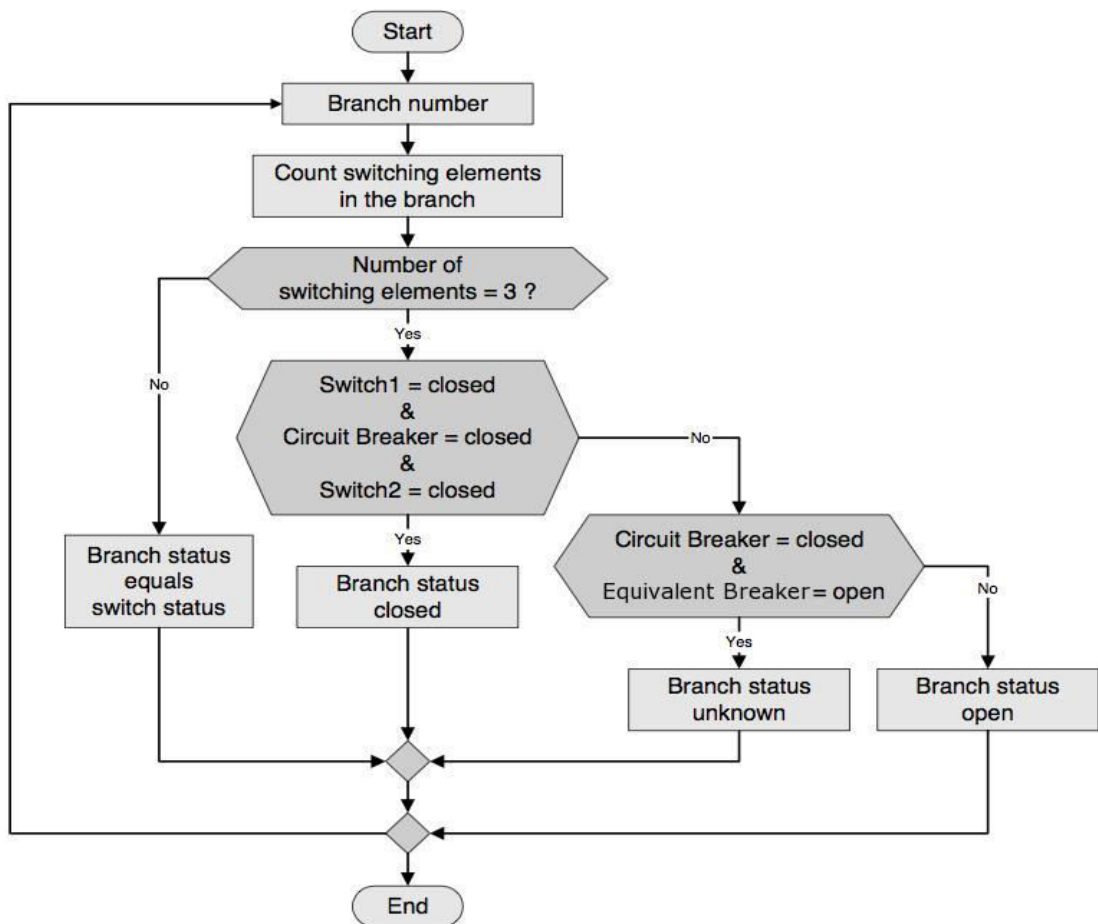
Όπως έχει προαναφερθεί, η κατάσταση της Γ.Μ. στην τοπολογία μπορεί επίσης να είναι προσδιορισθεί με βάση την κατάσταση του CB. Η λογική που εφαρμόζεται για τις Γ.Μ. με τρεις συσκευές μεταγωγής, φαίνεται στον πίνακα 8.2.

Πίνακας 8.2 Εφαρμοσμένη λογική για τον έλεγχο της κατάστασης τροφοδότη στην περίπτωση ενός διακόπτη ισχύος (CB) και δύο αποζεύκτων (DC).

<b>DC1</b>	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>CB</b>	1	1	2	2	1	1	2	2
<b>DC2</b>	1	1	1	1	2	2	2	2
<b>Κατάσταση Γ.Μ.</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Θέση</b>	<b>Κοντά</b>	<b>Ανοιχτό</b>	<b>Ανοιχτό</b>	<b>Ανοιχτό</b>	<b>Ανοιχτό</b>	<b>Ανοιχτό</b>	<b>Ανοιχτό</b>	<b>Ανοιχτό</b>

**1 = Κλείσιμο, 2 = Άνοιγμα, άλλα = Άγνωστος**

Η λειτουργία ελέγχει την εναλλαγή καταστάσεων συσκευών της Γ.Μ. Η λειτουργία αποτελείται από δύο εντολές if. Κατ' αρχάς, εάν όλες οι τιμές κατάστασης είναι «1» (κλειστή), τότε η κατάσταση της Γ.Μ. είναι «3» και ο διακόπτης κυκλώματος (CB) είναι επίσης κλειστός. Στη συνέχεια, υπάρχει μια κατάσταση, όταν όλες οι συσκευές μεταγωγής είναι ανοιχτές «2», τότε η κατάσταση της Γ.Μ. είναι «6» και ο διακόπτης κυκλώματος είναι «ανοιχτός». Το ισοδύναμο κύκλωμα του διακόπτη ορίζεται «ανοικτό» κάθε φορά που μία από τις συσκευές μεταγωγής έχει μία τιμή η οποία διαφέρει από το «1». Είναι δυνατόν να καθοριστούν διαφορετικές ενδείξεις για την Γ.Μ. (Bad, Unknown κ.λπ.), εάν η μία από τις συσκευές μεταγωγής καταστάσεις σε ορισμένους τροφοδότες διαφέρει από το «1» ή «2». Η ρουτίνα του ελέγχου της κατάστασης της Γ.Μ. μπορεί να αποδειχθεί όπως στο σχήμα 8.5.



Σχήμα 8.5 Αλγόριθμος για τον καθορισμό του καθεστώτος της Γ.Μ.

### 8.10 Έλεγχος Ρευμάτων της Γ.Μ. και Τοπολογίας Δεδομένων

Οι έλεγχοι συνέπειας μεταξύ των τρεχουσών τιμών της Γ.Μ. και της κατάστασης της Γ.Μ. (στοιχεία τοπολογίας) είναι πιο ακριβής από τον έλεγχο του ρεύματος ή την τιμή της κατάστασης μόνο. Οι έλεγχοι μπορούν επίσης να εκτελεστούν για κάθε φάση ξεχωριστά. Όπως έχει παρατηρηθεί, υπάρχουν αρκετοί πιθανοί συνδυασμοί τρεχουσών τιμών της Γ.Μ. και κατάστασης της Γ.Μ.. Κάθε δυνατότητα αντανακλά διαφορετική κατάσταση και έχει διακριτές επιπτώσεις στο συμπέρασμα. Αν υπάρχει μια ακριβής τιμή για τις καταστάσεις (ανοικτή ή κλειστή) μπορεί να βρεθεί αντιστοιχία μεταξύ ρεύματος της Γ.Μ. και την κατάσταση της Γ.Μ.. Με συνέπεια θα μπορούσαν να πληρούνται για δύο βασικές περιπτώσεις:

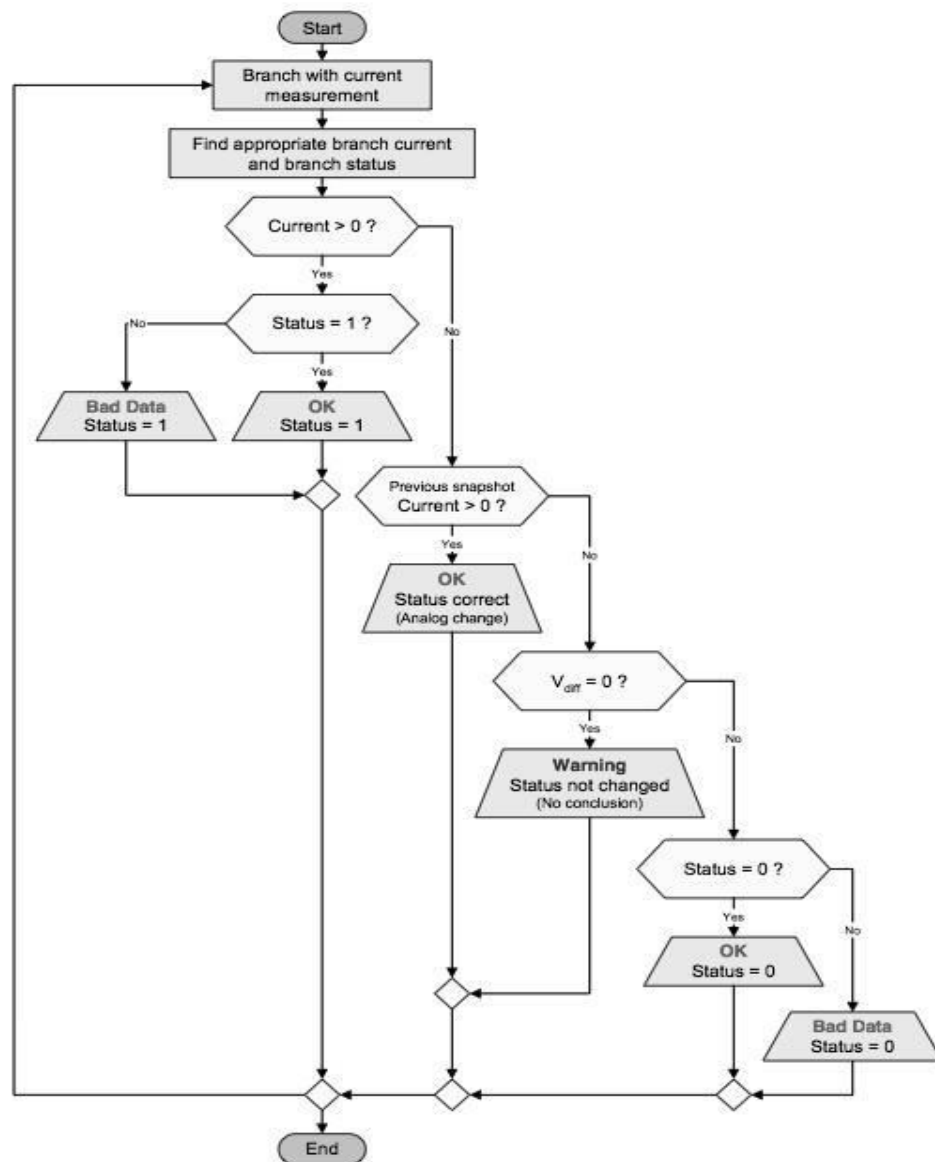
- Όταν το ισοδύναμο κύκλωμα διακόπτη είναι «κλειστό» και υπάρχει κάποιο ρεύμα στον της Γ.Μ.



- Όταν το ισοδύναμο κύκλωμα διακόπτη είναι «ανοιχτό» και δεν υπάρχει ρεύμα στην Γ.Μ..

Στην περίπτωση που το ισοδύναμο κύκλωμα διακόπτη είναι «ανοιχτό», αλλά υπάρχει κάποια ασυνέπεια στο ρεύμα της Γ.Μ. μπορεί να υπάρξει και συναγερμός. Λόγω ορισμένων μεταβατικών διαδικασιών στο διακόπτη ή καθυστέρηση της ενημέρωσης της τοπολογίας, είναι πιθανό ότι το ρεύμα να έχει κάποια αξία μεγαλύτερη από το μηδέν, ακόμη και αφού ο διακόπτης κυκλώματος που έχει έτυχε να είναι «ανοιχτός».

Το διάγραμμα ροής φαίνεται στο σχήμα 8.6.



Σχήμα 8.6 Αλγόριθμος για τον καθορισμό του καθεστώτος του τροφοδότη.

Η περίπτωση που το ισοδύναμο κύκλωμα του διακόπτη είναι κλειστό και δεν υπάρχει ρεύμα στην Γ.Μ. δεν είναι απαραίτητα ασυνεπής επειδή είναι πιθανό να μην υπάρχει φορτίο στην Γ.Μ.. Όπως επίσης και αν δεν υπάρχει διαφορά τάσης μεταξύ τερματικού της Γ.Μ., και το ρεύμα της Γ.Μ. είναι μηδέν ακόμα και αν η συσκευή μεταγωγής είναι κλειστή. Προκειμένου να διερευνηθεί αυτό, οι μετρήσεις τάσης στους τερματικούς κόμβους της Γ.Μ. θα μπορούσαν να επικυρωθούν. Όταν και τα δύο τερματικά γραμμής είναι εξοπλισμένα με μετρήσεις τάσης, η απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ διανύσματος τάσης μπορεί να επικυρωθεί. Εάν η επικυρωμένη διαφορά τάσης είναι μεγαλύτερη από κάποια ήδη προκαθορισμένη τιμή, υπάρχουν στοιχεία κακής τοπολογίας. Στη συνέχεια, παράγεται ο συναγερμός και είναι πιο αξιόπιστο να αλλαχτεί η τιμή της ιδιότητας της Γ.Μ. σε «κλειστή» αντί για «ανοιχτή».

Όταν η πραγματική διαφορά τάσεως είναι μικρή, η κατάσταση θεωρείται φυσιολογική, δεδομένου ότι η διαφορά τάσεως είναι ανεπαρκής για να δημιουργήσει αισθητό ρεύμα μέσω της Γ.Μ. ακόμη και όταν η κατάσταση της γραμμής της συσκευής είναι «κλειστή». Η συνοχή έχει εκπληρωθεί.

Η τελευταία περίπτωση είναι όταν το ισοδύναμο κύκλωμα διακόπτη είναι κακό. Ο έλεγχος συνέπειας δεν μπορεί να δημιουργήσει αντίστοιχο αποτέλεσμα. Στην πραγματικότητα η τρέχουσα αξία της γραμμής μπορεί να ελεγχθεί και εάν είναι μεγαλύτερη από το μηδέν, είναι πιθανό ότι ένας από τους διακόπτες αποσύνδεσης στην Γ.Μ. είχε λανθασμένη κατάσταση (ακαθόριστη ή σφάλμα).[18]

### **8.11 Time-Series Συνέπεια άφιξης**

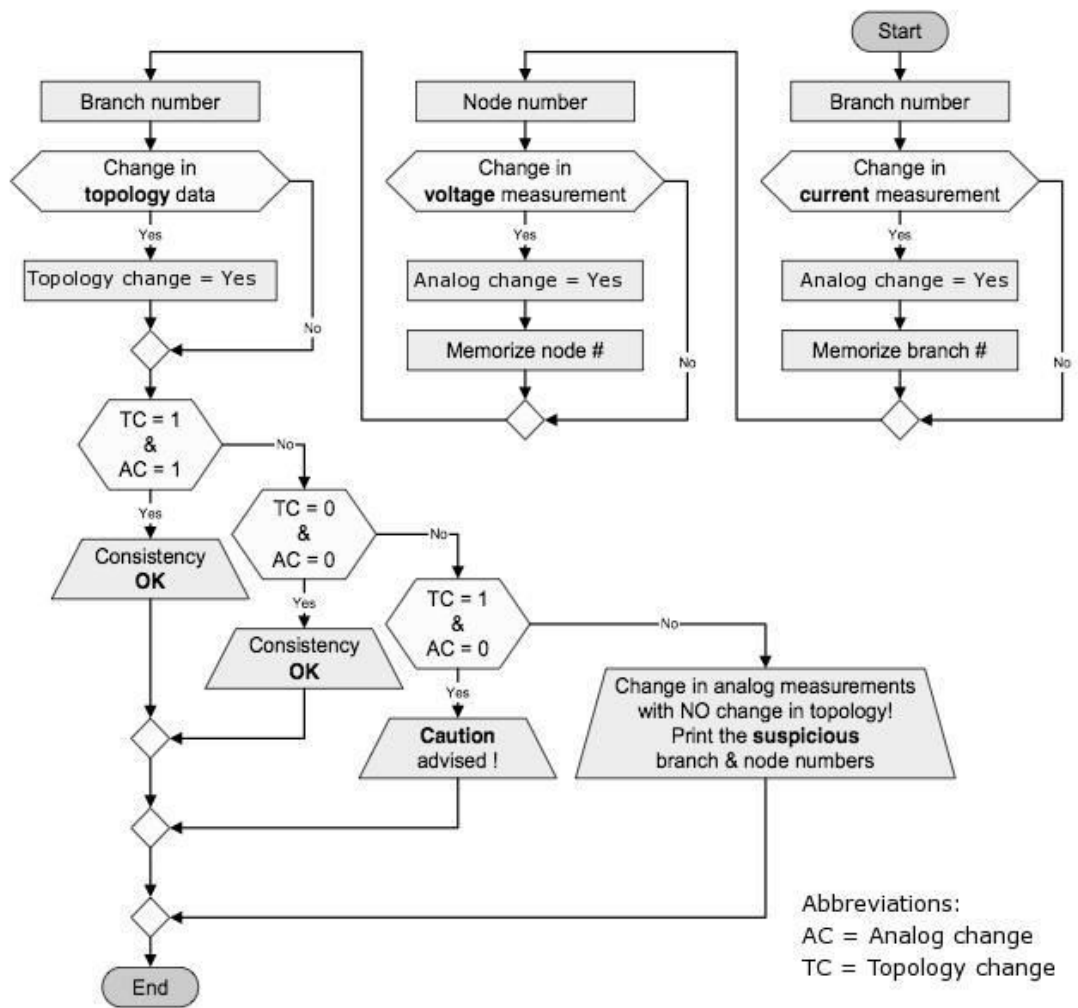
Η ρουτίνα επικύρωσης μπορεί να εκτελεστεί επίσης με τον έλεγχο μιας αλλαγής από την προηγούμενη κατάσταση στην τρέχουσα κατάσταση. Στη συνέχεια, το αναλογικό σύνολο των μετρήσεων και δεδομένων τοπολογίας θα εξεταστούν από κοινού. Οι τιμές τους συγκρίνονται ανάμεσα στο παρόν και την τελευταία καταγεγραμμένη αξία. Αυτή η ρουτίνα χρειάζεται μια βάση δεδομένων ή κάποια άλλη δεξαμενή όπου οι προηγούμενες πληροφορίες κατάστασης είναι διαθέσιμες.

Η υπόθεση είναι ότι μόνο μια αλλαγή στην τοπολογία μπορεί να προκαλέσει μια αλλαγή στις αναλογικές μετρήσεις. Η κανονική αλλαγή μίας αναλογικής μέτρησης θα πρέπει να λαμβάνεται υπό όρους αφού πάντα υπάρχει διακύμανση της ροής ισχύος, ακόμη και κατά την κανονική λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Οποιαδήποτε αλλαγή σε αναλογική μέτρηση λιγότερο από κάποια ήδη προκαθορισμένη τιμή, στην πραγματικότητα δεν θεωρείται αλλαγή.

Οι αναλογικές αλλαγές και οι αλλαγές στην τοπολογία ανιχνεύονται από το τελευταίο στιγμιότυπο. Η ρουτίνα εξετάζει τη συνοχή των τεσσάρων πιθανών συνδυασμών. Ένας συνδυασμός είναι όταν υπάρχει μια αλλαγή στις δύο μετρήσεις τοπολογίας και αναλογική. Το άλλο είναι, όταν δεν υπάρχει καμία αλλαγή σε αυτά τα δύο. Και οι δύο συνδυασμοί προκαλούν επικύρωση.

Η τρίτη περίπτωση είναι μια αλλαγή στην τοπολογία χωρίς αλλαγή σε αναλογική μέτρηση. Αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, όταν γίνονται αντίστοιχες αλλαγές διακόπτη από το «κλειστό» σε «ανοικτό» και δεν υπήρχε ρεύμα στον τροφοδότη πριν ανοίξει (δηλαδή χωρίς φορτίο). Η κατάσταση τροφοδοσίας μπορεί επίσης να αλλάξει λόγω σφάλματος των δεδομένων τοπολογίας. Δεδομένου ότι ο πραγματικός λόγος για την αλλαγή τοπολογίας είναι άγνωστος, συνιστάται να υπάρχει προσοχή λόγω ενδεχομένως κακών δεδομένων.

Η τελευταία περίπτωση είναι μια αλλαγή σε κάποια αναλογική μέτρηση χωρίς καμία αλλαγή στην τοπολογία. Αυτό είναι περισσότερο σύνθετη περίπτωση από την προηγούμενη και είναι πιο πιθανό ότι τα κακά δεδομένα είναι αυτά που το προκαλούν. Είναι πιθανό λόγω κάποιου απομακρυσμένου σφάλματος, πχ μια αιφνίδια μεταβολή της ροής του ρεύματος να προκαλεί μια αλλαγή σε αναλογικές μετρήσεις και καμία δραστηριότητα να μην είναι απαραίτητη. Από την άλλη πλευρά, ο επανέλεγχος στα ύποπτα στοιχεία μπορεί να ανακαλύψει κάποια τοπική δυσλειτουργία του οργάνου. Το διάγραμμα ροής του ελέγχου χρονοσειρών παρουσιάζονται στο σχήμα 8.7.[18]



Σχήμα 8.7 Έλεγχος συνέπειας που βασίζεται σε χρονοσειρές.

## 9 Εφαρμογή επικύρωσης δεδομένων στο MICROSCADA

Το τελευταίο μέρος της εργασίας εισάγει τις λύσεις των ρουτινών επικύρωσης που επιλέχθηκαν για το MicroSCADA. Μια διεπαφή χρήστη έγινε με την γλώσσα προγραμματισμού Scil που έχει αναπτυχθεί ειδικά για προγραμματισμό MicroSCADA. Η διεπαφή χρήστη χτίστηκε έτσι ώστε να είναι εύκολο να ελεγχθεί η κατάσταση επικύρωσης από διαφορετική θέση στον υποσταθμό.

### 9.1 Ισορροπία Ισχύος

Οι πρώτοι έλεγχοι ρουτίνας επικύρωσης ελέγχουν πόσο μεγάλη είναι η διαφορά μεταξύ της εισόδου και της εξόδου της ροής ηλεκτρικής ενέργειας στον υποσταθμό. Με βάση τον πρώτο νόμο του Kirchhoff, η μεταξύ τους διαφορά πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν. Ο υποσταθμός είχε κατανοηθεί από ένα απλουστευμένο ορθογώνιο και το ορθογώνιο αλλάζει το χρώμα του ανάλογα με το μέγεθος της διαφοράς ισχύος. Το ποσοστό της διαφοράς της τιμής υπολογίζεται από τον τύπο 6

$$100\% \cdot \left(1 - \frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad (9.1)$$

όπου,  $P_{out}$  είναι η έξοδος από τον υποσταθμό και  $P_{in}$  είναι η είσοδος στον υποσταθμό.

Η υπόθεση είναι ότι η ενέργεια δεν μπορεί να ρέει από το επίπεδο χαμηλής τάσης σε υψηλότερη. Εάν η ισχύς ρέει από το χαμηλότερο επίπεδο τάσης στο υψηλότερο επίπεδο τάσης, δημιουργείται συναγερμός. Η διαφορά μεταξύ των καταστάσεων συναγερμού ορίζονται από σταθερές παραμέτρους οι οποίες μπορεί να αλλάξουν, αλλά αυτό πρέπει να γίνει κατ'ευθείαν στον κώδικα. Τα ανησυχητικά χρώματα αλλάζουν ανάλογα με το πόσο μεγάλη είναι η διαφορά της ενέργειας. Τα χρώματα ορίζονται ως εξής:

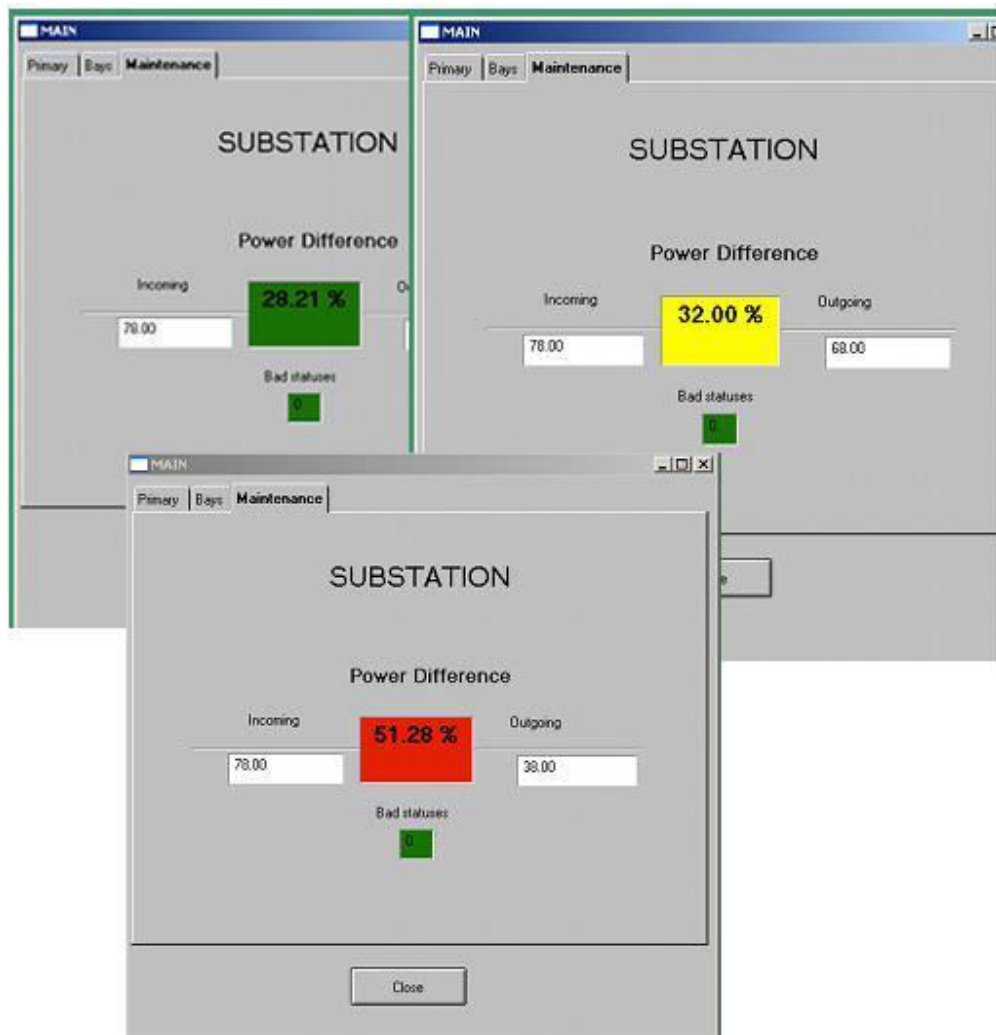
$30\% \geq P$  το χρώμα είναι το πράσινο

$30\% < P \leq 50\%$  το χρώμα είναι κίτρινο

$50\% < P \leq 100\%$  το χρώμα είναι κόκκινο

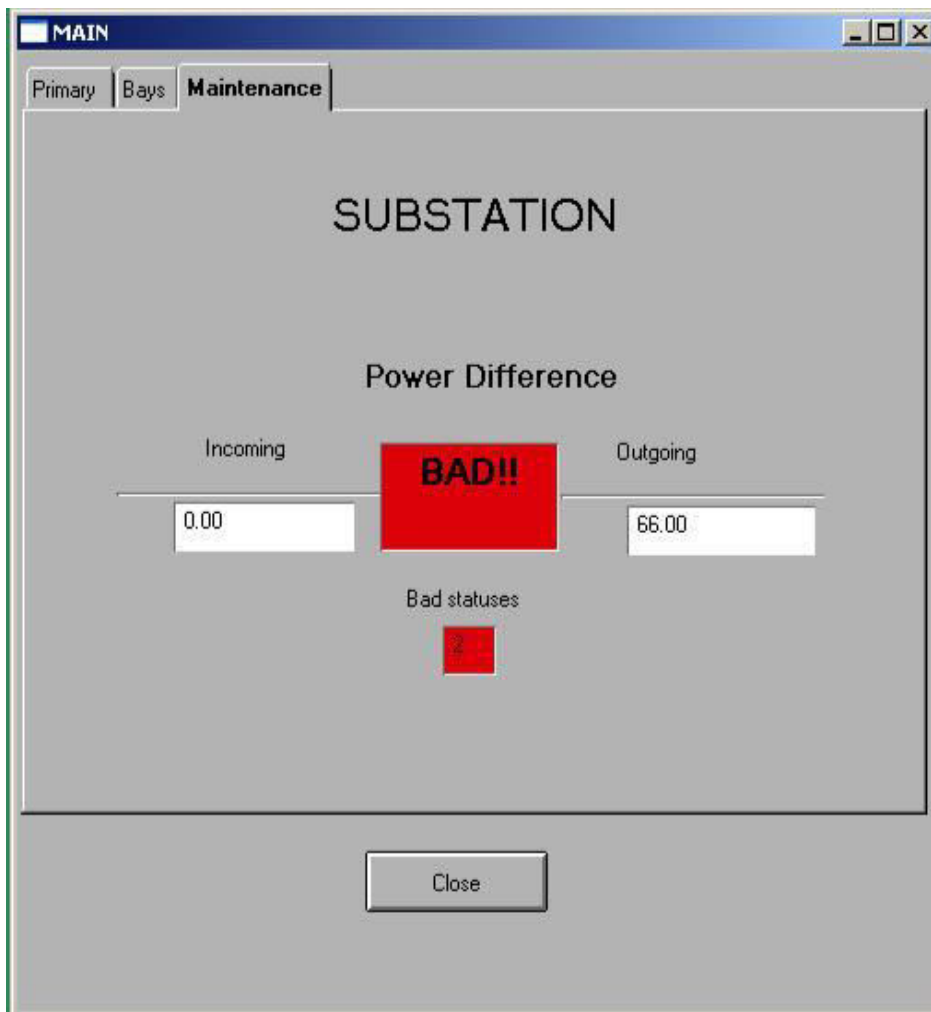
$100\% > P$  το χρώμα είναι κόκκινο

Τα μέλη παρουσιάζονται στην εικόνα 9.1.



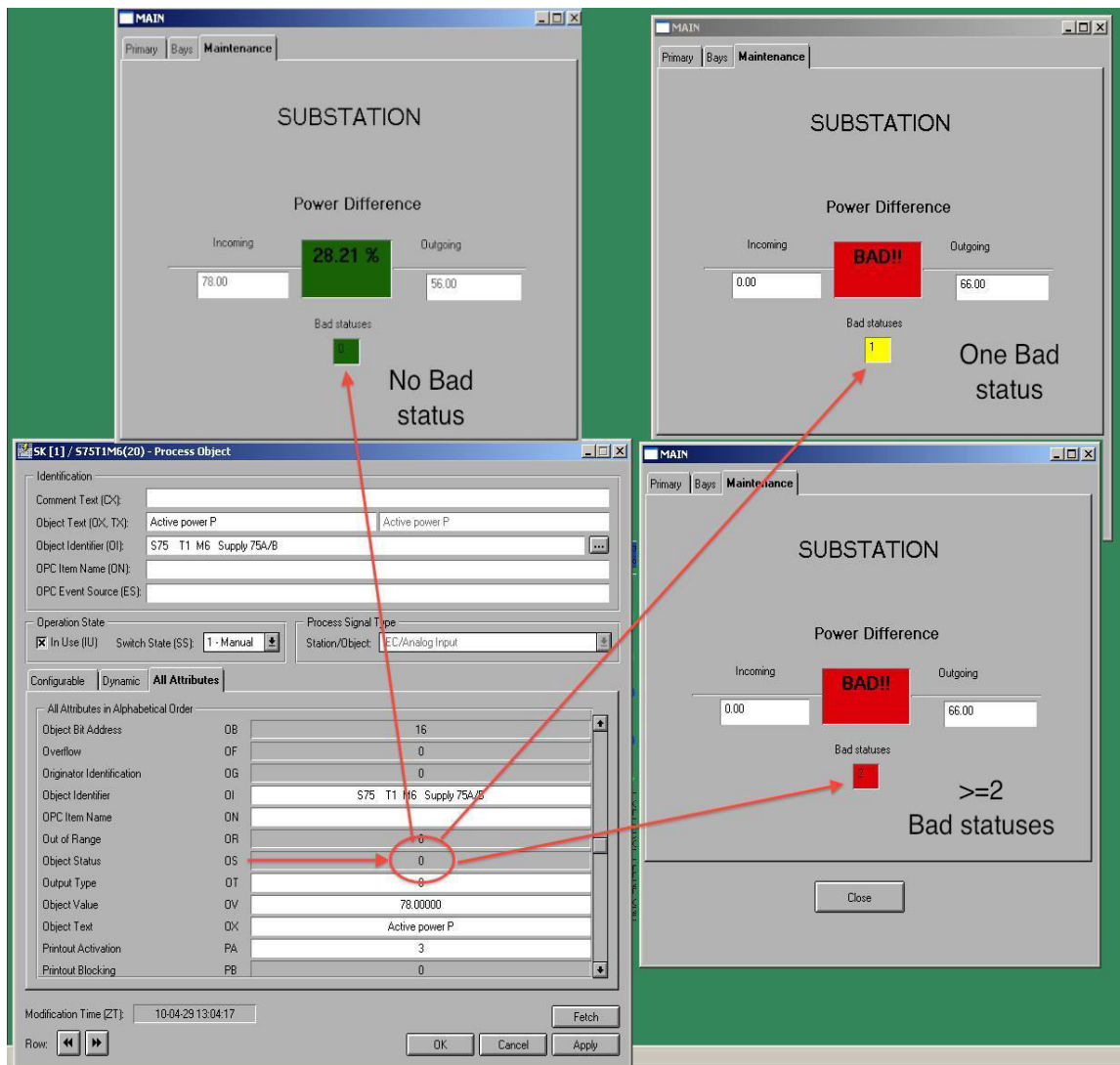
Εικόνα 9.1 Διαφορετικές καταστάσεις συναγερμού και ποσοστιαίες τιμές

Όπως είχε παρατηρηθεί νωρίτερα η ενέργεια θα πρέπει να απορρέει από το υψηλότερο επίπεδο τάσης προς το κατώτερο και, αν αυτό δεν είναι ικανοποιητικό, ο κόκκινος συναγερμός και το κείμενο «κακό» δημιουργείται. Η εικόνα 9.2 δείχνει την κατάσταση. Η δεύτερη περίπτωση, όταν δημιουργείται το κείμενο συναγερμού «Bad», είναι αν η διαφορά ισχύος είναι πάνω από 100%.



Εικόνα 9.2 Η τιμή είναι πάνω από 100% ή ροή ρεύματος δεν είναι έγκυρη.

Οι σεβαστές καταστάσεις για τις μετρήσεις που χρησιμοποιούνται στην MicroSCADA. Αυτές οι καταστάσεις ορίζονται από την χαρακτηριστική Κατάσταση Αντικείμενου (OS). Η κατάσταση προσδιορίζει εάν η μέτρηση είναι λάθος, άνευ αντικείμενου, κλπ Εάν το χαρακτηριστικό OS παίρνει την τιμή 0, η μέτρηση είναι έγκυρη. Τα χαρακτηριστικά OS της ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σε αυτό το παράθυρο, συλλέγονται από τη βάση δεδομένων και, εάν το χαρακτηριστικό OS είναι διαφορετικό από το μηδέν, ορίζεται ως «Bad». Εάν υπάρχει μία κακή κατάσταση στις μετρήσεις ισχύος, η ένδειξη ορίζεται να είναι ως κίτρινη, και εάν υπάρχουν περισσότερες από μία κατάσταση «Bad», το χρώμα είναι κόκκινο. Εάν δεν υπάρχει καμία ένδειξη το χρώμα είναι το πράσινο. Οι διαφορετικές καταστάσεις φαίνονται στην εικόνα 9.3.



Εικόνα 9.3 Zero, μια και πάνω από δύο «Bad» καταστάσεις

## 9.2 Ισοδύναμο Ρεύματα διακόπτη - φάσης

Η δεύτερη ρουτίνα επικύρωσης είναι να ελέγξετε την κατάσταση μεταγωγής και τη φάση ρεύματος στο συγκεκριμένο κόλπο. Η ρουτίνα συνδυάζει τις συσκευές μεταγωγής στο κόλπο και συγκρίνει αυτό το καθεστώς στα ρεύματα φάσης. Οι συσκευές συνδυασμού εναλλαγών ονομάζονται ισοδύναμοι διακόπτες. Ο συνδυασμός είναι χτισμένος με βάση τις πληροφορίες ότι στην MicroSCADA η τιμή του αντικειμένου καθορίζει την κατάσταση της συσκευής μεταγωγής. Σε αυτή τη ρουτίνα οι καταστάσεις αντιμετωπίζονται έτσι ώστε:

1 = Close

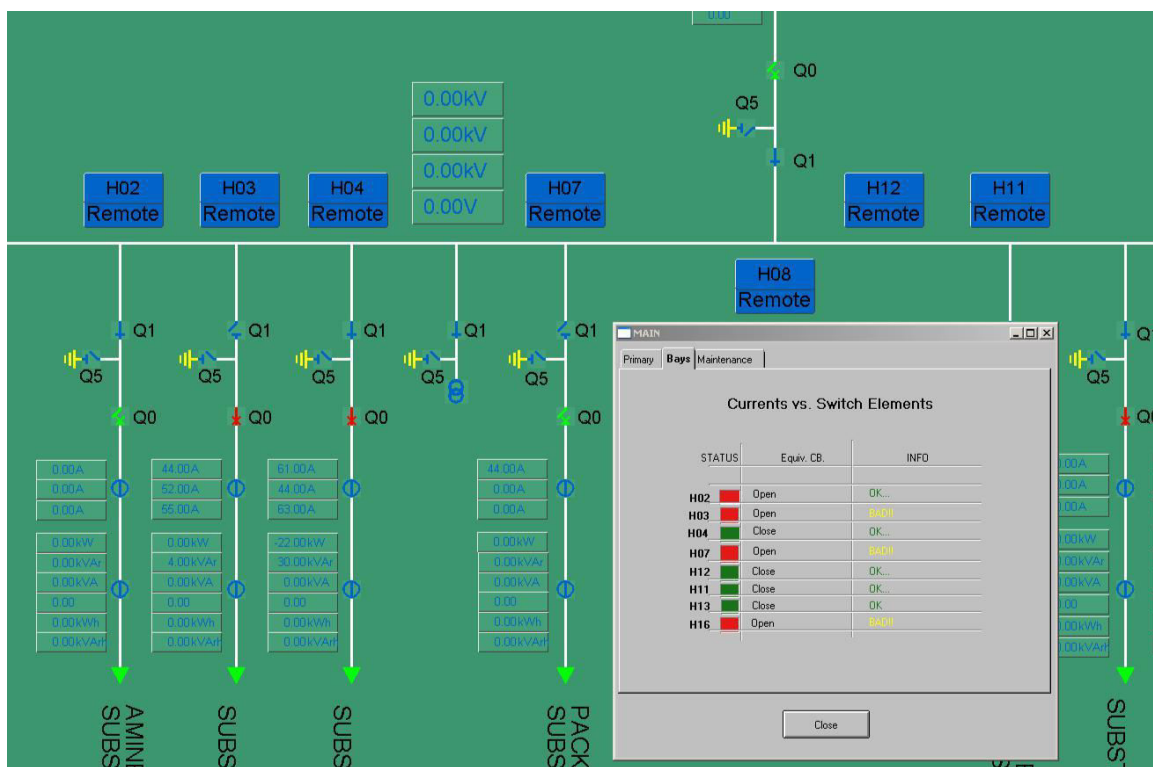
2 = Open

άλλα = Unknown

Στην εικόνα διαδικασίας 9.3, οι δύο συσκευές μεταγωγής αντιμετωπίζονται ως ένα ισοδύναμο διακόπτη και η τιμή για το ισοδύναμο διακόπτη υπολογίζεται από τις καταστάσεις των δύο



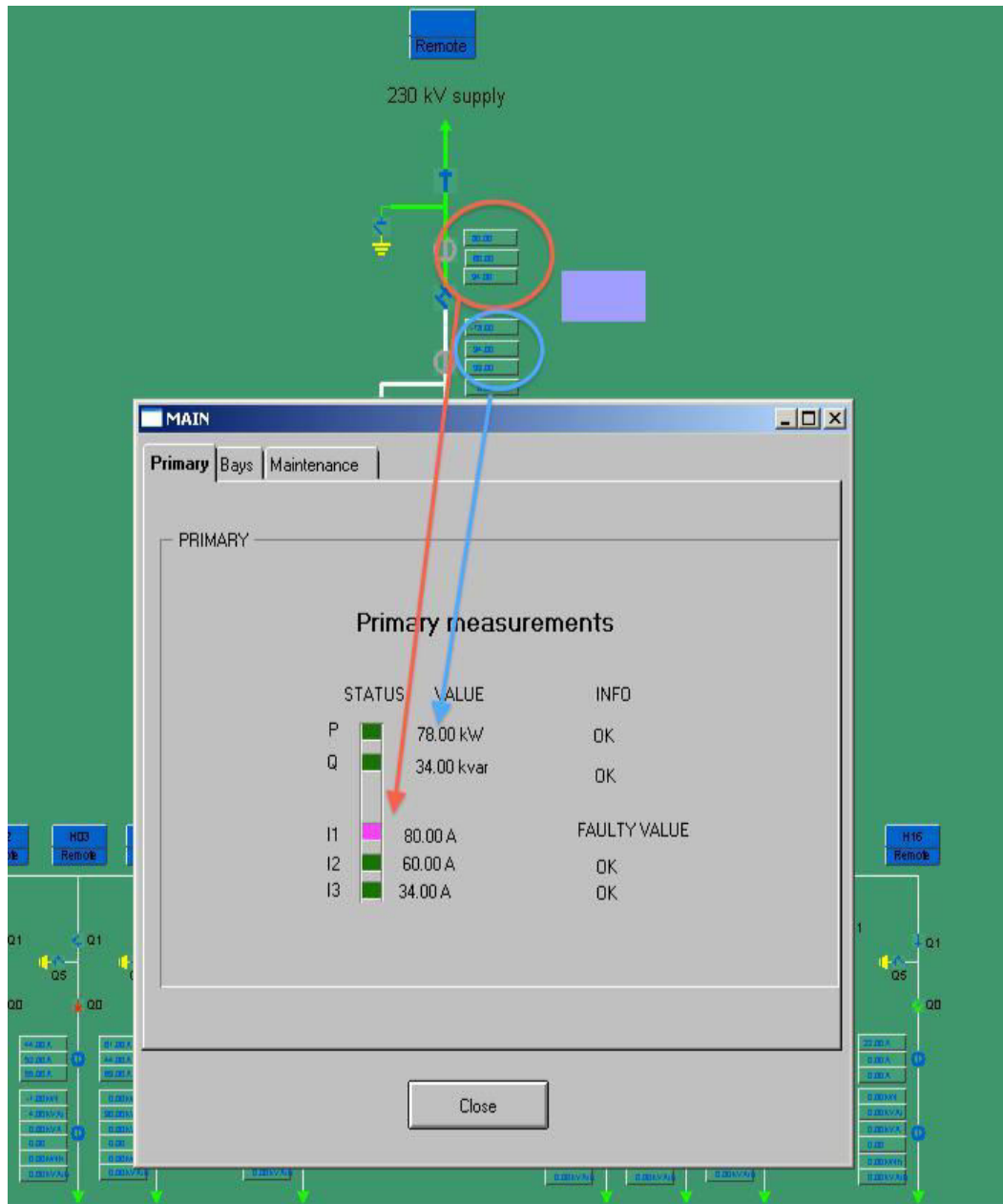
συσκευών μεταγωγής. Ο διακόπτης γείωσης δεν έχει καμία επίδραση στον ισοδύναμο διακόπτη δηλαδή δεν υπολογίζεται. Ο υπολογισμός απλοποιείται ως άθροισμα των καταστάσεων, έτσι ώστε αν  $Q_1 = 1$  και  $Q_0 = 1$  τότε η κατάσταση του τροφοδότη είναι 2 και η ισοδύναμη κατάσταση διακόπτη είναι κοντά. Σύμφωνα με θεμελιώδη μεγέθη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων μπορεί να υπάρχει ρεύμα στον τροφοδότη μόνο αν ο ισοδύναμο διακόπτης είναι κλειστός (κατάσταση τροφοδοσίας είναι 2). Αυτή η κατάσταση υποδεικνύεται από πράσινο "OK" κείμενο. Αν ο αντίστοιχος διακόπτης είναι κάτι άλλο εκτός από 2 και δεν υπάρχει ρεύμα στις φάσεις δημιουργείται το κίτρινο "Bad" κείμενο. Η εικόνα 9.4 δείχνει τις ενδείξεις.



Εικόνα 9.4 Οι ενδείξεις φαίνονται από το κείμενο και χρώματα

### 9.3 Πρωτοβάθμιες Μετρήσεις

Η τρίτη ρουτίνα επικύρωσης επικεντρώνεται στις πρωτοβάθμιες μετρήσεις από την ενεργό ισχύ (P), άεργου ισχύος (Q) και τα ρεύματα φάσης ( $I_1, I_2, I_3$ ). Το παράθυρο υποδικνύει την αξία των μετρήσεων και όπως έχει γίνει στο παρελθόν, οι "Bad" καταστάσεις υποδεικνύονται από τα χρώματα. Υπάρχει επίσης ένα τετράγωνο πληροφοριών στο παράθυρο που λέει, αν η μέτρηση είναι «OK» ή αν η μέτρηση περιλαμβάνει μια κακή κατάσταση, οι πληροφορίες τετραγώνου μετατρέπονται σε «ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΗ ΤΙΜΗ». Η εικόνα 9.5 δείχνει το παράθυρο.



Εικόνα 9.5 Οι πρωτογενείς μετρήσεις φαίνεται από το κείμενο και χρώματα

## 9.4 Σύνοψη

Εάν απαιτούνται αξιόπιστες ρουτίνες επικύρωσης, είναι απαραίτητη η καλή γνώση σχετικά με την πρωτογενή διαδικασία, αλλά και το ίδιο το σύστημα SCADA. Τα διαφορετικά συστήματα SCADA χειρίζονται σήματα με διαφορετικούς τρόπους, π.χ. μια σημασία των σημάτων καταστάσεως μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το πρόγραμμα. Αυτή η ίδια παραλλαγή πρέπει να παρατηρηθεί στα πρωτόκολλα. Για παράδειγμα, η ανοικτή τιμή του διακόπτη μπορεί να διαφέρει μεταξύ των πρωτοκόλλων ή αν αυτό το ίδιο σήμα μεταφέρεται μεταξύ των εφαρμογών SCADA και η ανοικτή κατάσταση μπορεί να αλλάξει για να κλείσει στο τέλος.

Είναι δυνατόν να βελτιωθεί η επικύρωση δεδομένων σε συστήματα SCADA με αρκετά απλές μεθόδους. Το απλό πρόγραμμα, όπως έχει εισαχθεί στη παρούσα εργασία, δίνει μια σημείωση για τον υποσταθμό και αν υπάρχουν «Bad» τιμές στη βάση δεδομένων SCADA. Σε ορισμένες περιπτώσεις ύποπτων στοιχείων μπορεί να παρατηρηθεί και αναφερθεί από την IED που καθιστά ευκολότερο το να αρχίσει τον εντοπισμό της πηγής για τα κακά ή ύποπτα στοιχεία. Η επικύρωση δεδομένων στο σύστημα SCADA είναι ένα ενδιαφέρον θέμα και μόνο «ο ουρανός είναι το όριο» για να δημιουργήσουμε ρουτίνες για την επικύρωση. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης πολλές προκλήσεις. Δεν είναι εύκολο να κατασκευάσουμε ένα τέτοιο πρόγραμμα το οποίο παρατηρεί έξυπνα και αξιόπιστα ελαττωματικές ή ύποπτες αλλαγές στη διαδικασία. Στο πρόγραμμα που δημιουργήθηκε σε αυτή τη εργασία δεν θα παρατηρήσετε ότι, τα διαστήματα ενημέρωσης μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των τιμών μέτρησης στη βάση δεδομένων. Για παράδειγμα, οι τιμές που χρησιμοποιούνται στον τύπο 9.1, μπορεί να κυμαίνονται σε μια τέτοια σειρά που δημιουργούνται οι λάθος συναγερμοί. Ουσιαστικά, ο υπολογισμός λειτουργεί καλά αν η μέτρηση τάσης συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο, αλλά αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Μπορεί να υπάρχει μια μεγάλη διαφορά ισχύος μεταξύ εισόδου και εξόδου ρεύματος, ακόμη και αν δεν υπάρχουν σφάλματα στη διαδικασία. Εάν η ενημέρωση μέτρησης δεν είναι σε πραγματικό χρόνο, μία λύση είναι να συγκρίνει τις τιμές των μετρήσεων με τις αξίες που υπολογίζονται από τη βάση δεδομένων μετρήσεων. Στη συνέχεια, βέβαια, μια ειδική βάση δεδομένων του ιστορικού είναι απαραίτητη και η εκτίμηση υπολογισμών πρέπει να γίνουν στη βάση δεδομένων ιστορικού. Αυτού του είδους η εκτίμηση δεν είναι απλή και αν είναι σε χρήση, ο υπολογισμός εκτελείται από εξωτερικά μαθηματικά προγράμματα. [18]

## **10 Το Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας Παραγωγής – Μεταφοράς.**

### **10.1 Εισαγωγή.**

Ο όμιλος ΔΕΗ έχει την αποκλειστική ευθύνη στον τομέα της ενέργειας που παράγει και διανέμει στους βιομηχανικούς και οικιακούς πελάτες της, προωθεί και υλοποιεί με ιδιαίτερη επιτυχία τους αναπτυξιακούς, οικονομικούς και κοινωνικούς στόχους της. Στο πλαίσιο της επίτευξης των στόχων της η Επιχείρηση οργανώνει, εκσυγχρονίζει και εντατικοποιεί τις προσπάθειές της, για τη μεγιστοποίηση της πολύπλευρης αναπτυξιακής της συμβολής ενεργειακής, οικονομικής και κοινωνικής, που στηρίζει και εναρμονίζεται απόλυτα με τους αντίστοιχους προσανατολισμούς της Χώρας.

Με βάση αυτές τις αρχές η ΔΕΗ προχώρησε στη σχεδίαση και υλοποίηση ενός υπερσύγχρονου συστήματος ελέγχου για την παραγωγή και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε εθνικό επίπεδο, καταλαμβάνοντας έτσι μία θέση στις πιο προηγμένες τεχνολογικά ηλεκτρικές εταιρείες στον κόσμο.

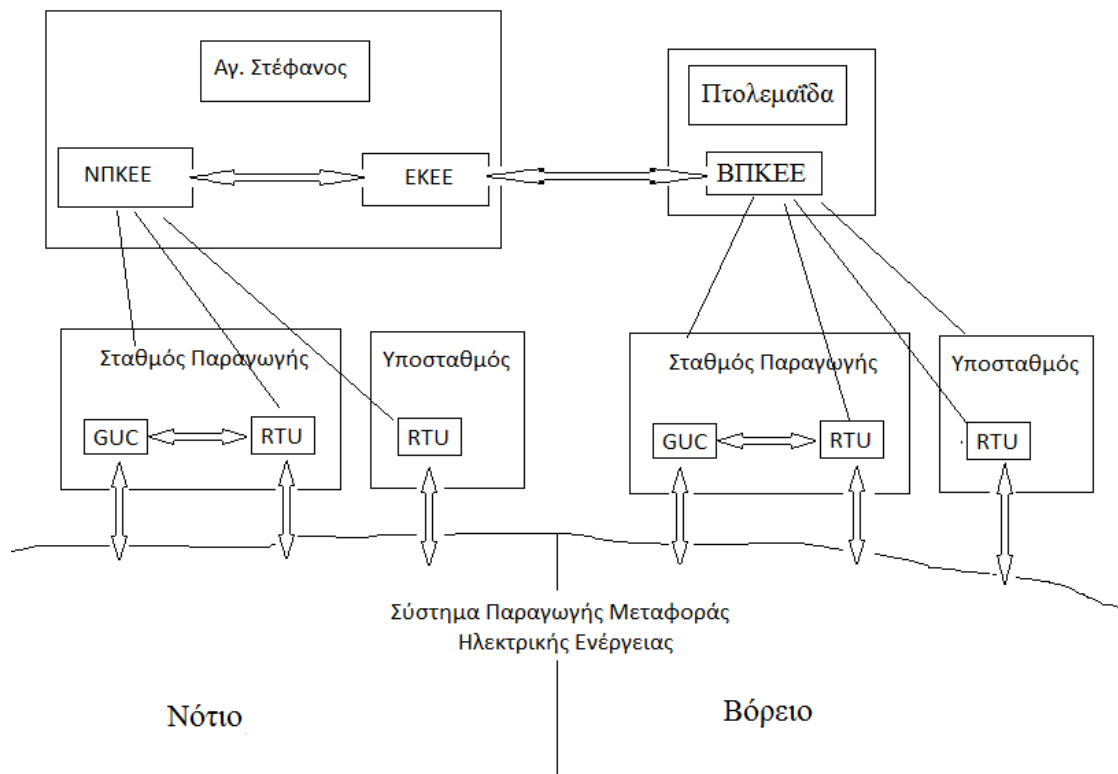
Το σύστημα αυτό αποτελείται από τρία Κέντρα Ελέγχου: ενός Εθνικού και δύο Περιφερειακών σε ιεραρχημένη δομή που επικοινωνούν με τα εργοστάσια παραγωγής ρεύματος μέσω Μονάδων Ελέγχου Παραγωγής (GUCs) και Τερματικών Μονάδων (RTUs) και με τους υποσταθμούς μεταφοράς μέσω Τερματικών Μονάδων.

Το Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΕΚΕΕ) και το Νότιο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΝΠΚΕΕ) συστεγάζονται σε κτίριο στον Αγ. Στέφανο Αττικής, όπου στην ευρύτερη περιοχή καταναλώνεται το 33% της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το Βόρειο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΒΠΚΕΕ) στεγάζεται σε κτίριο στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, όπου παράγεται το 68% της εγχώριας ηλεκτρικής ενέργειας.

Καθ' ένα από αυτά τα δύο περιφερειακά κέντρα έχει τον εποπτικό έλεγχο της περιοχής αρμοδιότητάς του, είτε αυτοδύναμα, είτε κατόπιν οδηγιών του ΕΚΕΕ. Ταυτόχρονα το Βόρειο Περιφερειακό Κέντρο είναι σε θέση να αναλάβει ορισμένες από τις λειτουργίες του ΕΚΕΕ σε περίπτωση ανωμαλιών, ώστε το σύστημα Παραγωγής – Μεταφοράς της ΔΕΗ να είναι διαρκώς υπό έλεγχο.

Η ενεργειακή διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος γίνεται από το ΕΚΕΕ και επιτυγχάνεται με τη βοήθεια προηγμένων προγραμμάτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών που επιτρέπουν την εποπτεία του ηλεκτρικού συστήματος, την οικονομικότερη λειτουργία των Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, την αύξηση της αποδοτικότητας της Επιχείρησης. Επίσης υπάρχει πρόγραμμα προσομοίωσης του ηλεκτρικού συστήματος για την εκπαίδευση των χειριστών.

Με το σύστημα αυτό εξασφαλίζεται το μεγάλο πλεονέκτημα της πρόβλεψης και της έγκαιρης λήψης των κατάλληλων μέτρων για την μείωση της πιθανότητας διακοπών ρεύματος, αλλά και ενός black out. Βέβαια, γενικές διακοπές ρεύματος δεν θα πάψουν να συμβαίνουν, όπως σε κάθε ηλεκτρικό σύστημα, αλλά και αν συμβούν, η επαναφορά του Συστήματος στην ομαλή λειτουργία θα γίνεται γρήγορα.[7]



Σχήμα 10.1 Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας

## 10.2 Οι λειτουργίες του λογισμικού Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας.

Το λογισμικό Εφαρμογών του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας περιλαμβάνει δύο κύριες ομάδες λειτουργιών, που είναι :

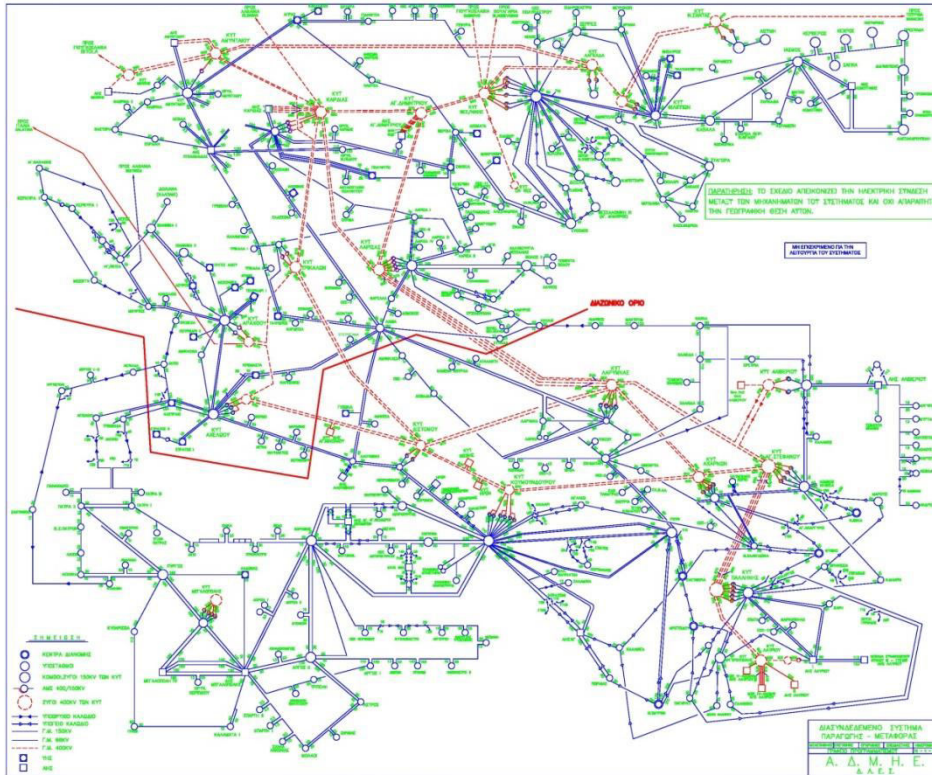
- Η λειτουργία του Συστήματος Ενεργειακής Διαχείρισης (Energy Management System (EMS)).
- Η λειτουργία του Προσομοιωτή Εκπαίδευσης Χειριστών (Dispatcher Training Simulator (DTS)).

Οι λειτουργίες Ενεργειακής Διαχείρισης (EMS) περιλαμβάνουν τρία υποσυστήματα :

- Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (SCADA) (Supervisory Control And Data Acquisition),
- Παραγωγής (Generation),

- Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς (Network).

Το υποσύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (SCADA) χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του ηλεκτρικού συστήματος και είναι η βασική πηγή δεδομένων πραγματικού χρόνου για τα άλλα υποσυστήματα.



Εικόνα 10.1 Απεικόνιση της ηλεκτρικής σύνδεσης των μηχανημάτων του Συστήματος.

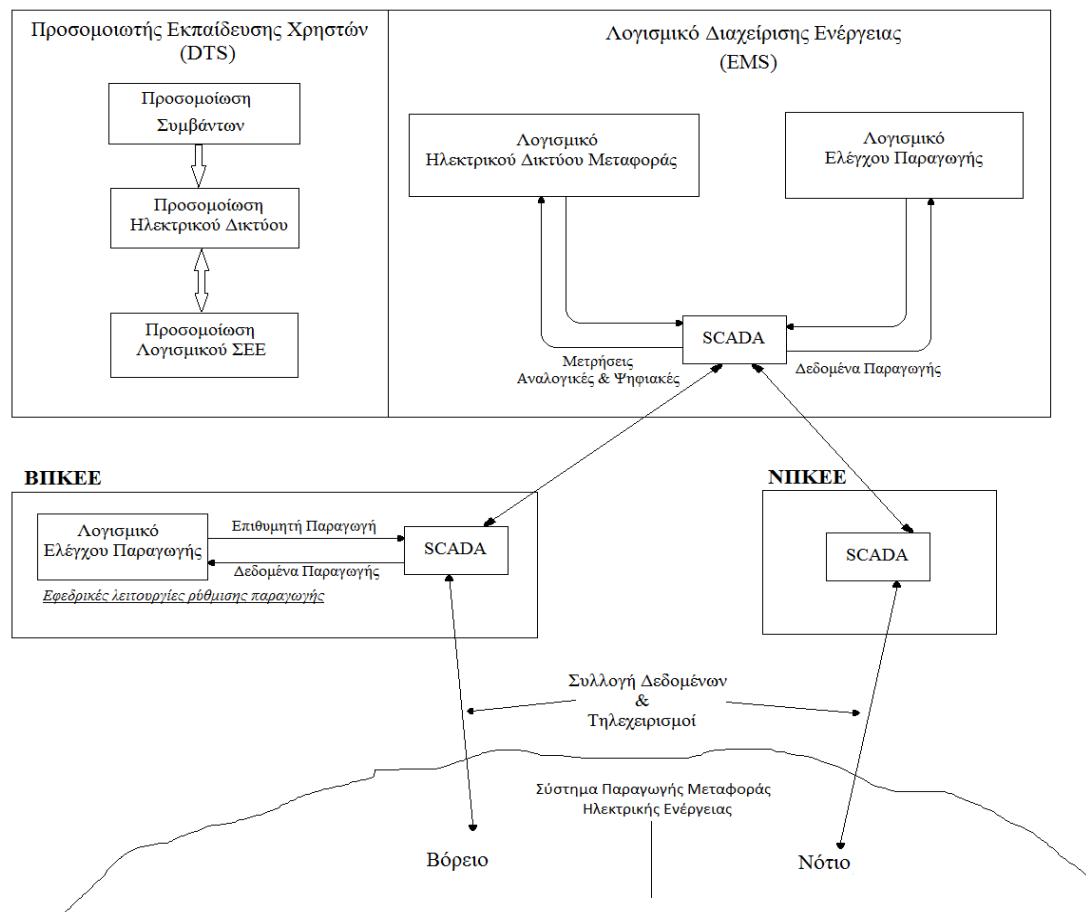
Το υποσύστημα Παραγωγής (Generation), περιλαμβάνει λειτουργίες με την βοήθειά των οποίων ελέγχεται η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, ούτως ώστε να ικανοποιούνται οι ανταλλαγές φορτίων με τις όμορες χώρες με οικονομικό και ασφαλή τρόπο.

Το υποσύστημα «Ηλεκτρικό Σύστημα Μεταφοράς» (Network), περιλαμβάνει λειτουργίες οι οποίες χρησιμοποιούν το μοντέλο του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς και δεδομένα πραγματικού χρόνου από το υποσύστημα SCADA. Με τον τρόπο αυτό, παρέχονται στον χρήστη επαρκείς πληροφορίες για την ασφαλή και οικονομική διακίνηση της ενέργειας μέσω του δικτύου μεταφοράς.

Στο Εθνικό Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας, χρησιμοποιούνται και τα τρία υποσυστήματα του Συστήματος Ενεργειακής Διαχείρισης καθώς και ο Προσομοιωτής Εκπαίδευσης Χρηστών.

Τα δύο Περιφερειακά Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας έχουν μόνο το υποσύστημα SCADA. Το ΒΠΚΕΕ εκτός του SCADA έχει επιπλέον και τις κύριες λειτουργίες του υποσυστήματος Παραγωγής.

Καθένα από τα προαναφερόμενα λειτουργικά υποσυστήματα έχει τις δικές του βάσεις δεδομένων και χειρίζεται τις δικές του ομάδες δεδομένων. Σε γενικές γραμμές, έχουν λίγες διασυνδέσεις με τα άλλα υποσυστήματα.



Σχήμα 10.2 Λογισμικό εφαρμογής του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας

### 10.3 Το Υποσύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (SCADA)

Το υποσύστημα SCADA εκτελεί και στα τρία Κέντρα Ελέγχου τις ίδιες λειτουργίες για διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρικού δικτύου. Η δομή των βάσεων δεδομένων του SCADA, ο ορισμός των εγγραφών και των πεδίων είναι ίδια και στα τρία Κέντρα Ελέγχου. Η μοναδική διαφορά είναι ότι οι βάσεις δεδομένων του ΒΠΚΕΕ και του ΝΠΚΕΕ έχουν δεδομένα από το Βόρειο και το Νότιο μέρος του δικτύου αντίστοιχα, ενώ στην βάση δεδομένων του ΕΚΕΕ

περιέχονται πληροφορίες από το σύνολο του ηλεκτρικού δικτύου. Επιπροσθέτως, οι βάσεις δεδομένων του SCADA στα Περιφερειακά Κέντρα Ελέγχου περιέχουν πληροφορίες για τις τερματικές μονάδες (RTUs), τους μορφοτροπείς (Transducers) και τους ηλεκτρονόμους, καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικά με τους εμπρόσθιους υπολογιστές (Front End Computers) και τους διαύλους επικοινωνιών.[6]

Οι λειτουργίες που περιλαμβάνονται στο υποσύστημα SCADA είναι οι εξής :

- Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών
- Διατήρησης Ιστορικών Αρχείων (Historical Data Recording)
- Ανάρτησης Πινακίδων (Tagging)
- Επεξεργασίας Τοπολογίας (Topology Processing)
- Αποκοπής Φορτίου (Load Shedding).

### **10.3.1 Λειτουργία Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών SCADA**

Η λειτουργία του SCADA παρέχει την επιτήρηση του ηλεκτρικού δικτύου και τους τηλεχειρισμούς. Η επιτήρηση του δικτύου επιτυγχάνεται με τη συλλογή δεδομένων και την κατάλληλη επεξεργασία τους. Τα δεδομένα είναι είτε ψηφιακά και αφορούν καταστάσεις διακοπών, αποζευκτών, γειωτών και σημάνσεων είτε αναλογικά και αφορούν μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών όπως KV, MW, MVAR, AMP, και θέσεις του μεταγωγέα σχέσεως μετασχηματισμού των μετασχηματιστών. Επίσης, συλλέγει μετρήσεις ενέργειας που αφορούν την παραγωγή Σταθμών Παραγωγής και διεθνών διασυνδέσεων.

Στον πίνακα 10.1 δίνεται το πλήθος των RTUs εγκατεστημένων το 2015 και το μέγιστο πλήθος RTUs που μπορεί να διαχειριστεί το σύστημα.

Η επιτήρηση του ηλεκτρικού Συστήματος αφορά στη συλλογή τόσο των καταστάσεων του διακοπτικού εξοπλισμού (status) με ανίχνευση και σήμανση για απρόσμενη αλλαγή κατάστασης, όσο και των αναλογικών τιμών με διαπίστωση παραβίασης ορίων και κατάλληλη σήμανσή της.

Πίνακας 10.1 Πλήθος RTUs

	<b>Πλήθος εγκατεστημένων RTUs το 2015</b>
<b>ΝΠΚΕΕ</b>	142
<b>ΒΠΚΕΕ</b>	93
<b>Σύνολο</b>	235



Τα δεδομένα του SCADA συλλέγονται στο Κέντρο Ελέγχου με περιοδικές σαρώσεις κάθε 2 sec. Σε επίπεδο RTU, οι σημάνσεις σαρώνονται κάθε 5 ms, ενώ για τις αναλογικές μετρήσεις χρησιμοποιούνται τρεις βασικοί ρυθμοί σάρωσης, 2 sec, 4 sec, και 10 sec. Ο γρηγορότερος ρυθμός σάρωσης 2 sec, χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τη μέτρηση των αναλογικών μεγεθών που σχετίζονται με την πραγματική ισχύ εξόδου των μονάδων παραγωγής και ροών διεθνών διασυνδέσεων. Ο ενδιάμεσος ρυθμός σάρωσης 4 sec, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των πραγματικών και των αέργων ροών ισχύος στις γραμμές μεταφοράς και τη μέτρηση τάσεων των ζυγών. Ο αργότερος ρυθμός σάρωσης 10 sec, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση όλων των ρευμάτων καθώς και της πραγματικής και της αέργου ισχύος των φορτίων.

Οι σημάνσεις μεταδίδονται στο Κέντρο Ελέγχου στην περίπτωση μεταβολής της κατάστασής τους (report by exception). Ορισμένες σημάνσεις (θέσεις διακοπών) μεταδίδονται ως «ακολουθίες συμβάντων» (Sequence of events, SOE), που επιπλέον περιλαμβάνουν καταγραφή του χρόνου απόκτησης της πληροφορίας από το RTU. Στην περίπτωση αυτή το Κέντρο Ελέγχου καταχωρεί με χρονολογική σειρά την πληροφορία στο Κεντρικό Υπολογιστή. [6]

Οι αναλογικές μετρήσεις μεταδίδονται στο Κέντρο Ελέγχου είτε περιοδικά, είτε σε περίπτωση μεταβολής (report by exception), όταν στο RTU διαπιστωθεί μεταβολή μεγαλύτερη από το 0,1% της μέγιστης τιμής της μέτρησης. Στον Κεντρικό Υπολογιστή, οι αναλογικές μετρήσεις αντικαθίστανται στη βάση δεδομένων του SCADA όταν οι αλλαγές υπερβούν και εκεί συγκεκριμένο κατώφλι μεταβολής καθοριζόμενο από τον χρήστη. Ειδικό λογισμικό διαχείρισης δεδομένων ενημερώνει τις βάσεις δεδομένων του ΕΚΕΕ και τις διατηρεί σε τρέχουσα κατάσταση ενημέρωσης όπως και αυτές των ΠΚΕΕ.

Το υποσύστημα SCADA υλοποιεί τις εντολές τηλεχειρισμού του ηλεκτρικού συστήματος (χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο επικοινωνίας υψηλής ασφαλείας από το Κέντρο Ελέγχου προς τα RTUs). Παρέχεται η δυνατότητα τηλεχειρισμού διακοπών και αποζευκτών ζυγών. Το RTU που δέχεται την εντολή τηλεχειρισμού επιχειρεί την υλοποίηση της εντολής και αποστέλλει πίσω στο Κέντρο Ελέγχου κωδικοποιημένη απάντηση για να πληροφορήσει το Κέντρο Ελέγχου ότι η εντολή εκτελέστηκε επιτυχώς.

Τέλος, μέσω του υποσυστήματος SCADA γίνεται η αποστολή των επιθυμητών τιμών παραγωγής (set points) σε 9 υδροηλεκτρικούς και 6 θερμικούς σταθμούς παραγωγής. Η επιθυμητή τιμή ισχύος εξόδου των μονάδων (MW) φθάνει κάθε 4 sec στα εκεί εγκατεστημένα RTUs και διαβιβάζεται στους ελεγκτές γεννητριών σταθμών παραγωγής (GUCs).

### **10.3.2 Λειτουργία Καταγραφής Ιστορικού**

Με αυτή τη λειτουργία καταγράφονται χρονικά και διατηρούνται σε αρχεία όλες οι αναλογικές μετρήσεις και ψηφιακές καταστάσεις των διακοπών για τη διερεύνηση των αιτίων των διαταραχών. Η λειτουργία αυτή είναι διαθέσιμη και στα τρία Κέντρα Ελέγχου.

### **10.3.3 Λειτουργία Ανάρτησης Πινακίδων**

Η λειτουργία αυτή του SCADA επιτρέπει την προσθήκη, αφαίρεση και απεικόνιση προστατευτικών (εικονικών) πινακίδων στον εξοπλισμό του ηλεκτρικού συστήματος. Η εφαρμογή της λειτουργίας παρέχει τη δυνατότητα απαγόρευσης χειρισμών σε συγκεκριμένες συσκευές, ή την καταχώρηση πληροφοριών σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του.

Οι πινακίδες τοποθετούνται κατά κανόνα σε εξοπλισμό για να προειδοποιήσουν ή να πληροφορήσουν τους χειριστές για ειδικές συνθήκες που ισχύουν στο ηλεκτρικό σύστημα και συνήθως για να απαγορεύσουν το χειρισμό του εξοπλισμού.

### **10.3.4 Λειτουργία Επεξεργασίας Τοπολογίας.**

Η λειτουργία επεξεργασίας τοπολογίας προσδιορίζει την τρέχουσα κατάσταση τοπολογίας του Υποσταθμού, δηλαδή το πώς τα διάφορα στοιχεία του Υ/Σ συνδέονται μεταξύ των σε κοινούς ή μη ζυγούς. Η λειτουργία αυτή ενεργοποιείται σε κάθε μεταβολή κατάστασης του εξοπλισμού και χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες μετρήσεις τάσεως προσδιορίζει αν οι συσκευές του Υ/Σ είναι «νεκρές» ή υπό τάση. Επίσης, χρησιμεύει για την ορθή απόδοση αμφιβόλων καταστάσεων του εξοπλισμού, για την αναγνώριση διαχωρισμένων ανενεργών ή ενεργοποιημένων ζυγών καθώς και για την εφαρμογή αντασφαλίσεων σε χειρισμούς σύνδεσης με γειωμένα σημεία του Υποσταθμού.

### **10.3.5 Λειτουργία Αποκοπής Φορτίου**

Η λειτουργία αποκοπής φορτίου επιτρέπει το ομαδικό άνοιγμα διακοπών, προκαθορισμένων στη βάση δεδομένων του SCADA, ώστε να παρέχεται στους χειριστές η δυνατότητα γρήγορης αντιμετώπισης ανωμαλιών στο ηλεκτρικό δίκτυο.

## **10.4 Το Υποσύστημα Παραγωγής.**

Οι λειτουργίες του υποσυστήματος «Παραγωγής» σχετίζονται με τον προγραμματισμό και τον έλεγχο της Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να ικανοποιούνται η ζήτηση φορτίου και οι προγραμματισμένες ανταλλαγές. Το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί περιλαμβάνει την τοπολογία του ηλεκτρικού συστήματος, τις μετρήσεις και τους τύπους των καυσίμων.

Οι λειτουργίες που περιλαμβάνονται σε αυτό το υποσύστημα είναι οι εξής :

- Έλεγχος Παραγωγής σε Πραγματικό Χρόνο (Real Time Generation Control RTGEN)

- Ενεργειακή Παρακολούθηση (System Energy Monitor)
- Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου (Short-Term Load Forecast)
- Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment)
- Αξιολόγηση Ανταλλαγών (Interchange Evaluation).

### **10.5 Έλεγχος Παραγωγής σε Πραγματικό Χρόνο (RTGEN)**

Η λειτουργία RTGEN δίνει τη δυνατότητα στον χειριστή του συστήματος να παρακολουθεί, αναλύει και ελέγχει σε πραγματικό χρόνο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της ελεγχόμενης περιοχής. Ειδικότερα, η λειτουργία RTGEN επιτρέπει στον χειριστή του συστήματος :

- Να προγραμματίζει και παρακολουθήσει την παραγωγή όλων των μονάδων της ελεγχόμενης περιοχής,
- Να κατανείμει οικονομικά την παραγωγή ικανοποιώντας τη ζήτηση.
- Να εκτιμήσει το τρέχον κόστος παραγωγής.
- Να προγραμματίσει και παρακολουθήσει τις εφεδρείες.
- Να προγραμματίσει και παρακολουθήσει τις ανταλλαγές ενέργειας με τις γειτονικές Χώρες.
- Να προσδιορίσει το σημείο βάσης και τους συντελεστές συμμετοχής, τη μείωση ικανότητας και το πρόγραμμα συνδυασμού καυσίμων των μονάδων.
- Να προσδιορίσει πρόγραμμα κόστους καυσίμων.
- Να εκκαθαρίσει προγράμματα ανταλλαγών παρελθούσης χρήσης.
- Να διατηρήσει μοντέλο απωλειών συστήματος και μονάδων για χρήση από άλλα προγράμματα.

Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει προγράμματα όπως :

- Αυτόματης Ρύθμισης Παραγωγής (Automatic Generation Control-AGC)

Με το πρόγραμμα AGC επιτελείται η κύρια αποστολή της λειτουργίας RTGEN. Επιτυγχάνεται η δευτερεύουσα ρύθμιση της παραγωγής που σχετίζεται άμεσα και με τον έλεγχο των διεθνών διασυνδέσεων. Στόχος είναι η ρύθμιση της παραγωγής ώστε να καλύπτεται η ζήτηση ενώ παράλληλα να διατηρείται η συχνότητα του δικτύου και οι ανταλλαγές ισχύος στις προγραμματισμένες τιμές. Το πρόγραμμα καθορίζει την ενεργό ισχύ που πρέπει ανά πάσα στιγμή να ανακατανεμηθεί (αύξηση ή μείωση παραγωγής) στις

ελεγχόμενες μονάδες. Οι επιθυμητές τιμές αποστέλλονται στους ελεγκτές γεννητριών σταθμών παραγωγής (GUCs) μέσω του υποσυστήματος SCADA. [6]

Σημαντικά χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι:

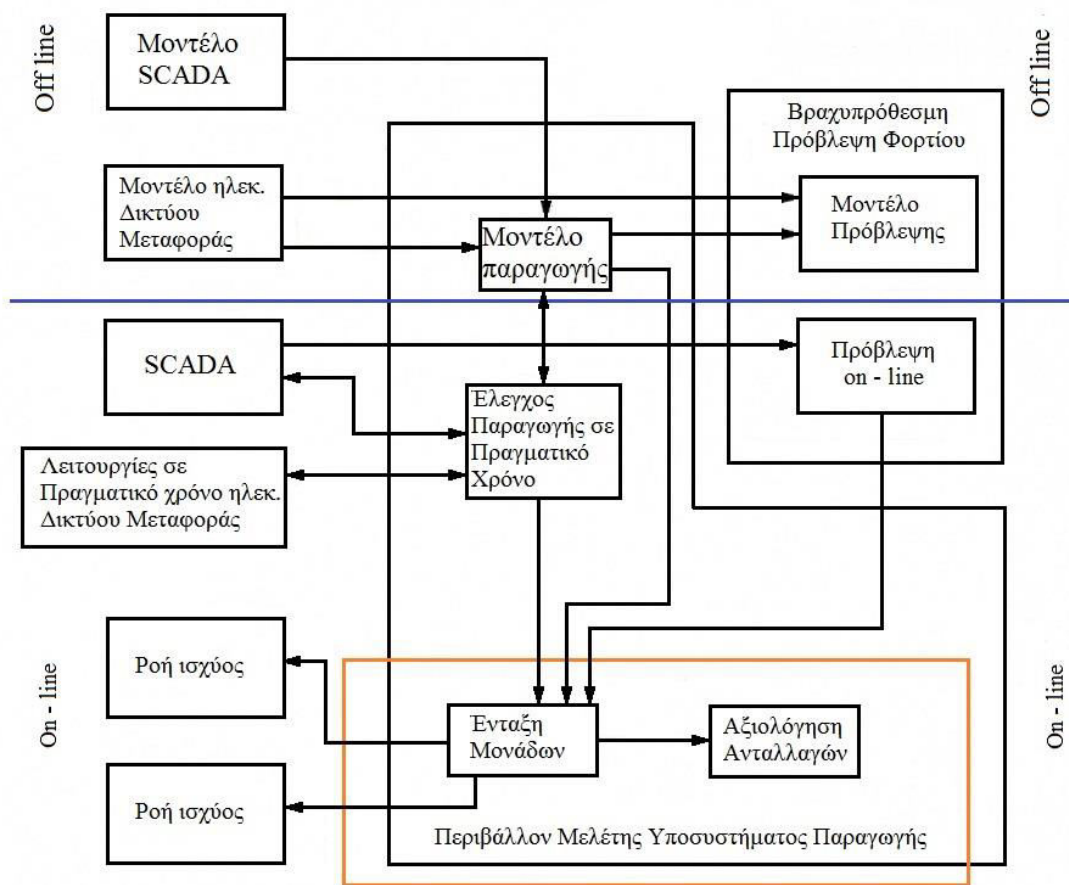
- Συλλογή μετρήσεων κάθε 2 sec και έκδοση εντολών ρύθμισης κάθε 4 sec.
- Διόρθωση χρόνου, που γίνεται με αντίστοιχη μεταβολή της συχνότητας με σκοπό η ηλεκτρική ώρα να ταυτίζεται με τον απόλυτο χρόνο που παρέχεται από δορυφορική λήψη σήματος GPS.
- Διόρθωση ενέργειας ανταλλαγών, ώστε η ανταλλασσόμενη ενέργεια με τις γειτονικές χώρες να παραμένει στα προγραμματισμένα επίπεδα.

#### ❖ Προγραμματισμού Ανταλλαγών (Transactions Scheduling)

Η λειτουργία προγραμματισμού ανταλλαγών είναι ένα εργαλείο με το οποίο ο χειριστής καθορίζει το χρονοδιάγραμμα ανταλλαγών με τις γειτονικές Χώρες. Το πρόγραμμα AGC χρησιμοποιεί τα δεδομένα του προγραμματισμού ανταλλαγών για να προσδιορίσει την επιθυμητή ροή ισχύος στις διασυνδεδετικές γραμμές. Ο χειριστής μπορεί να αγοράσει ή να πωλήσει ενέργεια σε μια γειτονική χώρα, ή να διακινήσει ενέργεια από μια γειτονική Χώρα σε μια άλλη μέσω του Εθνικού Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς.

#### ❖ Προγραμμάτων Λειτουργίας Μονάδων (Unit Schedules)

Με τα προγράμματα λειτουργίας μονάδων καθορίζονται το σημείο βάσης, η μείωση ικανότητας και το πρόγραμμα συνδυασμού καυσίμων για κάθε μονάδα της ελεγχόμενης περιοχής.



Σχήμα 10.3 Λειτουργίες του Υποσυστήματος Παραγωγής

❖ Κόστους Καυσίμων (Fuel Costing)

Επιτρέπει στον χειριστή να καθορίσει το κόστος και το βαθμό απόδοσης για όλα τα είδη καυσίμων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του κόστους παραγωγής.

❖ Ενεργειακή Παρακολούθηση (System Energy Monitor)

Με τη λειτουργία αυτή πραγματοποιείται η ενεργειακή παρακολούθηση του συστήματος. Υπολογίζονται και τυπώνονται ανά ώρα η ενεργός (MWH) και άεργος (MVARH) ενέργεια των γεννητριών των σταθμών παραγωγής, οι πραγματικές ανταλλαγές, οι ροές ορισμένων γραμμών μεταφοράς και άλλα στοιχεία.

❖ Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου (Short-Term Load Forecast)

Η εφαρμογή βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου παρέχει ωριαίες προβλέψεις φορτίου του συστήματος για χρονικό ορίζοντα μιας εβδομάδας από την τρέχουσα ημέρα χρησιμοποιώντας τεχνικές στατιστικής παλινδρόμησης.

Ο υπολογισμός βασίζεται σε στοιχεία κανονικοποιημένων καμπύλων φορτίου του συστήματος, που διατηρούνται σε αρχεία για μέχρι εννέα τύπους ημερών καθώς και σε μετεωρολογικά δεδομένα που λαμβάνονται από διάφορους σταθμούς.

#### ❖ Ένταξη Μονάδων (Unit Commitment)

Η λειτουργία ένταξης μονάδων είναι ένα πρόγραμμα μελέτης για τον προσδιορισμό του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος ένταξης/κράτησης των μονάδων παραγωγής. Εξετάζεται ένα μεγάλο πλήθος σεναρίων εκκίνησης και κράτησης θερμικών μονάδων παραγωγής. Για κάθε σενάριο εκτελείται το πρόγραμμα οικονομικής κατανομής για να προκύψει η βέλτιστη φόρτιση των μονάδων στην υπό εξέταση χρονική περίοδο. Οι υπολογισμοί αυτοί ενσωματώνονται σε ένα αλγόριθμο δυναμικού προγραμματισμού, για την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους (καυσίμων, λειτουργίας και συντήρησης, εκκίνησης) για όλες τις μονάδες παραγωγής. Οι περιορισμοί που πρέπει να ικανοποιούνται είναι η ζήτηση, οι ανταλλαγές και οι απαιτήσεις εφεδρειών.

Το πρόγραμμα ενεργοποιείται από το χειριστή (τυπικά ανά μία ώρα) αλλά και αυτόματα από το πρόγραμμα αξιολόγησης ανταλλαγών. Τα αποτελέσματα του προγράμματος περιλαμβάνουν ημερήσια ή ωριαία κατανάλωση καυσίμων, κόστος ανά μονάδα και σταθμό, χρονολογικό κατάλογο εκκίνησης και κράτησης των μονάδων, ημερήσια κόστη εκκίνησης, παραγωγής και ανταλλαγών σε επίπεδο συστήματος.

#### ❖ Αξιολόγηση Ανταλλαγών (Interchange Evaluation)

Η λειτουργία αξιολόγησης ανταλλαγών αποτελεί ένα εργαλείο του χειριστή για την εξέταση της οικονομικής και λειτουργικής σκοπιμότητας των ανταλλαγών που θα υλοποιηθούν μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Γίνεται χρήση του προγράμματος ένταξης μονάδων ειδικά για την αξιολόγηση των ανταλλαγών. [6]

Για δεδομένες τιμές πρόβλεψης φορτίου και προγραμματισμένων ανταλλαγών και λαμβάνοντας υπόψη τα προγράμματα λειτουργίας των θερμικών μονάδων παραγωγής και τις δυνατότητες ευκαιριακών ανταλλαγών με τα σχετικά τους περιθώρια, το πρόγραμμα αξιολόγησης ανταλλαγών προσδιορίζει την βέλτιστη λύση συνδυασμού ένταξης μονάδων και ανταλλαγών, που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος παραγωγής του συστήματος, κατά τη

διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Το πρόγραμμα αξιολόγησης ανταλλαγών ενεργοποιείται από τον χειριστή τυπικά ανά μία ώρα.

## **10.6 Το Υποσύστημα «Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς» (Network).**

Το Υποσύστημα «Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς» μοντελοποιεί το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και παρέχει λειτουργίες τόσο σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου όσο και σε περιβάλλον μελέτης.

Το μοντέλο περιλαμβάνει:

- Τοπολογία του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς 400 KV και 150 KV.
- Ενεργά και άεργα φορτία.
- Λειτουργικά όρια ασφαλείας του δικτύου.

Οι λειτουργίες σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου είναι:

- Εκτίμηση κατάστασης (State Estimation)
- Ανάλυση Ενδεχομένων Διαταραχών (Contingency Analysis)

Οι λειτουργίες σε περιβάλλον μελέτης είναι:

- Ροή ισχύος (Powerflow)
- Βέλτιστη ροή ισχύος (Optimal Powerflow)
- Ανάλυση Ενδεχομένων Διαταραχών

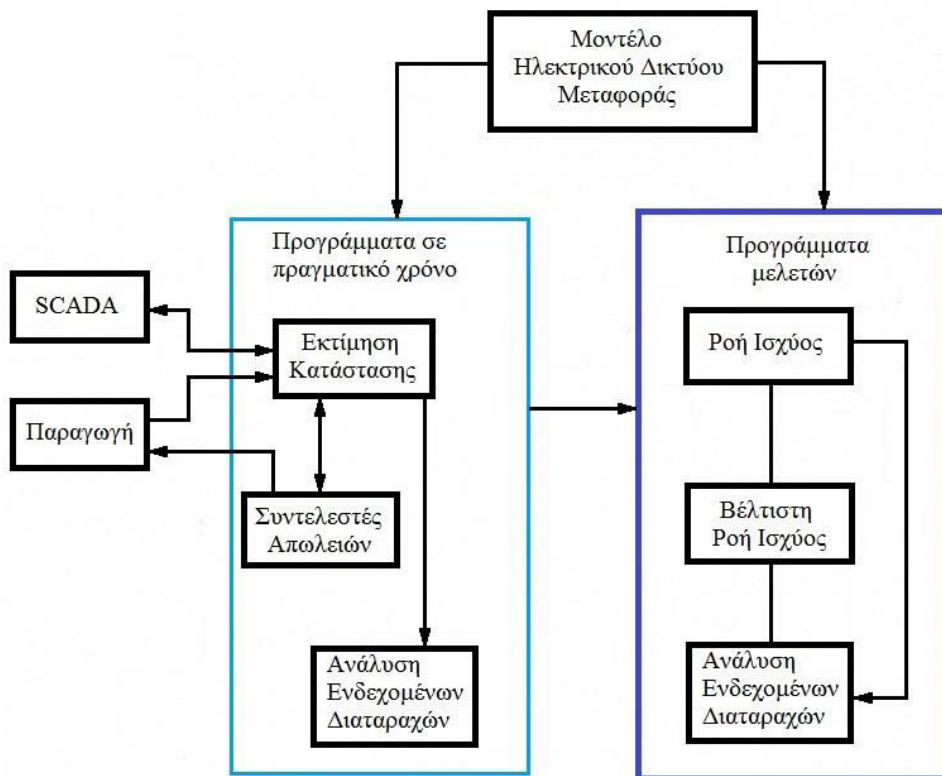
### **10.6.1 Εκτίμηση Κατάστασης**

Η εκτίμηση κατάστασης περιλαμβάνει μαθηματικούς αλγορίθμους που επεξεργάζονται συλλεγόμενες μετρήσεις από το SCADA και υπολογίζουν τις τάσεις και γωνίες σε όλους τους ζυγούς του ηλεκτρικού συστήματος και προσδιορίζουν συντελεστές ευαισθησίας απωλειών των μονάδων. Λαμβάνοντας τις πλέον πρόσφατες μετρήσεις από το SCADA, διαμορφώνεται τοπολογία του μοντελοποιημένου δικτύου. Κατόπιν, με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων υπολογίζεται το διάνυμα τάσεων των ζυγών από τις συλλεγόμενες μετρήσεις. Στη συνέχεια επιχειρείται ο εντοπισμός εσφαλμένων μετρήσεων, γίνονται διορθώσεις και επιτυγχάνεται μια νέα και αξιόπιστη εκτίμηση κατάστασης. Τέλος, ελέγχονται οι υπολογισθείσες τιμές τάσεων και ροών για παραβίαση ορίων και ενημερώνονται στατιστικά αρχεία. Η εφαρμογή του προγράμματος επιτρέπει τον εντοπισμό συστηματικών ή τυχαίων λαθών στο σύστημα μετρήσεων και αυξάνει την εμπιστοσύνη των χειριστών στα στοιχεία που τους είναι διαθέσιμα. [6]

Με την ολοκλήρωση της εκτίμησης κατάστασης του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς πραγματοποιείται ο υπολογισμός των συντελεστών απωλειών μεταφοράς. Συγκεκριμένα,

υπολογίζονται συντελεστές απωλειών που δείχνουν τη συμβολή κάθε μιας μονάδας παραγωγής στις απώλειες μεταφοράς. Οι συντελεστές αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως από τα προγράμματα αυτόματης ρύθμισης παραγωγής και οικονομικής κατανομής για να προσδιορισθεί η επιβάρυνση του κόστους παραγωγής κάθε μονάδας ανάλογα με τη συμβολή της στην αύξηση ή τη μείωση των απωλειών μεταφοράς.

Το πρόγραμμα εκτελείται περιοδικά ανά 10 λεπτά, ή όταν διαπιστώνονται αλλαγές στην κατάσταση του δικτύου, ή ενεργοποιείται ανεξάρτητα από τον χειριστή. Ο χειριστής μπορεί να μεταβάλει την περίοδο εκτέλεσης του προγράμματος.



Σχήμα 10.4 Λειτουργίες του Υποσυστήματος Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς

### 10.6.2 Ανάλυση Ενδεχομένων Διαταραχών

Με το πρόγραμμα Ανάλυσης Ενδεχομένων Διαταραχών σε περιβάλλον on-line ή off-line εντοπίζονται οι διαταραχές εκείνες που μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλία στην ασφαλή λειτουργία του δικτύου. Σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου η ανάλυση χρησιμοποιεί σαν αφετηρία τα αποτελέσματα της λειτουργίας εκτίμησης κατάστασης για τη διερεύνηση



διαταραχών. Αν σημειωθούν παραβιάσεις ορίων παράγονται σημάσεις, που επαναλαμβάνονται αν οι παραβιάσεις προχωρήσουν σε ανώτερο επίπεδο. Επιτρέπεται στο χειριστή να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει ειδικές ενδεχόμενες διαταραχές ή ομάδες ενδεχόμενων διαταραχών, ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.

Η ανάλυση δεν προχωρεί πλήρως για τις ήπιες διαταραχές, αλλά επιλύονται πλήρως μόνο οι ενδεχόμενες επικίνδυνες διαταραχές. Οι τελευταίες ιεραρχούνται βάσει συντελεστών βαρύτητας που αντιπροσωπεύουν τη σχετική σπουδαιότητα του είδους και της σοβαρότητας των παραβιάσεων καθώς και τη σχετική πιθανότητα οι διαταραχές αυτές τελικά να συμβούν. Σκοπός της ιεράρχησης είναι να μην παρουσιάζονται περισσότερες πληροφορίες στον χειριστή από αυτές που μπορεί στην πραγματικότητα να αξιοποιήσει σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. [6]

Το πρόγραμμα που εκτελείται στη συνέχεια περιλαμβάνει αλγόριθμους ταχείας επίλυσης ροών ισχύος. Η ασφάλεια του δικτύου προσδιορίζεται από τη μη παραβίαση ορίων όπως φορτίσεις στοιχείων, τάσεων, ισχύων παραγωγής, κλπ.

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι ενδεχόμενες διαταραχές δεν συγκλίνουν σε λύση. Αυτό συνήθως οφείλεται σε απρόβλεπτες καταστάσεις του συστήματος που έχουν ως αποτέλεσμα να μην επαρκεί η παρεχόμενη ισχύς. Η ανάλυση ενδεχομένων διαταραχών αναγνωρίζει τις μη συγκλίνουσες περιπτώσεις και προχωρά στην επίλυση των υπολοίπων ενδεχομένων διαταραχών. Ο χειριστής ενημερώνεται σχετικά και έχει τη δυνατότητα να προχωρήσει σε πιο λεπτομερή εξέταση τέτοιων περιπτώσεων.

Το πρόγραμμα ανάλυσης ενδεχομένων διαταραχών σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου παρακολουθεί την εκτέλεση του προγράμματος εκτίμησης κατάστασης και εκτελείται επομένως περιοδικά ανά 10 min. Ο χειριστής μπορεί να μεταβάλει την περίοδο εκτέλεσης του προγράμματος.

### **10.6.3 Ροή Ισχύος**

Το πρόγραμμα ροής ισχύος παρέχει στους χειριστές και τους μελετητές λειτουργίας του συστήματος τη δυνατότητα να μελετήσουν τη μόνιμη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς. Η επίλυση των εξισώσεων ροής ισχύος γίνεται με τη μέθοδο Newton-Raphson. Οι εξισώσεις έχουν γενικευμένη μορφή ώστε να συμπεριλαμβάνουν τις ανταλλαγές μεταξύ περιοχών, τους μεταγωγείς σχέσεως μετασχηματισμού και φάσεως των μετασχηματιστών, την αναλογική κατανομή των έργων μεταξύ των μονάδων καθώς επίσης και τον ισολογισμό ενεργού και αέργου ισχύος στους κόμβους. Επίσης μπορούν να μοντελοποιούνται σύνδεσμοι συνεχούς ρεύματος.

#### **10.6.4 Βέλτιστη Ροή Ισχύος**

Το πρόγραμμα βέλτιστης ροής ισχύος παρέχει την πρόσθετη δυνατότητα αυτόματης και συστηματικής ρύθμισης παραμέτρων ελέγχου, σύμφωνα με προκαθορισμένους από τον χρήστη περιορισμούς και αντικειμενικές συναρτήσεις.

Με το πρόγραμμα βέλτιστης ροής ισχύος μπορούν να μελετηθούν περιπτώσεις, στις οποίες ισχύουν διαφορετικοί έλεγχοι, περιορισμοί και αντικειμενικές συναρτήσεις. Στόχος των μελετών αυτών μπορεί να είναι ελαχιστοποίηση είτε του κόστους παραγωγής, είτε των απωλειών μεταφοράς ενεργού ισχύος.

Το πρόγραμμα αφορά στις εξής μελέτες :

- Κατανομής της παραγόμενης ενεργού ισχύος με περιορισμούς ασφαλείας, όπου καθορίζονται τα προγράμματα οικονομικής παραγωγής των μονάδων, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι τα όρια ροής ισχύος στους κλάδους του δικτύου μεταφοράς δεν παραβιάζονται.
- Ελαχιστοποίησης απωλειών μεταφοράς ενεργού ισχύος εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι τα όρια ροής ισχύος στους κλάδους του δικτύου μεταφοράς δεν παραβιάζονται.
- Κατανομής της συνδυασμένης παραγόμενης ενεργού/αέργου ισχύος με περιορισμούς ασφαλείας, όπου ελαχιστοποιείται το κόστος παραγωγής των μονάδων, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι τα όρια τάσεως, αέργου ισχύος και ροής ισχύος στους κλάδους του δικτύου μεταφοράς δεν παραβιάζονται. Η κατανομή της συνδυασμένης παραγόμενης ενεργού/αέργου ισχύος είναι ιδιαίτερος σημαντική για την επίλυση προβλημάτων τάσεων αέργου ισχύος που προκαλούνται από τη μεταφορά υπερβολικής ενεργού ισχύος.

#### **10.6.5 Ανάλυση Ενδεχομένων Διαταραχών σε Περιβάλλον Μελέτης**

Η λειτουργία του προγράμματος σε περιβάλλον μελέτης είναι ίδια με αυτήν σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου με τη διαφορά ότι τα δεδομένα λαμβάνονται είτε από το πρόγραμμα ροής ισχύος είτε από το πρόγραμμα βέλτιστης ροής ισχύος. Επειδή στα πλαίσια του προγράμματος ανάλυσης ενδεχομένων διαταραχών εξετάζονται σε μια εκτέλεση μέχρι και 200 τέτοια ενδεχόμενα, παρουσιάζονται στον χειριστή μόνο πληροφορίες που αφορούν σε παραβιάσεις ορίων του δικτύου και όχι η πλήρης κατάσταση του δικτύου για κάθε τέτοιο ενδεχόμενο. Υπάρχει όμως η δυνατότητα προσωρινής παύσης του προγράμματος μετά την ανάλυση κάποιας συγκεκριμένης διαταραχής, ώστε να παρέχεται η ευχέρεια λεπτομερειακής επισκόπησης της κατάστασης του ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς κατά τη διαταραχή αυτή.

[6]

## 10.7 Ο Προσομοιωτής Εκπαίδευσης Χειριστών (DTS)

Η χρήση των ηλεκτρονικών μέσων και πολύπλοκων προγραμμάτων στην αίθουσα ελέγχου δε μειώνει το ρόλο του ανθρώπινου παράγοντα (του χειριστή).

Ο χειριστής έχει στη διάθεσή του τα εργαλεία που του επιτρέπουν να λειτουργήσει με ασφάλεια και οικονομία το ηλεκτρικό δίκτυο. Τούτο όμως απαιτεί εκτός από την άριστη γνώση της συμπεριφοράς του ηλεκτρικού Συστήματος και την άριστη γνώση για τη βέλτιστη χρήση των παρεχόμενων εργαλείων των δυνατοτήτων και των περιορισμών τους.

Για το λόγο αυτό, η διαρκής εκπαίδευση – εξάσκηση των χειριστών είναι βασικός παράγοντας για την πλήρη αξιοποίηση του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας.

Ο Προσομοιωτής Εκπαίδευσης Χειριστών (ΠΕΧ) (βλ. Σχήμα 10.5) είναι μία off-line λειτουργία, χαμηλής προτεραιότητας, που εκτελείται στον εφεδρικό κεντρικό υπολογιστή του Εθνικού Κέντρου Ελέγχου. Σε περίπτωση που ο κύριος κεντρικός υπολογιστής τεθεί εκτός λειτουργίας, η εκτέλεση του DTS διακόπτεται.

Τα βασικά υποσυστήματα του DTS περιλαμβάνουν τις εφαρμογές μοντελοποίησης του ηλεκτρικού συστήματος, τις εφαρμογές εκπαίδευσης και τις εφαρμογές μοντελοποίησης του Κέντρου Ελέγχου.

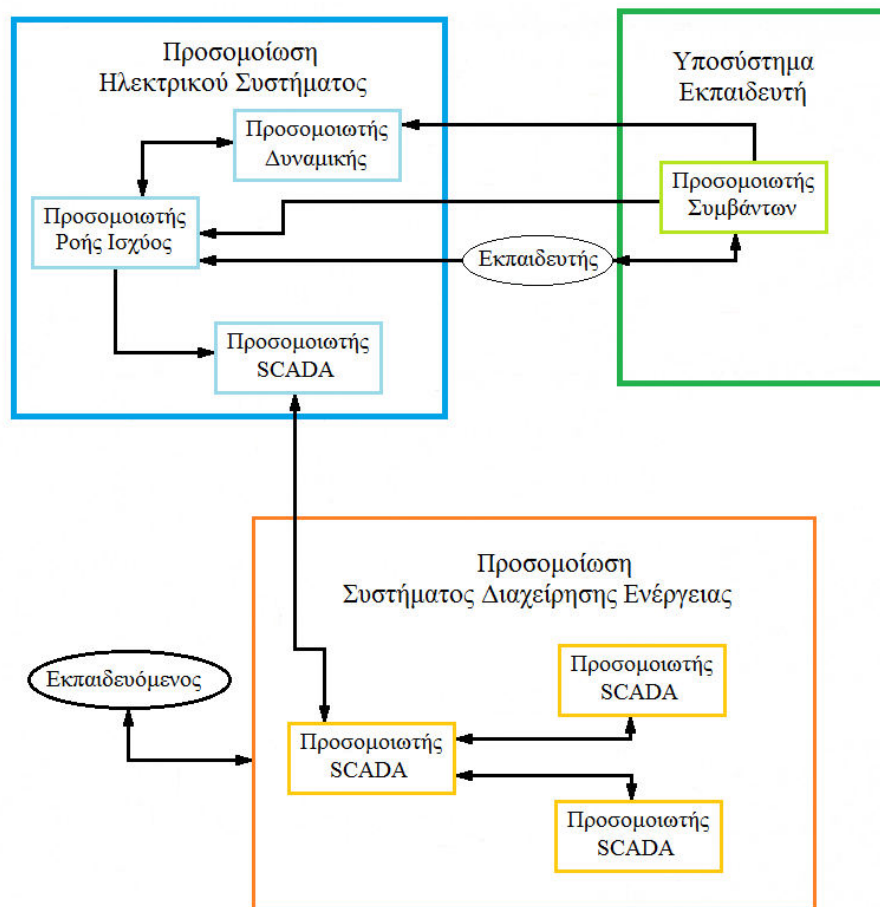
Με τις εφαρμογές μοντελοποίησης του ηλεκτρικού συστήματος προσομοιώνεται η λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος σε ό,τι αφορά το χειρισμό σταθμών παραγωγής και υποσταθμών καθώς και τη λειτουργία διακοπών υπό τη δράση ηλεκτρονόμων. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει δυναμική προσομοίωση του συστήματος. Τα βασικά προγράμματα προσομοίωσης είναι της ροής ισχύος και της δυναμικής συμπεριφοράς. Το πρόγραμμα ροής ισχύος εκτελείται περιοδικά τυπικά ανά 8 sec, ή κατ' εξαίρεση στην περίπτωση μεταβολής της κατάστασης ενός διακόπτη. Το πρόγραμμα δυναμικής συμπεριφοράς εκτελείται σε γρηγορότερο ρυθμό, ανά 1 sec. Το πρόγραμμα ροής ισχύος παρέχει αποτελέσματα μόνιμης κατάστασης (ροές, τάσεις, κλπ.). Το πρόγραμμα δυναμικής συμπεριφοράς κυρίως λύνει το πρόβλημα της συχνότητας συστήματος, υποθέτοντας ενιαία συχνότητα σε ολόκληρο το σύστημα ή για κάθε τοπολογική νησίδα. Το υποσύστημα μοντελοποίησης του κέντρου ελέγχου προσομοιώνει όλα τα προγράμματα (SCADA, παραγωγής, ηλεκτρικού δικτύου μεταφοράς) που χρησιμοποιούνται στην πραγματική λειτουργία του συστήματος διαχείρισης ενέργειας. Χρησιμοποιείται ένα πανομοιότυπο υποσύστημα προσαρμογής ανθρώπου-μηχανής (MMI) με τη μόνη διαφορά ότι δεν προσομοιώνεται ο μιμικός πίνακας.

Υποστηρίζονται όλες οι βασικές λειτουργίες που πραγματοποιούνται στο Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας όπως π.χ. έλεγχος παραγωγής, οικονομική κατανομή, ένταξη μονάδων, υπολογισμός εφεδρειών, ροές ισχύος, κλπ.

Ο χειριστής εκτελεί τις λειτουργίες ακριβώς όπως και στην πραγματικότητα. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα στο χειριστή για εκπαίδευση σε περιπτώσεις νησιδοποίησης του δικτύου, και αποκατάστασης διακοπών. [6]

Ο εκπαιδευόμενος έχει στη διάθεσή του θέση εργασίας όμοια με αυτή της αίθουσας ελέγχου. Η εκπαίδευση μπορεί να γίνεται σε συνεργασία με άλλον πιο έμπειρο χειριστή-εκπαιδευτή, ο οποίος από ένα τερματικό ενεργοποιεί διάφορα σενάρια λειτουργίας του συστήματος για τα οποία εξασκείται ο εκπαιδευόμενος, προκαλεί αλλαγές κατάστασης ή και διαταραχές στο μοντελοποιημένο δίκτυο.

Τα προγράμματα προσομοίωσης – εκπαίδευσης χρησιμοποιούν είτε πραγματικά δεδομένα του συστήματος (ένα στιγμιότυπο πραγματικού χρόνου καταχωρημένου σε αρχείο), είτε μελλοντικά σενάρια λειτουργίας.



Σχήμα 10.5 Το Υποσύστημα του Προσομοιωτή Εκπαίδευσης Χρηστών

## **10.8 Πλήρη γραφικά συστήματος επικοινωνίας ανθρώπου –μηχανής (Full Graphics MMI)**

Στο Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας γίνεται εκτεταμένη χρήση εφαρμογών Full Graphics βασισμένων στα λογισμικά στρώματα DECWindows/DECMotif. Παρέχονται οι ευκολίες της παραθυρικής λειτουργίας όπως zooming, panning και scrolling, κτλ. Οι απεικονίσεις αναπτύσσονται με τον Display Builder Editor σε δύο φάσεις :

- Στην πρώτη φάση δημιουργείται η βιβλιοθήκη δομικών στοιχείων που περιέχει σύμβολα, πεδία και εικόνες, κτλ.
- Στη δεύτερη φάση γίνεται ο σχηματισμός της απεικόνισης με την τοποθέτηση των δομικών στοιχείων σε συγκεκριμένη θέση και τον καθορισμό της σύνδεσης με τη βάση δεδομένων.

Υποστηρίζονται δύο τύποι απεικονίσεων : οι απλές απεικονίσεις και οι απεικονίσεις πινάκων. Με απλές απεικονίσεις δημιουργήθηκαν λεπτομερειακά μονογραμμικά σχέδια όλων των υποσταθμών, εποπτικές απεικονίσεις αντίγραφα των μιμικών διαγραμμάτων και γεωγραφικού τύπου εποπτικές απεικονίσεις ολόκληρου του ηλεκτρικού δικτύου. Στις απλές απεικονίσεις εφαρμόστηκε η τεχνική δημιουργίας στρωμάτων (Layers) με τοποθέτηση ίδιου τύπου πληροφορίας σε ξεχωριστά στρώματα. Επίσης γίνεται εκτεταμένη χρήση του παρεχόμενου πλεονεκτήματος ταυτόχρονης πρόσβασης σε περισσότερες από μια βάσεις δεδομένων και έτσι π.χ. μπορούν να παρουσιασθούν αποτελέσματα από τον εκτιμητή κατάστασης και από το SCADA στην ίδια απεικόνιση.

Οι πίνακες μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά με τις απλές απεικονίσεις. Η βασική διαφορά έγκειται στο ότι δεν απαιτείται ειδική θέση εικόνας αλλά άλλες σχετικές θέσεις εικόνων στην οθόνη και επανάληψη των εικόνων τόσες φορές, όσες είναι οι εγγραφές που ευρίσκονται στη βάση δεδομένων. Αυτό το είδος απεικόνισης χρησιμοποιείται για παρουσίαση αποτελεσμάτων εξόδου, λίστας συμβάντων, λίστας σημάνσεων, κλπ. [6]

## **10.9 Υλικό Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (HARDWARE)**

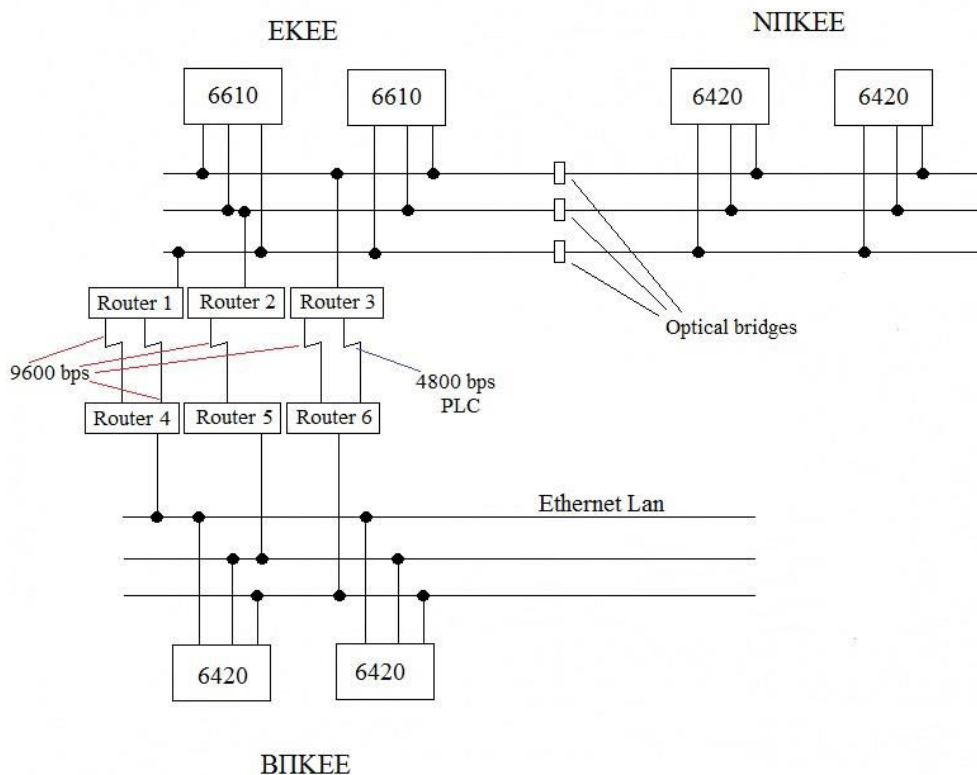
Το υλικό (Hardware) του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας περιλαμβάνει τους κεντρικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και περιφερειακό εξοπλισμό, τους εμπρόσθιους υπολογιστές (Telemetry Front Ends) και τον εξοπλισμό του συστήματος επικοινωνίας ανθρώπου – μηχανής (Man-Machine Interface).

Βασική απαίτηση για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές των Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας είναι όχι μόνο η ύπαρξη επαρκούς υπολογιστικής ισχύος για την κάλυψη των σημερινών και των

μελλοντικών αναγκών του συστήματος αλλά και η εξασφάλιση της απαιτούμενης διαθεσιμότητας των κέντρων που είναι της τάξης του 99,9%.

Το κάθε Κέντρο περιλαμβάνει διπλούς κεντρικούς υπολογιστές ένας εκ των οποίων λειτουργεί σαν «κύριος», ενώ ο άλλος σαν «εφεδρικός» ευρισκόμενος σε κατάσταση θερμής εφεδρείας (Hot standby). Οι υπολογιστές είναι οι ίδιοι ώστε οι ρόλοι κύριος/εφεδρικός να εναλλάσσονται. Πτώση του κύριου υπολογιστή οδηγεί σε αυτόματη μεταγωγή στον εφεδρικό. Υπό κανονικές συνθήκες ο εφεδρικός Η/Υ είναι διαθέσιμος για εργασίες όπως η εκπαίδευση των χειριστών (με προσομοίωση δικτύου), ή για ανάπτυξη των βάσεων δεδομένων και νέων εφαρμογών. Σε περίπτωση μεταγωγής οι λειτουργίες αυτές διακόπτονται.

Η δομή των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των τριών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας βασίζεται σε παρόμοια αρχιτεκτονική, με Η/Υ DEC VAX, λειτουργικού συστήματος VAX/VMS και χρησιμοποιώντας το δίκτυο DECNET για επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών του ίδιου Κέντρου ή μεταξύ διαφορετικών Κέντρων όπως φαίνεται σχήμα 10.6.



Σχήμα 10.6 Τοπολογία Διακεντρικής Επικοινωνίας EKEE – ΠΚΕΕ.

Το φυσικό υπόστρωμα διασύνδεσης μεταξύ όλων των υπολογιστών είναι ένα τριπλό δίκτυο Ethernet που επίσης συνδέει και το σύνολο σχεδόν των περιφερειακών του συστήματος ΜΜΙ. Το Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας συνδέεται με το Νότιο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας απευθείας μέσω οπτικών γεφυρών και του Ethernet, καθώς τα δύο Κέντρα ευρίσκονται στο ίδιο κτίριο. Η επικοινωνία μεταξύ Εθνικού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας και Βόρειου Περιφερειακού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας υποστηρίζεται από τέσσερις μισθωμένες από τον ΟΤΕ μικροκυματικές γραμμές των 9.600 bps και μία γραμμή φερρεσύχων της ΔΕΗ για επικοινωνία των 4800 bps. Ο συγχρονισμός των ωρολογίων πραγματικού χρόνου των κεντρικών ηλεκτρονικών υπολογιστών στα κτίρια Αγ. Στεφάνου και Πτολεμαΐδας γίνεται με δορυφορική λήψη σήματος GPS (Global Positioning System). [6]

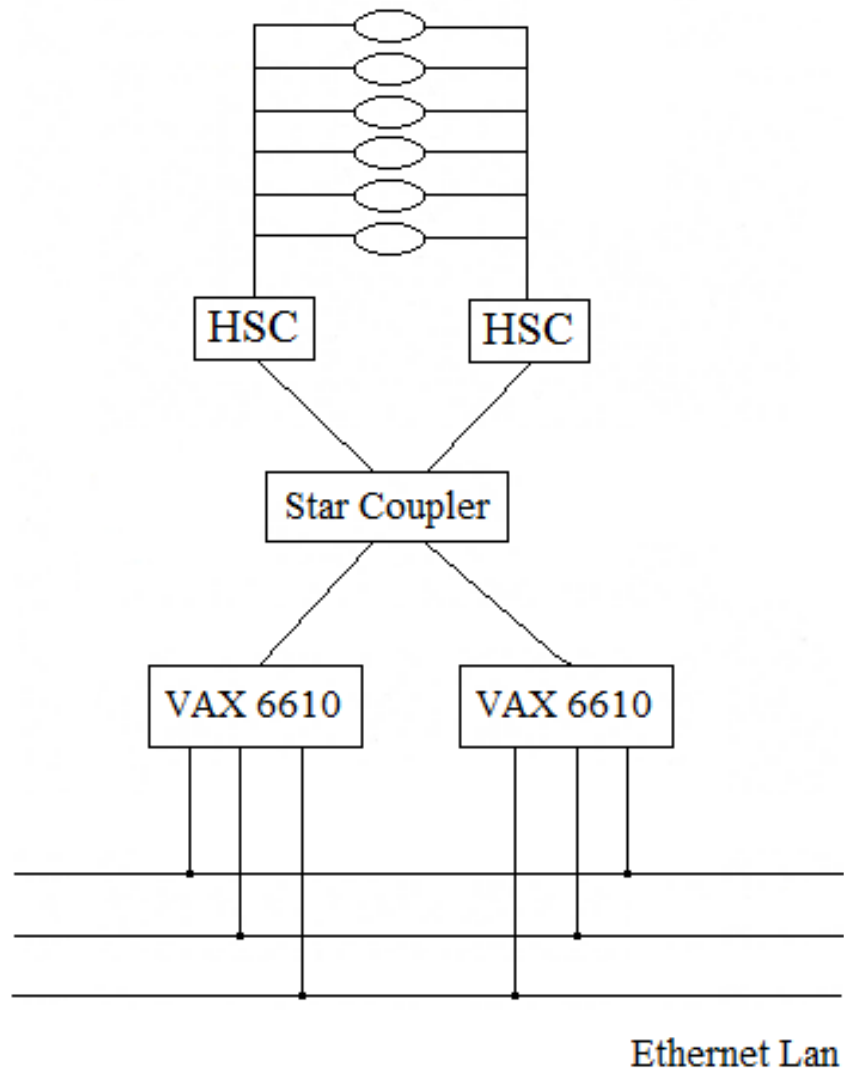
### **10.10 Το υλικό ηλεκτρονικών υπολογιστών του Εθνικού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας**

Το σύστημα κεντρικού ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι VAXcluster βασισμένο σε δύο κεντρικούς Η/Υ με επεξεργαστή VAX 6610. Κάθε κεντρικός Η/Υ έχει 96 Mbytes μνήμη RAM. Οι δύο κεντρικοί Η/Υ μοιράζονται την περιφερειακή δίσκους και τους συνδέουν με τους δύο κεντρικούς υπολογιστές μέσα από ένα Star Coupler, το σύστημα υποστηρίζεται από δύο μονάδες μαγνητικών ταινιών (1600/6250 bpi).

Ο εξοπλισμός του συστήματος επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής περιλαμβάνει:

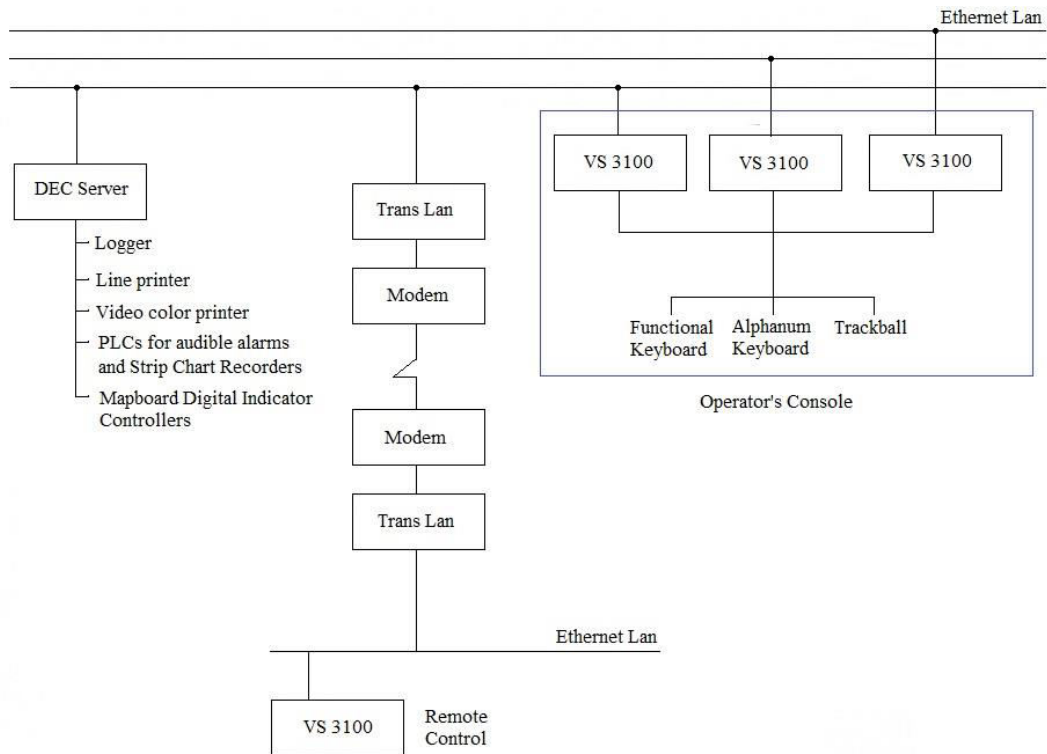
- Τρεις θέσεις εργασίας (κονσόλες) για τους χειριστές του συστήματος. Κάθε θέση εργασίας αποτελείται από τρία VAXstation 3100 model 76, με έγχρωμες οθόνες υψηλής ανάλυσης (1280 X 1024 pixels) και ένα αφαριθμητικό πληκτρολόγιο, ένα λειτουργικό πληκτρολόγιο και ένα «track ball» συνδεδεμένα με τα VAXstation μέσω πολυπλέκτη.
- Θέση εργασίας προγραμματική και θέση εργασίας μελετητική με κονσόλες όπως αυτές των χειριστών, αλλά με δύο VAXstations.
- Θέση εργασίας εκπαίδευσης παρόμοια με αυτή των χειριστών.
- Θέση εργασίας για την αίθουσα παρουσιάσεων και θέση εργασίας για το γραφείο του Διευθυντή με κονσόλες όπως αυτές των χειριστών αλλά με ένα VAXstation.
- Δύο θέσεις εργασίας για τους αναλυτές με VAXstations 3100 model 30 με ασπρόμαυρη οθόνη.
- Μιμικό διάγραμμα με LEDs και φωτεινούς ενδείκτες.
- Καταγραφικά χάρτου οδηγούμενα από προγραμματιζόμενους ελεγκτές.

- Μία ομάδα εκτυπωτών διαρκούς καταγραφής (Loggers), δύο εκτυπωτές γραμμής και ένα έγχρωμο εκτυπωτή γραφικών.



Σχήμα 10.7 Οι κεντρικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές του ΕΚΕΕ.



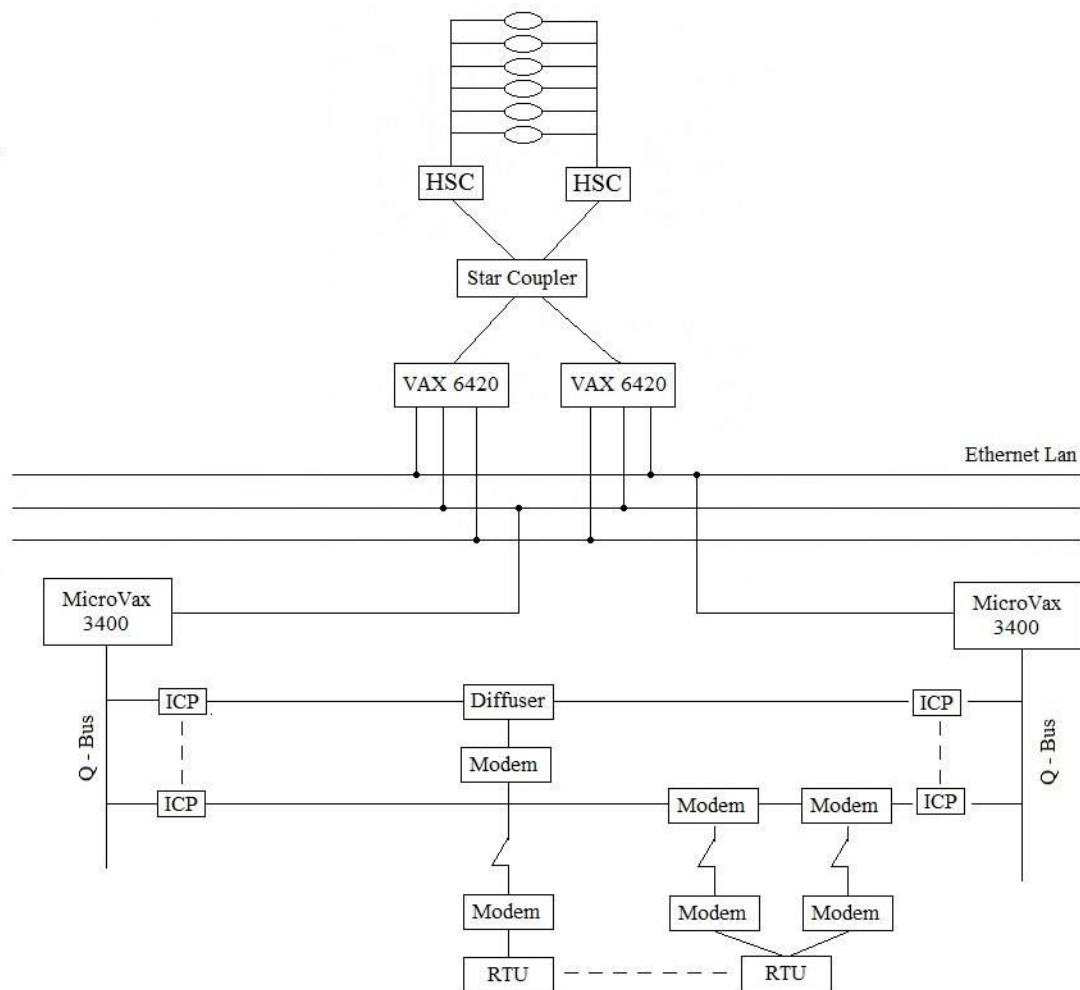


Σχήμα 10.8 Επισκόπηση Συστήματος Επικοινωνίας Ανθρώπου – Μηχανής.

## 10.11 Το υλικό ηλεκτρονικών υπολογιστών των Περιφερειακών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας

Το υλικό ηλεκτρονικών υπολογιστών των Περιφερειακών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας είναι παρόμοιο με αυτό του Εθνικού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας. Οι σημαντικότερες διαφορές εντοπίζονται στους κεντρικούς Η/Υ που είναι VAX 6410, στο μικρότερο αριθμό θέσεων εργασίας και περιφερειακού εξοπλισμού, και στην παρουσία των εμπρόσθιων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Εκτός από τις θέσεις εργασίας των Περιφερειακών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας υπάρχει και μια απομακρυσμένη θέση εργασίας στη Θεσσαλονίκη συνδεδεμένη με το Βόρειο Περιφερειακό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας.

Οι εμπρόσθιοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές κάθε Περιφερειακού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας είναι ένα σύστημα δύο MicroVax 3400 server computers που επικοινωνεί με τα RTUs. Αυτοί οι δύο Η/Υ επίσης επικοινωνούν με τους κεντρικούς Η/Υ καθενός Περιφερειακού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας μέσω του δικτύου Ethernet. Οι γραμμές επικοινωνίας με τα RTU είναι σχεδόν όλες διπλές (κύρια και εφεδρική) και ελέγχονται από έξυπνους ελεγκτές επικοινωνίας που συνδέονται από τους εμπρόσθιους ηλεκτρονικούς υπολογιστές όπως φαίνεται στο σχήμα 10.9.



Σχήμα 10.9 Οι κεντρικοί και οι εμπρόσθιοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές των ΠΚΕΕ

## 10.12 Μιμικά Διαγράμματα

Ένα από τα βασικά στοιχεία επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής είναι το μιμικό διάγραμμα του οποίου η βασική λειτουργία είναι να παρέχει στους χειριστές μία γενική εικόνα του δικτύου με επαρκή σαφήνεια.

Στο μιμικό διάγραμμα του Εθνικού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας έχουμε ένδειξη ζεύξης στους ζυγούς των άκρων κάθε γραμμής μεταφοράς, ένδειξη ποσοστού ροής ενεργού ισχύος και φοράς σε νευραλγικές γραμμές του δικτύου, ένδειξη υπερφόρτισης, τρεις ενδείξεις ύπαρξης σημάτων σχετιζόμενες με τον  $Y/\Sigma$  ή τη γραμμή, ενδείξεις πλήθους μονάδων σε λειτουργία και παραγόμενης ισχύος καθώς και άλλες πληροφορίες.

Στα μιμικά διαγράμματα των Περιφερειακών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας εμφανίζεται η τοπολογία  $Y/\Sigma$  και γραμμών με λεπτομέρειες κατάστασης διακοπών, αποζευκτών και

γειωτών 400, 150 και 66 KV, ενδείξεις ποσοστού ροής ενεργού ισχύος και φορά στις γραμμές, ενδείξεις ύπαρξης διαφορών σημάτων και άλλες λεπτομέρειες. [6]

### **10.13 Τερματικές Μονάδες (RTUs)**

Σε 87 υποσταθμούς και σταθμούς παραγωγής έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν 93 Τερματικές Μονάδες (RTUs) με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών (μετρήσεις, καταστάσεις, σημάτων) λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος καθώς επίσης την έκδοση των εντολών τηλεχειρισμού προς τον εξοπλισμό, που αποστέλλονται από τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας.

Το RTU τροφοδοτείται από το σύστημα ανορθωτή/φορτιστή – συσσωρευτών ώστε σε περίπτωση απώλειας της τάσης δικτύου να έχουν αυτονομία λειτουργίας δύο τουλάχιστον ωρών.

Ο πίνακας του RTU περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες κάρτες εισόδου/εξόδου, τη λογική μονάδα επεξεργασίας καθώς επίσης και τα modem για την επικοινωνία με τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας.

Το RTU συγχρονίζεται περιοδικά έτσι ώστε να υπάρχει κοινή βάση χρόνου με τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας.

Όλες οι οριολωρίδες σύνδεσης με τον επιτόπιο εξοπλισμό, οι ηλεκτρονόμοι και οι μοροτροπείς είναι τοποθετημένοι μέσα σε ξεχωριστούς πίνακες για δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης και άνεσης στις εργασίες καλωδίωσης και ελέγχου.

### **10.14 Ελεγκτές Γεννητριών Σταθμών Παραγωγής (GUCs)**

Για την υλοποίηση των επιθυμητών τιμών παραγωγής ενεργού ισχύος των σταθμών παραγωγής όπως αυτές προκύπτουν από το πρόγραμμα αυτόματης ρύθμισης παραγωγής (AGC), εγκαταστάθηκαν στους σταθμούς ελεγκτές (GUCs), η βασική λειτουργία των οποίων είναι η έκδοση εντολών προς τους ρυθμιστές στροφών των μονάδων για την εξίσωση της παραγόμενης ενεργούς ισχύος με την εκάστοτε επιθυμητή τιμή προστατεύοντας συγχρόνως την μονάδα από εσφαλμένο σήμα.

Οι εντολές αυτές εκδίδονται μόνον όταν η διαφορά μεταξύ επιθυμητής και πραγματικής τιμής είναι μεγαλύτερη από μια ελάχιστη τιμή, έτσι ώστε να αποφεύγονται ταλαντώσεις.

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς το GUC ελέγχει όλες τις μονάδες του σταθμού ενώ στους θερμοηλεκτρικούς η κάθε μονάδα ελέγχεται από ένα ξεχωριστό GUC.

Για τη λειτουργία του GUC απαιτείται η συλλογή μετρήσεων και σημάτων από το σταθμό όπως η παραγόμενη ισχύ, η συχνότητα, η πίεση υπέρθερμου ατμού αν πρόκειται για θερμικό σταθμό ή η πίεση στον αγωγό προσαγωγής νερού για κάποιους τύπους υδροηλεκτρικών, η

κατάσταση του διακόπτη κάθε μονάδος, η συνολική ισχύς στις διασυνδέσεις για υδροηλεκτρικούς που είναι επιφορτισμένοι με ειδικές λειτουργίες, η άεργος ισχύς των υδροηλεκτρικών μονάδων και άλλα μικρότερης σημασίας.

Ακόμη, από το χειριστή του σταθμού ή της μονάδος απαιτείται η εισαγωγή παραμέτρων για τη μέγιστη και ελάχιστη ικανότητα παραγωγής, την απαγορευμένη ζώνη λειτουργίας σε ορισμένους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, το στατισμό της κάθε μονάδος καθώς επίσης επιλογή σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του GUC (εντός/εκτός ρύθμισης, τοπική/μέσω ΚΚΕ ρύθμιση, εντολές στο όριο του φορτίου ή στο όριο ταχύτητας).

Με βάση τα παραπάνω, το GUC υλοποιεί κάθε φορά την επιθυμητή τιμή της ενεργού ισχύος σεβόμενο τους εκάστοτε περιορισμούς και τις παραμέτρους που ορίζονται είτε από το χειριστή του σταθμού είτε μέσω του προγράμματος του ελεγκτή.

Μονάδες GUC έχουν εγκατασταθεί στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου, Πουρναριού, Πολυφύτου, Σφηκιάς, Ασωμάτων, Πλαστήρα και Λάδωνα και στις θερμοηλεκτρικές μονάδες Καρδιάς I, II, III, IV, Αγ. Δημητρίου I, II, III, IV, Αμυνταίου I, II, Πτολεμαΐδας III, IV, Αλιβερίου III, IV και Λαυρίου I, II. [6]

## **10.15 Τηλεπικοινωνίες**

### **10.15.1 Γενικά**

Το Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο (ΤΔ) το οποίο υποστηρίζει το Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας (ΣΕΕ) αποτελείται από τέσσερα είδη ζεύξεων :

- Φερεσυχνικών (Φ/Σ)
- Μικροκυματικών (MW) ΔΕΗ
- Μισθωμένων Ευθειών (ΜΕ) ΟΤΕ
- Καλωδίων Πιλότων

Οι πιο πάνω ζεύξεις συνδέονται μεταξύ των σε διάφορα σημεία συνιστώντας έτσι το σύνολο των ζεύξεων μέσω των οποίων μεταφέρονται οι πληροφορίες από τα RTUs στους εμπρόσθιους υπολογιστές του ΝΠΚΕΕ και του ΒΠΚΕΕ της κάθε περιοχής αντίστοιχα. Τα κανάλια που μεταφέρουν data ή data και φωνή ή φωνή είναι εύρους 4 KHz. Οι ταχύτητες μεταφοράς των data είναι 300 bps, 600bps και 1200 bps.

### **10.15.2 Φερεσυχνικές Ζεύξεις (Φ/Σ) ΔΕΗ**

Στο δίκτυο data υπάρχουν συνολικά 125 φερεσυχνικές ζεύξεις (250 συσκευές). Το εύρος των χρησιμοποιούμενων φερεσυχνικών συχνοτήτων των ζεύξεων είναι 40-500KHz.

Οι συσκευές Φ/Σ τύπου CPL 301 έχουν όλες παρακείμενες ζώνες (adjacent zones) εκπομπής/λήψης των 4 KHz η κάθε μία. Οι συσκευές οι οποίες υπερθέτουν φωνή και data (με ψηφιοποίηση του σήματος) είναι οι TS303. Στο δίκτυο υπάρχουν συνολικά 68 μονάδες TS303 (34 ζεύξεις).

Μία Διαδρομή από το RTU προς το ΚΚΕ μπορεί και να αποτελείται από συνδυασμό των πιο πάνω ζεύξεων.

#### **10.15.3 Μικροκυματικές Ζεύξεις (MW) ΔΕΗ**

Υπάρχουν οι εξής 4 Μικροκυματικές αναλογικές ζεύξεις :

- ΚΥΤ Κουμουνδούρου – Ρουφ.
- ΚΥΤ Αχαρνών – Ρουφ.
- ΑΗΣ Πτολεμαΐδας – ΚΥΤ Καρδιάς
- ΚΥΤ Αγ. Δημητρίου – ΚΥΤ Καρδιάς.

#### **10.15.4 Ζεύξεις Μισθωμένων Ευθειών (ME) ΟΤΕ**

Οι ζεύξεις με ME ΟΤΕ μπορεί να είναι:

- Μικροκυματικές (Ψηφιακές)
- Φερεσυχνικές (Ψηφιακές και αναλογικές)
- Υπόγειο ή εναέριο καλώδιο ειδικής ποιότητας ΙΥ. Μέσω αστικού δικτύου (ΑΔ).

Τα χαρακτηριστικά αυτών είναι της σύστασης CCITT M1020, M1025 για data και M1040 για τηλεφωνία.

#### **10.15.5 Ζεύξεις Καλωδίων Πιλότων**

Υπάρχουν τα σημεία των διασυνδέσεων που φαίνονται στο Σχέδιο 10, όπου συγκεντρώνονται μέσω φερεσυχνικών ζεύξεων και ζεύξεων με πιλότους τα data από τα RTUs των ΚΥΤ, σταθμών παραγωγής και Υ/Σ τα οποία βρίσκονται στις αντίστοιχες γεωγραφικές περιοχές.

#### **10.15.6 Γεωγραφικός Διαχωρισμός του Τηλεπικοινωνιακού Δικτύου (ΤΔ)**

Το ΤΔ χωρίζεται σε δύο γεωγραφικές περιοχές, δηλαδή στο δίκτυο του Νοτίου συστήματος και στο δίκτυο του Βόρειου συστήματος.

Ορισμένες από τις πληροφορίες που συγκεντρώνονται στο ΒΠΚΕΕ μεταφέρονται προς το ΕΚΕΕ. Η επικοινωνία μεταξύ ΒΠΚΕΕ και ΕΚΕΕ γίνεται μέσω 4 ζεύξεων των 9600 bps μέσω μισθωμένων ευθειών ΟΤΕ. Υπάρχει και μια Πέμπτη ζεύξη στα 4800 bps που χρησιμοποιεί φερέσυχνα ΔΕΗ και μπορεί να μεταφέρει μέρος των πληροφοριών σε περίπτωση πτώσεως και των τεσσάρων ζεύξεων. [6]

Στο Νότιο σύστημα όλες οι ζεύξεις δρομολογούνται προς το ΝΠΚΕΕ με παρόμοιο τρόπο, με τη διαφορά ότι οι πληροφορίες που μεταφέρονται στο ΕΚΕΕ οδεύουν μέσω ενδοκτηριακών οπτικών ινών.

Εκτός από τις 4 ζεύξεις μεταξύ ΒΠΚΕΕ – ΕΚΕΕ υπάρχουν επίσης στο Βόρειο σύστημα 46 ζεύξεις από τις οποίες 23 κύριες και 23 εφεδρικές. Από τις 46 ζεύξεις οι 6 αντιστοιχούν σε κανάλια data των 1200 bps, οι 21 σε κανάλια data των 600 bps και οι άλλοι 19 σε κανάλια data των 300 bps.

Στο Νότιο σύστημα υπάρχουν 76 ζεύξεις συνολικά, από τις οποίες 36 είναι κύριες και 36 εφεδρικές. Για 4 ζεύξεις υπάρχει μόνο μία διαδρομή μεταξύ RTU – ΝΠΚΕΕ η οποία όμως διακλαδίζεται μέσω DIFFUSER και συνδέεται και στους δύο εμπρόσθιους υπολογιστές. Από τις 76 ζεύξεις οι 4 αντιστοιχούν σε κανάλια data των 1200 bps, οι 43 σε κανάλια data των 600 bps και οι 29 σε κανάλια data των 300 bps.

#### **10.15.7 Τηλεφωνία**

Το υπάρχον δίκτυο Φ/Σ τηλεφωνίας της ΔΕΗ σε συνδυασμό με μισθωμένα κυκλώματα ΟΤΕ εξυπηρετεί τις τηλεφωνικές ανάγκες των συνδρομητών των ΚΕΕ. Η διασύνδεση γίνεται μέσω των Κομβικών Κέντρων που είναι εγκατεστημένα στα εν λόγω σημεία. Η ζεύξη των ΚΕΕ με τα σημεία αυτά γίνεται με τα φυσικά μέσα. Στα δύο ΚΕΕ εγκαταστάθηκαν και λειτουργούν τα τηλεφωνικά κέντρα ADS 60 (κομβικό) και CPM128 (για αποκλειστική χρήση από τους χειριστές των ΚΕΕ). [6]

## **11 Ο εκσυγχρονισμός του ΣΕΕ.**

### **11.1 Εκσυγχρονισμός και παρούσα κατάσταση ΣΕΕ.**

Η διατήρηση της υψηλής στάθμης αξιοπιστίας του ΣΕΕ και η κάλυψη των αναγκών για λειτουργία στο σύγχρονο περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ήταν μία μεγάλη πρόκληση για τον ΔΕΣΜΗΕ. Οι νέες ανάγκες προέκυψαν από την αλλαγή του θεσμικού πλαισίου στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας με την απελευθέρωση της αγοράς και την εφαρμογή των κωδίκων καθώς και οι επιβεβλημένες υποχρεώσεις από τον ENTSO-E αναφορικά με τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, νομικά δεσμευτικές. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η αναγκαιότητα της στενής συνεργασίας του ΣΕΕ με τα Συστήματα Αγοράς. Επίσης, η διαρκής αύξηση του διασυνδεδεμένου συστήματος απαιτεί αντίστοιχη αύξηση των τεχνικών απαιτήσεων για τον εξοπλισμό και λογισμικό του ΣΕΕ, τα οποία όμως δεν είναι εύκολο να αναβαθμιστούν κατάλληλα λόγω του παρωχημένου τύπου τους. Για να καλυφθούν όλες οι σύγχρονες απαιτήσεις κατά ικανοποιητικό τρόπο ήταν απαραίτητη η υλοποίηση συμπληρωματικών έργων.

Η τεχνολογία της εποχής κατασκευής του ΣΕΕ βασίζονταν σε κλειστές αρχιτεκτονικές και ιδιότητα πρωτόκολλα τα οποία ήταν ασύμβατα με τις σύγχρονες τεχνολογίες. Το γεγονός αυτό εισήγαγε μεγάλες δυσκολίες προσαρμογής του ΣΕΕ στην υλοποίηση των νέων απαιτήσεων που επέβαλλε η αλλαγή του θεσμικού πλαισίου της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στις απαιτήσεις διεπικοινωνίας και διαλειτουργικότητας του ΣΕΕ με τα άλλα συστήματα διαφορετικών κατασκευαστών. Το αρμόδιο προσωπικό του ΔΕΣΜΗΕ, με το δεδομένο της ανελαστικότητας στη λειτουργία των νέων εφαρμογών και αναγκών επικοινωνίας με άλλα συστήματα και την αναγκαιότητα της αξιόπιστης λειτουργίας και διαθεσιμότητας του ΣΕΕ, μελέτησε τα διάφορα στάδια εκσυγχρονισμού του Συστήματος τα οποία υλοποιήθηκαν σε συνεργασία με τον αρχικό κατασκευαστή.

Ο εκσυγχρονισμός του ΣΕΕ έγινε σε διαδοχικές φάσεις και συνίσταται στις παρακάτω αναβαθμίσεις / βελτιώσεις / συμπληρώσεις του ΣΕΕ προκειμένου καλύψει τις ανακύψασες ανάγκες για το μεταβατικό στάδιο μέχρι την προβλεπόμενη οριστική αντικατάσταση του.

### **11.2 Αναβάθμιση του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας**

Αποτελεί την πρώτη σημαντική προσπάθεια για να αντιμετωπιστούν, μεταβατικά και μέχρι την αντικατάσταση του ΣΕΕ οι προαναφερόμενες ανάγκες που προέκυψαν με την πάροδο του χρόνου. Με αυτό το έργο [2], έγιναν παρεμβάσεις που δεν περιορίστηκαν στην προσθήκη νέων εφαρμογών για την κάλυψη των νέων απαιτήσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία

της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αλλά έγινε και τροποποίηση των εφαρμογών που ήταν ήδη σε λειτουργία ώστε να διατηρηθεί η αξιοπιστία του συστήματος, η αποδοτικότητα (performance) και να επιτευχθεί η αρμονική και αδιάλειπτη λειτουργία και επικοινωνία του με άλλα υποσυστήματα. Οι κυριότερες παρεμβάσεις είναι οι παρακάτω:

Αύξηση του μεγέθους των βάσεων (EKEE & ΠΚΕΕ) με αντίστοιχη αναδόμηση του συστήματος (system build), λόγω της αύξησης του όγκου των διαχειριζομένων πληροφοριών. Προσθήκη μνήμης κεντρικών Η/Υ (EKEE & ΠΚΕΕ) για αύξηση της ταχύτητας επεξεργασίας και εκτέλεσης των εφαρμογών.

Προσθήκη και αλλαγή με μεγαλύτερους των σκληρών δίσκων των κεντρικών Η/Υ (EKEE & ΠΚΕΕ) λόγω της απαιτούμενης αυξημένης χωρητικότητας.

Αύξηση της ταχύτητας επικοινωνίας EKEE – ΒΠΚΕΕ από τα 9600bps στα 64Kbps για ταχύτερη μεταφορά του αυξημένου όγκου των διακινούμενων πληροφοριών. Επίσης βελτίωση των επικοινωνιών ΠΚΕΕ Πτολεμαΐδας – ΠΚΕΕ Θεσσαλονίκης, με προσθήκη δεύτερης γραμμής 128Kbps για τη βελτίωση της λειτουργίας του ΠΚΕΕ Θεσσαλονίκης.

Προμήθεια, εγκατάσταση και σύνδεση με το SCADA/EMS λογισμικού (Market Clearing) για τον υπολογισμό των οικονομικών βασικών τιμών φόρτισης των μονάδων παραγωγής και διασυνδέσεων, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανόνες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, και την αποστολή τους στις μονάδες παραγωγής για υλοποίηση. [3],

Προσθήκη λογισμικού για τη μεταφορά στοιχείων λειτουργίας του Συστήματος Παραγωγής και Μεταφοράς από το περιβάλλον του ΣΕΕ σε περιβάλλον εξωτερικής σχεσιακής Βάσης Δεδομένων «Historical Information system» (HIS) της ORACLE με την οποία τα μετρούμενα μεγέθη (MW, AMPS, KV, MVAR) από το EMS μεταφέρονται και αποθηκεύονται στο HIS. Η δημιουργία του νέου περιβάλλοντος άνοιξε το δρόμο σε πλήθος από in house εφαρμογές που βασιστήκαν στα στοιχεία του HIS για να υπολογιστούν μεγέθη όπως η συμμετοχή των μονάδων στις επικουρικές υπηρεσίες οι αποκλίσεις των μονάδων από τις εντολές κατανομής κλπ προκειμένου να γίνουν από την εκκαθάριση οι σχετικές χρεοπιστώσεις και η επιβολή ποινών μη συμμόρφωσης. Τα αποθηκευμένα στοιχεία στο HIS επίσης με κατάλληλες εφαρμογές ενημερώνουν είτε διάφορες ιστοσελίδες (entsoe.net, ΔΕΣΜΗΕ) με στοιχεία που αποδεικνύουν τη διαφάνεια στις ηλεκτρικές αγορές όπως επιβάλλεται από το ρυθμιστικό εθνικό και κοινοτικό πλαίσιο, είτε με στοιχεία σε πραγματικό χρόνο για τους εμπλεκόμενους στη λειτουργία του συστήματος και βεβαίως τα συστήματα διαχείρισης και λειτουργίας της αγοράς. Σημειώνεται ότι στο παρελθόν αντίστοιχες εργασίες ανάκτησης ιστορικών στοιχείων της λειτουργίας ήταν επίπονες και χρονοβόρες και απαιτούσαν ειδικές γνώσεις.



Εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού για τη σύνδεση και λειτουργία του ΔΕΣΜΗΕ στο κλειστό δίκτυο των Ευρωπαϊών TSOs «Electronic Highway» (EH). Η ανταλλαγή στοιχείων με τους άλλους TSOs, μέσω του EH, βασίστηκε στην εγκατάσταση και λειτουργία του πρωτοκόλλου TASE.2 ανταλλαγής real time στοιχείων SCADA με άλλα ΚΕΕ. Το TASE.2 είναι το προτεινόμενο πρωτόκολλο από τον ENTSO-E για την ανταλλαγή για ανταλλαγή στοιχείων SCADA μεταξύ TSOs.

Προσαρμογή του υπάρχοντος λογισμικού των εφαρμογών της πλατφόρμας ΣΕΕ, όπου είναι απαραίτητη, στις ανάγκες της αγοράς Ηλεκτρικής ενέργειας, ix. Επαναρύθμιση (Retuning) του όλου συστήματος μετά τα παραπάνω για τη επαναβελτίωση της απόδοσης.

Προμήθεια κρίσιμων ανταλλακτικών των Η/Υ των ΚΕΕ για αντιμετώπιση εκτάκτων καταστάσεων.

Προμήθεια λογισμικού υποδοχής και καταχώρησης των προσφορών από τους παραγωγούς και δημοσίευση των αντίστοιχων στοιχείων προγραμματισμού και αποτελεσμάτων της λειτουργίας.

### **11.3 Εγκατάσταση Display Wall Περιφερειακού Κέντρου Ελέγχου Ενέργειας Θεσσαλονίκης.**

Για την ασφαλή και αδιάλειπτη παρακολούθηση της κατάστασης του ηλεκτρικού συστήματος της περιοχής αρμοδιότητας του ΠΚΕΕ Θεσσαλονίκης εγκαταστάθηκε και συνδέθηκε με το ΣΕΕ σύστημα προβολής τεχνολογίας DLP (display wall), σε αντικατάσταση του υπάρχοντος μιμικού διαγράμματος, για την απεικόνιση, προβολή σε πραγματικό χρόνο της λειτουργικής κατάστασης του διασυνδεδεμένου συστήματος στις περιοχές της Ανατολικής και Κεντρικής Μακεδονίας και της Θράκης. Αυτό έδωσε νέες δυνατότητες καθώς σε κανονικές συνθήκες, το μιμικό διάγραμμα προβάλλει εικόνα που απεικονίζει την κατάσταση και τα λειτουργικά στοιχεία του συστήματος μεταφοράς της περιοχής της αρμοδιότητας του εν λόγω ΠΚΕΕ. Η εικόνα αυτή μεταβάλλεται δυναμικά ανάλογα με την κατάσταση του ηλεκτρικού συστήματος, ενώ σε περιπτώσεις ανωμαλιών ο χειριστής απεικονίζει με επιλογή του διαφορετικές εικόνες ή τμήματα αυτών που υπάρχουν στην πλατφόρμα του ΣΕΕ στο μιμικό διάγραμμα. Δυστυχώς, η επιτυχημένη αναβάθμιση δεν επεκτάθηκε και στα υπόλοιπα κέντρα (ΕΚΕΕ, ΝΠΚΕΕ και ΒΠΚΕΕ) στα οποία παραμένουν κλασικού τύπου μιμικά διαγράμματα η συντήρηση και επικαιροποίηση των οποίων συνεχίζει να γίνεται στατικά και με επίπονο και δαπανηρό τρόπο.[19]

## **11.4 Εκτίμηση Ασφάλειας Τάσεως (Voltage Security Assessment - VSA)**

Η δομή και τοπολογία του Εθνικού διασυνδεδεμένου Συστήματος ήταν ευαίσθητη σε εμφάνιση φαινομένων αστάθειας τάσης, τα οποία αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για την πρόκληση τοπικών ή εκτεταμένων διακοπών (blackout) στην τροφοδοσία των καταναλωτών. Αυτό επέβαλλε την ανάπτυξη και χρήση κατάλληλων εργαλείων λογισμικού συνδεδεμένων στο ΣΕΕ, για την εκτίμηση της επίδρασης «ενδεχόμενων διαταραχών» στις τάσεις του Συστήματος και τον προσδιορισμό των ορίων ασφάλειας του Συστήματος με όρους ποσοτήτων μεταφοράς και κατανάλωσης ισχύος. Με στόχο τη βελτίωση των εφαρμογών λειτουργίας, στο Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας του Διασυνδεδεμένου Συστήματος εγκαταστάθηκε και τέθηκε σε λειτουργία η εφαρμογή Εκτίμησης Ασφάλειας Τάσεως (Voltage Security Assessment-VSA). Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Λιέγης και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) στα πλαίσια χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση ερευνητικού προγράμματος και βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία από τον Ιανουάριο του 2005 [4].

Η μέθοδος που χρησιμοποιεί η εφαρμογή Εκτίμησης Ασφάλειας Τάσεως βασίζεται στην ταχεία χρονική προσομοίωση του ηλεκτρικού συστήματος μεταφοράς για την ανάλυση φαινομένων αστάθειας τάσης που εξελίσσονται στη μακροπρόθεσμη χρονική κλίμακα. Τα δεδομένα για την προσομοίωση προέρχονται είτε από τον Εκτιμητή Κατάστασης του ΣΕΕ όταν η εφαρμογή βρίσκεται σε λειτουργία πραγματικού χρόνου (real-time mode) είτε από το πρόγραμμα Ροής Φορτίου του ΣΕΕ όταν η εφαρμογή λειτουργεί σε συνθήκες μελέτης (study mode). Οι κυριότερες λειτουργίες της εφαρμογής είναι η επιλογή ανάλυσης των κρισιμότερων από τις «ενδεχόμενες διαταραχές», ο προσδιορισμός Ορίων Ασφαλούς Λειτουργίας και ο υπολογισμός Ορίων Φόρτισης.

## **11.5 Ανάπτυξη του SCADA και των RTUs για την επιτήρηση του Συστήματος Μεταφοράς**

Το SCADA του ΣΕΕ στην αρχική του υλοποίηση περιελάμβανε 93 RTUs της αναδόχου εταιρίας (55 RTUs στο Νότιο ΠΚΕΕ και 38 RTUs στο Βόρειο ΠΚΕΕ) τα οποία κάλυπταν πλήρως το δίκτυο των 400KV, όλους τους Σταθμούς Παραγωγής και όλους τους σημαντικούς Υ/Σ 150KV. Δεν παρακολουθούνταν μικροί περιφερειακοί Υ/Σ και Υ/Σ χωρίς διακόπτες. Στην αρχική λειτουργία του ΣΕΕ, οι προβλεπόμενοι Τηλεχειρισμοί σε Υ/Σ και ΚΥΤ, παρότι υπήρχε όλη η υποδομή, δεν ενεργοποιήθηκαν για λόγους ασφάλειας. Αντίθετα, εξ αρχής αποστέλλονταν AGC setpoints μέσω του SCADA σε όλους τους Σταθμούς Παραγωγής που μπορούσαν να προσφέρουν δευτερεύουσα ρύθμιση.

Η συνεχής ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς, αλλά και η πολύ δυναμική ένταξη Αιολικών Πάρκων στο Σύστημα, μαζί με την απελευθέρωση της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας έφερε πλήθος νέων ανεπιτήρητων Υ/Σ και ΚΥΤ τόσο στα 400KV όσο και στα 150KV. Σύντομα έγινε αισθητή η ανάγκη επαύξησης των παρακολουθούμενων μέσω RTU Υ/Σ. Η ανάγκη αυτή έγινε επιτακτικότερη από την απόφαση της ΔΕΗ να περιορίσει σταδιακά σημαντικά τον αριθμό των επιτηρητών στους Υ/Σ του Συστήματος Μεταφοράς.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω, έγιναν τα ακόλουθα:

- Η φιλοσοφία των τηλεχειρισμών των διακοπών σχεδιάστηκε ξανά ώστε να γίνονται με την μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια (select before operate) και ξεκίνησαν να υλοποιούνται και να χρησιμοποιούνται με επιτυχία τηλεχειρισμοί Διακοπών Γραμμών 150KV σε μικρούς και ανεπιτήρητους Υ/Σ για γρήγορη αποκατάσταση ανωμαλιών. Σταδιακά οι τηλεχειρισμοί αυτοί επεκτάθηκαν και σε όλους σχεδόν τους διακόπτες Πυκνωτών και Αυτεπαγωγών 150KV, οι οποίοι σε περιόδους υψηλών φορτίων τηλεχειρίζονται καθημερινά.
- Με την ένταξη όλων των νέων Υ/Σ οι οποίοι έχουν υλοποιηθεί σύμφωνα με τις νεώτερες Τεχνικές Προδιαγραφές της ΔΕΗ, δόθηκε η δυνατότητα να επεκταθούν οι Τηλεχειρισμοί πέραν των διακοπών και σε αποζεύκτες ζυγών, σε αποζεύκτες γραμμών στα 400KV καθώς και σε γειωτές σε κάποιες περιπτώσεις. Αντίστοιχα οι Συμβάσεις των Α/Π επιβάλλουν την παρακολούθηση της παραγωγής τους και σε έκτακτες περιπτώσεις την αποστολή από το SCADA εντολών για περιορισμό της παραγωγής τους ή και πλήρη αποσύνδεσή τους από το Σύστημα.
- Η αύξηση της πρωτογενούς πληροφορίας από τους Υ/Σ στο ΣΕΕ δημιούργησε την ανάγκη να αναπτυχθούν in house και να ενσωματωθούν στο SCADA διάφοροι έλεγχοι για μεγαλύτερο και πιο αποτελεσματικό έλεγχο των δεδομένων, έτσι ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία της πληροφορίας.
- Στο διάστημα των τελευταίων δέκα ετών έγιναν τρεις διαφορετικοί διεθνείς διαγωνισμοί για την προμήθεια RTUs. Οι διαγωνισμοί αυτοί έγιναν με χρήση του ιδιόκτητου πρωτοκόλλου HNZ για τις ανάγκες του ελληνικού συστήματος μεταφοράς, είχαν απόλυτη επιτυχία και ενσωμάτωσαν στο ΣΕΕ πάνω από 100 RTUs τριών διαφορετικών κατασκευαστών. Σήμερα ο ΔΕΣΜΗΕ είναι σε φάση εγκατάστασης των τελευταίων από την πιο πρόσφατη προμήθεια. Παράλληλα σε δύο νέους Υ/Σ έγινε η ενσωμάτωση του πρωτοκόλλου στο κεντρικό ελεγκτή του Υ/Σ με απόλυτη επιτυχία.

Τα RTUs των τελευταίων δύο διαγωνισμών έχουν την υποδομή να επικοινωνήσουν και με νέα σύγχρονα και ανοιχτά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

- Επίσης τα τελευταία χρόνια για την βελτίωση της ασφάλειας στη λειτουργία του Συστήματος Μεταφοράς σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν τέσσερα Συστήματα Απόρριψης Φορτίων (Ρουφ, ΚΥΤ Παλλήνης, Μεγαλόπολη (2007 και 2010)) τα οποία βασίζονται σε PLCs που συνεργάζονται με το SCADA και τα RTUs του ΣΕΕ και σε έκτακτες καταστάσεις λειτουργίας του Συστήματος Μεταφοράς είτε απορρίπτουν αυτόματα προεπιλεγμένα φορτία, είτε δίνουν την δυνατότητα στην Κατανομή να προχωρήσει επιλεκτικά σε απορρίψεις μέσω τηλεχειρισμών [5],

Από τα παραπάνω, είναι εμφανές ότι τα 23 χρόνια που λειτουργεί το ΣΕΕ, από το 1993 έως και σήμερα, έχει ακολουθήσει με προσπάθεια και επιτυχία την ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς αλλά και τις γενικότερες εξελίξεις, δεδομένων πάντα των περιορισμών που του επιβάλλει η τεχνολογία της κατασκευής του και των περιορισμών που προέκυψαν από την μακροχρόνια λειτουργία και ανάπτυξή του. Συγκεκριμένα:

- Μία από τις σημαντικότερες δυσκολίες στην ανάπτυξη του SCADA του EMS αυτά τα χρόνια ήταν ο περιορισμός του στην χρήση ενός μοναδικού ιδιόκτητου πρωτοκόλλου (HNZ της CEGELEC) για την επικοινωνία των Εμπρόσθιων Υπολογιστών του SCADA με όλα τα RTUs του Συστήματος Μεταφοράς. Οι νεοκατασκευαζόμενοι Υ/Σ μπορούν πλέον να προσφέρουν τα διεθνή ανοιχτά πρωτόκολλα (όπως το IEC-60870-5-101), πράγμα το οποίο ζητάμε στις σχετικές συμβάσεις με την προοπτική της μελλοντικής χρήσης, αλλά προς το παρόν περιοριζόμαστε αποκλειστικά στην χρήση του HNZ.
- Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό και υλοποίηση του SCADA, οι Εμπρόσθιοι Υπολογιστές σε κάθε Περιφερειακό ΚΕΕ διαθέτουν 75 redundant σειριακές θύρες για επικοινωνία με αντίστοιχο πλήθος RTUs. Το εξυπηρετούμενο πλήθος RTUs από τις συγκεκριμένες θύρες μπορεί να γίνει μεγαλύτερο αν χρησιμοποιήσουμε party lines (δηλ. 2 ή max 3 RTUs πάνω στην ίδια τηλεπικοινωνιακή σύνδεση και θύρα) όπου παρέχεται αυτή η δυνατότητα από τις τηλεπικοινωνιακές οδεύσεις, έχοντας σαν κόστος τον υποδιπλασιασμό της ταχύτητας επικοινωνίας και την μικρότερη αξιοπιστία και ευελιξία της σύνδεσης. Το 1993 υπήρχαν συνολικά 93 RTUs και δεν καλύπτονταν ούτε το 50% των διαθέσιμων θυρών. Τώρα πλέον το ΣΕΕ διαθέτει 200 εγκατεστημένα RTUs σε όλο το Σύστημα Μεταφοράς και οι Εμπρόσθιοι Υπολογιστές βρίσκονται σε φάση σχεδόν πλήρους εξάντλησης των διαθέσιμων θυρών και αντίστοιχα έχει επιβαρυνθεί και η λειτουργία του σχετικού λογισμικού.

- Η συνεχής απαίτηση για ένταξη νέων Υ/Σ, Σταθμών Παραγωγής και Α/Π στο SCADA προφανώς έχει επιβαρύνει αισθητά το μέγεθος των σχετικών βάσεων δεδομένων σε όλο το ΣΕΕ. Με την αναβάθμιση του 2004 έγινε επέκταση των διαστάσεων όλων αυτών των βάσεων σε συνδυασμό με ανάλογες αυξήσεις στις μνήμες και τους δίσκους των κεντρικών υπολογιστών των τριών ΚΕΕ, αλλά λόγω της γοργής ανάπτυξης του Συστήματος Μεταφοράς φαίνεται ότι βρισκόμαστε πάλι σε σημείο που εξαντλούνται οι διαθέσιμοι πόροι.

### **11.6 Υλοποίηση τηλεπικοινωνιακών οδεύσεων μέσω MUX**

Το πλήθος των νέων RTUs, δημιούργησε ανάγκη αποσυμφόρησης των φερεσυχνιακών οδεύσεων μέσω των οποίων επικοινωνούν τα RTUs με το ΣΕΕ. Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο πολυπλεκτών (MUX) εγκαταστημένων στα ΚΕΕ και σε κομβικά σημεία του συστήματος μεταφοράς, κατάλληλα διασυνδεδεμένων μέσω μισθωμένων κυκλωμάτων 2Mbps. Η δομή του συστήματος είναι τύπου αστέρα, με κεντρικούς κόμβους τα ΚΕΕ. Σήμερα για λόγους αξιοπιστίας κάθε RTU επικοινωνεί με το ΣΕΕ μέσω δύο τηλεπικοινωνιακών οδεύσεων, η μία όδευση γίνεται μέσω των MUX ενώ η δεύτερη από το δίκτυο φερεσύχων. Με το συγκεκριμένο τρόπο εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία των δύο οδεύσεων από τυχόν βλάβη στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο.[20]

### **11.7 Επικοινωνία ΣΕΕ με το Σύστημα Αγοράς και τροποποίηση του AGC για την κάλυψη των αναγκών της απελευθερωμένης αγοράς.**

Στα πλαίσια της λειτουργίας της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, κατά τη φάση λειτουργίας του Συστήματος σε πραγματικό χρόνο, ο Διαχειριστής προσαρμόζει τα MW παραγωγής κάθε μονάδας ανάλογα με την πραγματική ζήτηση, την τρέχουσα διαθεσιμότητα των στοιχείων του συστήματος και την πραγματική λειτουργική ικανότητα των μονάδων παραγωγής στο χρόνο λειτουργίας. Στη διαδικασία αυτή η φόρτιση των μονάδων γίνεται με μία σειρά οικονομικότητας που βασίζεται στις ημερήσιες προσφορές που έχουν υποβληθεί την προηγούμενη ημέρα από τους Παραγωγούς για κάθε μονάδα παραγωγής. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των οικονομικών προσφορών των μονάδων, κρίθηκε σκόπιμη η λειτουργία ενός προγράμματος με το οποίο γίνεται, σε πραγματικό χρόνο, ο αυτόματος υπολογισμός της οικονομικής φόρτισης των μονάδων παραγωγής. Η εφαρμογή αυτή αποτελεί μέρος του Συστήματος Αγοράς και ονομάζεται Real Time Dispatch (RTD), εκτελείται σε κάθε πεντάλεπτο και για τη λειτουργία του χρειάζεται να γίνεται ανταλλαγή πληροφοριών (σημάνσεις, μετρήσεις, εντολές) με το ΣΕΕ σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας

των μονάδων, την παραγωγή και τα τρέχοντα τεχνικά όρια παραγωγής τους (μέγιστο, ελάχιστο).

Οι τιμές οικονομικής φόρτισης των μονάδων, που εκδίδει το RTD, χρησιμοποιούνται ως αφετηρία ρύθμισης (basepoints) από την εφαρμογή Αυτομάτου Ελέγχου Παραγωγής (AGC) του ΣΕΕ για την αυτόματη δευτερεύουσα ρύθμιση των μονάδων. Σε αυτή τη συνεργασία με το AGC, το RTD ουσιαστικά υποκαθιστά τη λειτουργία του προγράμματος Economic Dispatch (ED) που είναι ενσωματωμένο στο AGC και επιλύει το κλασικό πρόβλημα της Οικονομικής Κατανομής με βάση το κόστος παραγωγής των μονάδων, ενώ το RTD λαμβάνει υπόψη του τις οικονομικές προσφορές των Παραγωγών. Με τον τρόπο αυτό προσαρμόστηκε η εφαρμογή του AGC ώστε να λειτουργεί στο περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό τροποποιήθηκε η υπάρχουσα εφαρμογή του AGC, ώστε να λειτουργεί με «πρόσθετο τρόπο» λειτουργίας, χωρίς να διαταραχθούν οι υφιστάμενες λειτουργίες, σύμφωνα με τα στοιχεία που ανταλλάσσει με το RTD [6]. Η επικοινωνία μεταξύ του ΣΕΕ και του RTD πραγματοποιείται μέσω διεπαφής (interface) ανοικτής και τυποποιημένης αρχιτεκτονικής και η ανταλλαγή των στοιχείων γίνεται μέσω αρχείων XML. Όλα τα στοιχεία ανταλλάσσονται σύμφωνα με προκαθορισμένη περιοδικότητα και ελέγχεται σε συνεχή βάση η ποιότητα και ακεραιότητα των πληροφοριών που ανταλλάσσονται με βάση το χρονοσφραγισμό (time stamp) και άλλα στοιχεία ποιότητας (quality flags, reasonable values κ.α). Επίσης, οι τιμές οικονομικής φόρτισης των μονάδων, που εκδίδει το RTD, προωθούνται μέσω του ΣΕΕ προς τους σταθμούς παραγωγής και εμφανίζονται σε κατάλληλες συσκευές, που διαθέτουν όργανα με φωτεινή ένδειξη (displays) και έχουν εγκατασταθεί στις αίθουσες ελέγχου των σταθμών. Οι συσκευές αυτές είναι συνδυασμός PLC, ειδικού πληκτρολογίου και οθόνης φωτεινών ενδείξεων, τοποθετήθηκαν σε σταθμούς παραγωγής για την παροχή δυνατότητας ανταλλαγής πληροφοριών που πρέπει να γίνεται κατά την ημέρα λειτουργίας μεταξύ των σταθμών παραγωγής και του ΕΚΕΕ. Με τις συσκευές αυτές επιτυγχάνεται η μετάδοση των ανωτέρω πληροφοριών, μέσω του ΣΕΕ, συμπληρωματικά προς την τηλεφωνική επικοινωνία μεταξύ του ΕΚΕΕ και των σταθμών παραγωγής. Συγκεκριμένα, μέσω αυτών των συσκευών ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας οι χειριστές των σταθμών παραγωγής για την επιθυμητή τιμή παραγωγής ενεργού ισχύος κάθε μονάδας παραγωγής, η οποία εκδίδεται από το RTD, ώστε να μεταβάλουν την ενεργό παραγωγή συμμορφούμενοι προς την, κατά αυτόν τον τρόπο μεταδιδόμενη, εντολή κατανομής. Επίσης, με τη χρησιμοποίηση αυτών των συσκευών ενημερώνουν οι χειριστές των σταθμών το ΕΚΕΕ σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας για το ελάχιστο και μέγιστο (MIN και MAX limits) της διαθέσιμης μικτής ικανότητας παραγωγής ενεργού ισχύος κάθε μονάδας παραγωγής, εφόσον

αυτά έχουν μεταβληθεί σχετικά με τις αντίστοιχες τιμές που έχουν υποβληθεί την προηγούμενη ημέρα στην ημερήσια προσφορά κάθε μονάδος, εξαιτίας κάποιων απρόβλεπτων γεγονότων.

Αυτός είναι ένας νέος μηχανισμός έκδοσης Εντολών Κατανομής από το ΕΚΕΕ προς τους σταθμούς, ο οποίος παρέχει και τη δυνατότητα καταγραφής των ηλεκτρονικά μεταδιδόμενων εντολών σε βάσεις δεδομένων του ΣΕΕ και κατά αυτόν τον τρόπο διευκολύνονται οι υπολογισμοί διαφόρων μεγεθών που χρησιμοποιούνται στην Εκκαθάριση (π.χ. οι αποκλίσεις των μονάδων).

### **11.8 DATA Warehouse**

Έγινε προμήθεια, εγκατάσταση, θέση σε λειτουργία, συντήρηση και τεχνική υποστήριξη Συστήματος Ιστορικής Καταγραφής και Στατιστικής Ανάλυσης Στοιχείων Λειτουργίας και Αγοράς με δομή Data Warehouse, όπου αποθηκεύονται σχετικές πληροφορίες του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ).

Το σύστημα συγκεντρώνει, καταχωρεί και συσχετίζει τεχνικά και οικονομικά στοιχεία από τα υποσυστήματα που είναι εγκαταστημένα στον ΔΕΣΜΗΕ και παρέχει δυνατότητες αναζήτησης και στατιστικής ανάλυσης των ιστορικών στοιχείων. Τα κύρια υποσυστήματα από τα οποία αντλεί καθημερινά δεδομένα με αυτόματες ETL διαδικασίες είναι τα ακόλουθα:

- Ιστορικό σύστημα καταγραφής real-time δεδομένων (HIS) του Συστήματος Ελέγχου Ενέργειας.
- Σύστημα Αγοράς Ενέργειας (MMS).
- Σύστημα Εκκαθάρισης Αγοράς, λαμβάνοντας ωριαία δεδομένα από μετρητές Ενέργειας για ποσότητες που αφορούν την Αγορά Ενέργειας.

Η δυνατότητα παρουσίασης των δεδομένων είναι μέσω μιας Web αρχιτεκτονικής τριών επιπέδων (3-tier architecture) η οποία υποστηρίζει αναφορές με πολυδιάστατη ανάλυση (Business Intelligence reports) και υποβολής ad-hoc ερωτημάτων σε περιβάλλον Portal και ασφάλεια προσπέλασης χρηστών (SSO/LDAP).[21]

### **11.9 Αναγκαιότητα αντικατάστασης του ΣΕΕ**

Το ΣΕΕ σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με την τεχνολογία αιχμής της εποχής του (τέλη δεκαετίας του 1980 - αρχές 1990) και εξελίχθηκε παρακολουθώντας την ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς και τις γενικότερες εξελίξεις στον χώρο της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Εξυπηρέτησε και συνεχίζει να εξυπηρετεί αποτελεσματικά, αδιάλειπτα και με υψηλή αξιοπιστία τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας της ΔΕΗ αρχικά και στη συνέχεια του ΔΕΣΜΗΕ,

σχεδόν για μια εικοσαετία. Όμως η ανάγκη για την αντικατάσταση του ΣΕΕ – και μάλιστα το ταχύτερο δυνατόν – έχει ήδη γίνει φανερή με πολλούς τρόπους. Οι συγκεκριμένοι λόγοι που την επιβάλλουν παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Η επιτυχής μακρόχρονη λειτουργία του ΣΕΕ αποτελεί ταυτόχρονα και τον προφανέστερο λόγο για την αναγκαιότητα αντικατάστασής του. Η διάρκεια της ζωής του έχει ξεπεράσει την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής ανάλογων συστημάτων και ήδη αποτελεί το τελευταίο της γενιάς του που παραμένει σε λειτουργία στην Ευρώπη.
- Η αξιόπιστη συντήρηση του υλικού (hardware) έχει γίνει εξαιρετικά ανασφαλής λόγω της δυσκολίας εξεύρεσης ανταλλακτικών για τον πεπαλαιωμένο εξοπλισμό του ΣΕΕ. Όλα τα μοντέλα των βασικών υπολογιστών (Hosts και Front Ends) του ΣΕΕ έχουν αποσυρθεί εδώ και πολλά χρόνια από την αγορά και οποιαδήποτε ανταλλακτικό τους είναι δυσεύρετα ή υπάρχουν μόνον μεταχειρισμένα και άγνωστης κατάστασης.
- Η συντήρηση του λογισμικού έχει επίσης καταστεί δυσχερής επειδή οι οποιοσδήποτε επεμβάσεις σε αυτό απαιτούν εξειδικευμένη γνώση της σχετικής τεχνολογίας (λογισμικού συστήματος και εφαρμογών) η οποία ουσιαστικά δεν προσφέρεται πλέον στην αγορά.
- Τα τρία μιμικά διαγράμματα (ΕΚΕΕ, ΝΠΚΕΕ και ΒΠΚΕΕ) είναι κλασικού τύπου με ψηφίδες, ψηφιακές ενδείξεις, λαμπάκια, ελεγκτές και τροφοδοτικά. Όμως μετά από περίπου 20 χρόνια συνεχών παρεμβάσεων ενημέρωσης και απεικόνισης της τρέχουσας κατάστασης του ηλεκτρικού συστήματος σήμερα είναι κορεσμένα και η απεικόνιση αυτή γίνεται με επίπονο και δαπανηρό τρόπο. Επιπρόσθετα αυτά ελέγχονται από απηρχαιωμένο εξοπλισμό, με αποτέλεσμα τα ανταλλακτικά να είναι πλέον δυσεύρετα και δαπανηρά. Η αντικατάστασή τους με σύστημα προβολής τεχνολογίας DLP (display wall) είναι επιβεβλημένη.
- Οι εξελίξεις στον χώρο της Ενέργειας και της τεχνολογίας επιβάλλουν ανοίγματα του λογισμικού του ΣΕΕ προς νέες εφαρμογές και νέες κατευθύνσεις (Market, Settlement, DWH, MIS, Asset Management) που προφανώς δεν θα μπορούσαν να έχουν προβλεφθεί και συμπεριληφθεί στο αρχικό ΣΕΕ και ως εκ τούτου αντιμετωπίζονται τεχνικά δύσκολα και με σχετικούς περιορισμούς.
- Το ΣΕΕ με όλες τις βασικές του εφαρμογές (SCADA, AGC, Network Security Applications) παρότι παρακολουθεί με επιτυχία την ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς και ανταποκρίνεται στις σχετικές υποχρεώσεις που απορρέουν, φαίνεται πλέον για δεύτερη φορά, μετά την αναβάθμιση του 2001, ότι εξαντλούνται όλοι οι



διαθέσιμοι πόροι (ports για την επικοινωνία SCADA με Υ/Σ, διαστάσεις databases, μνήμης, δίσκων, performance). Η επιθυμητή επαύξηση των απαιτούμενων πόρων, δυστυχώς, λόγω παλαιότητας και τεχνολογίας δεν είναι δυνατόν να δοθεί με νέα αναβάθμιση.

- Όσον αφορά την εξυπηρέτηση της επικοινωνίας του SCADA με όλους τους νέο-εντασσόμενους στο Σύστημα Μεταφοράς Υ/Σ, KYT, Α/Π και Σταθμούς Παραγωγής, είναι απολύτως αντιληπτό ότι πρέπει να υιοθετηθούν τα νέα διεθνή ανοιχτά πρωτόκολλα (IEC-60870-5-101, IEC-60870-5-104) τα οποία προσφέρονται από όλους τους Κατασκευαστές και στα οποία δυστυχώς το παρόν σύστημα δεν μπορεί να ανταποκριθεί.
- Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η υιοθέτηση των νέων πρωτοκόλλων θα απαιτήσει σημαντική αναβάθμιση του δικτύου των Τηλεπικοινωνιών SCADA (Φερέσυχνα, MUX, μισθωμένες γραμμές) απ' άκρου σε άκρο, για να μπορεί να προσφέρει υψηλές ταχύτητες και αξιοπιστία που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία αυτών των πρωτοκόλλων.
- Όσον αφορά την επικοινωνία SCADA μεταξύ των ΚΕΕ, το παρόν σύστημα χρησιμοποιεί ιδιόκτητο κλειστό πρωτόκολλο (ISD protocol) μεταξύ των τριών Κέντρων. Η ιδιαιτερότητα αυτή αφενός προσφέρει μεγαλύτερη ταχύτητα στην επικοινωνία μεταξύ των Κέντρων αλλά αφετέρου καθιστά αδύνατη την αναβάθμιση ή αντικατάσταση ενός Κέντρου ανεξάρτητα από τα άλλα.
- Η επιβεβλημένη από τον ENTSO-E βελτίωση της παρατηρησιμότητας της περιοχής ευθύνης του ΔΕΣΜΗΕ μέσω ανταλλαγής real time δεδομένων SCADA με τις γειτονικές χώρες δεν μπορεί να εφαρμοσθεί ικανοποιητικά από το παρόν ΣΕΕ εξαιτίας της αδυναμίας μεταφοράς προς το SCADA του quality flag των μετρήσεων που έρχονται μέσω TASE.2 από εξωτερικά συστήματα.

Η υλοποίηση ενός νέου σύγχρονου και ολοκληρωμένου ΣΕΕ, όπως αυτό περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο 11.10, έχει ήδη δρομολογηθεί με την προετοιμασία διεθνούς διαγωνισμού και ένταξη του σχετικού έργου στο ΕΣΠΑ 2007-2013. Παράλληλα έχει προετοιμαστεί ένα εναλλακτικό απλούστερο σχέδιο αντικατάστασης του εξοπλισμού του ΣΕΕ, για να διασφαλιστεί μεταβατικά η ομαλή λειτουργία των ΚΕΕ, για την ανεπιθύμητη περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο προκύψει έκτακτη ανάγκη αντικατάστασης του σε συντομότερο χρονικό διάστημα από την προβλεπόμενη υλοποίηση του ολοκληρωμένου σύγχρονου ΣΕΕ.[22]

## 11.10 Κύρια χαρακτηριστικά και δομή νέου ΣΕΕ

Το υπάρχον ΣΕΕ πρόκειται να αντικατασταθεί πλήρως από ένα σύγχρονο ΣΕΕ βασισμένο σε αρχιτεκτονική multisite η οποία θα επιτρέπει σε δύο (ή περισσότερα) ισοδύναμα ΚΕΕ (ΕΚΕΕ και ΒΠΚΕΕ) να επικοινωνούν μεταξύ τους με σύγχρονα πρωτόκολλα επικοινωνίας μέσω ισχυρής τηλεπικοινωνιακής διασύνδεσης κορμού, να είναι πλήρως συγχρονισμένα. Καθένα από τα δύο κέντρα, σε κανονική λειτουργία θα υποστηρίζει την λειτουργία του διασυνδεδεμένου συστήματος στην περιοχή αρμοδιότητας του και παράλληλα θα εξυπηρετεί το ΠΚΕΕ Θεσσαλονίκης ενώ σε περίπτωση καθολικής βλάβης ενός από αυτά το άλλο αναλαμβάνει πλήρως την υποστήριξη της λειτουργίας όλου του συστήματος.

Η συλλογή των στοιχείων από τις RTUs θα γίνεται από το κάθε κέντρο ανεξάρτητα και αυτόνομα, μέσω τηλεπικοινωνιακού δικτύου κορμού, από γεωγραφικά κατανεμημένα υποσυστήματα επικοινωνίας και συλλογής στοιχείων (data concentrators) χρησιμοποιώντας σύγχρονα πρωτόκολλα κατά IEC. Τα υποσυστήματα αυτά θα επικοινωνούν με τις τοπικές RTUs (οι οποίες θα αντικατασταθούν με νέες με σύγχρονα πρωτόκολλα) και τις απομακρυσμένες RTUs (οι οποίες θα αντικατασταθούν σταδιακό) με διαφόρους τύπους πρωτοκόλλων ανάλογα με τον τύπο της RTU και την τηλεπικοινωνιακή σύνδεση. Για την επικοινωνία των RTUs μέχρι τα κομβικά σημεία, που είναι εγκαταστημένοι οι data concentrators θα χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες τηλεπικοινωνίες που βασίζονται σε φερέσυχα και πολυπλέκτες μετά από κατάλληλη αναδρομολόγηση.

Τα δύο ισοδύναμα Κέντρα θα αποτελούν επίσης κόμβους του ENTSO-E ΕΗ για την ανταλλαγή στοιχείων με άλλα κέντρα άλλων χωρών και τα συντονιστικά κέντρα του ENTSO-E.

Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού, χωρητικότητας STM-16, θα υλοποιηθεί με χρήση του δικτύου οπτικών ινών που είναι εγκαταστημένες στο σύστημα μεταφοράς και τερματικές διατάξεις τεχνολογίας NG-SDH και θα παρέχει την αναγκαία ασφάλεια και αξιοπιστία για τις υψηλής κρισιμότητας επικοινωνίες του ΣΕΕ αλλά και την δυνατότητα παροχής για πρόσθετες υπηρεσίες που αφορούν στον Διαχειριστή του συστήματος. Το δίκτυο θα αποτελείται από τρεις αυτο-επιδιορθώμενους οπτικούς δακτυλίους, θα εκτείνεται γεωγραφικά σε όλη την χώρα και θα έχει 29 κόμβους. Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κορμού, θα παρακολουθείται και διαχειρίζεται από κεντρικό σύστημα διαχείρισης τηλεπικοινωνιακού δικτύου (NMS).

Ο εξοπλισμός σε καθένα από τα κέντρα και τους data concentrators, θα είναι διπλός με αυτόματη μεταγωγή σε περίπτωση βλάβης (πλήρως redundant). Όλα τα κέντρα θα παρέχουν

πλήρες γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας τύπου web και θα είναι εξοπλισμένα με display walls σύγχρονης τεχνολογίας.

Τόσον ο εξοπλισμός των κέντρων όσο και το λογισμικό εφαρμογών και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας με τους υποσταθμούς, σταθμούς παραγωγής, άλλα ΚΕΕ κλπ θα είναι σύγχρονης τεχνολογίας σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και κατάλληλα για την παροχή των υπηρεσιών λειτουργίας του διασυνδεδεμένου συστήματος και της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας.[23]

### **11.11 Συμπεράσματα**

Το Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας, το οποίο αποτελεί μια κρίσιμη εθνική υποδομή απαραίτητη για την παρακολούθηση, λειτουργία και έλεγχο του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Παραγωγής και Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, υλοποιήθηκε τα έτη 1990 έως 1993 εφαρμόζοντας τις τεχνολογίες αιχμής της εποχής και τέθηκε σε εμπορική λειτουργία το 1994. Στη συνέχεια εξελίχθηκε, αναπτύχθηκε και αναβαθμίστηκε ανταποκρινόμενο στην αντίστοιχη εξέλιξη του Συστήματος Μεταφοράς και των νέων συνθηκών λειτουργίας στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Από την αρχή της λειτουργίας του μέχρι σήμερα το ΣΕΕ λειτουργεί αποτελεσματικά, αδιάλειπτα και με υψηλή αξιοπιστία. Κατά τη διάρκεια των 23 χρόνων λειτουργίας του, το ΣΕΕ ανταποκρίθηκε επιτυχώς στις συσσωρευμένες απαιτήσεις όλων των νέων εξελίξεων και εφαρμογών αλλά πλέον όλα τα στοιχεία δείχνουν φανερά ότι ούτε η αξιόπιστη υποστήριξή του είναι πλήρως εγγυημένη, λόγω παλαιότητας του υλικού και της τεχνολογίας, ούτε μπορεί εύκολα να προσφέρει νέα ανοίγματα προς τις νέες τεχνολογίες όπου αυτό απαιτείται και δεν υπάρχει ευχέρεια ανάπτυξης του για την παρακολούθηση του Συστήματος Μεταφοράς. [24]

## 12 Βιβλιογραφία και πηγές :

1. «Ο ρόλος των δικτύων στον εξηλεκτρισμό της Ελλάδας και η μελλοντική τους εξέλιξη». Γεώργιος Α. Κόλλιας, Πρόεδρος και Διευθύνων Σύμβουλος της ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.
2. «Βλάβες στη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας – Προσομοίωση συστήματος αποκατάστασης βλαβών», Δημήτριος Βράνης, Publisher: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών, Year: 2010, OAI identifier: oai:dspace.lib.uom.gr:2159/13820, Provided by: Psepheda: Digital Library & Institutional Repository
3. «Δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης Συστήματος μεταφοράς 2017 – 2026». Προκαταρκτικό σχέδιο, Δεκέμβριος 2015
4. [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/consumers/know\\_about/electricity/distribution.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/distribution.csp)
5. «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλος – Νικόλαος Α. Βοβός, Publisher: Ζήτη, Year: Ιανουάριος 2008, ISBN: 978-960-456-105-6.
6. «Συντήρηση Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, διπλωματική εργασία, Αναστάσιος Ι. Τασούλας.
7. «Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας Παραγωγής Μεταφοράς», Συνοπτική Περιγραφή, Δεκέμβριος 1995, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού.
8. «Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου, παρακολούθησης και καταγραφής εργαστηριακού μικροδικτύου.», Διπλωματική εργασία, Αχιλλέας Γ. Μάρκου.
9. Daneels A., Salter W.: «What is SCADA?», International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics, Control Systems, Trieste , Italy , October 1999
10. Χασάπης Γ.: «Αρχιτεκτονική & Προγραμματισμός Συστημάτων Βιομηχανικού Ελέγχου», Εκδόσεις Ζήτη 2001.
11. Toni Puromaki : «Data validation in SCADA system», Tekniikka ja liikenne, 2010.
12. Aumala, Olli. 2002. Mittaustekniikan perusteet. 11. painos. s. 144-145. Espoo. Otatiето.
13. Ramsden, Ed. 2001. An Introduction to Analog Filters. The article is also available on website: <URL:<http://www.sensorsmag.com/sensors/electric-magnetic/anintroduction-analog-filters-1023>>
14. Olshausen, Bruno A. 2000 "Aliasing", PSC 129-Sensory Processes.[referred 2.3.2010]. The paper is also available on website: <URL:<https://redwood.berkeley.edu/bruno/npb261/aliasing.pdf>>
15. Elmore A. Walter. 2004, Protective Relaying Theory And Application. Second Edition. ABB Power T&D Company Inc. pp. 169
16. Protection Basics 2007: Introduction to Symmetrical Components[online]. GE Energy.[URL:http://www.gedigitalenergy.com/smartgrid/Dec07/7-symmetrical.pdf](http://www.gedigitalenergy.com/smartgrid/Dec07/7-symmetrical.pdf)

17. Automated Monitoring and Control Using New Data Integration Paradigm, Mladen Kezunovi, Tanja Djoki, Texas A&M University USA, Tatjana Kosti, ABB Switzerland, Corporate Research. <http://epppe.tamu.edu/k/cnf/HICSS2005.pdf>
18. DATA COLLECTING AND PROCESSING FOR SUBSTATION INTEGRATION ENHANCEMENT A Thesis by SASA JAKOVLJEVIC Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE May 2003 Major Subject: Electrical Engineering <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/93/etd-tamu-2003A-2003032408-1.pdf?sequence=1>
19. A. Rigos, A.Koronides, P.Charamoglis, J.M.Cachet: "A Modern Energy Management System for the Control of the Hellenic Generation and Transmission System", Athens Power Tech, September 1993.
20. G.P. Christoforidis, D.G. Michos, P.D. Nikolaou, I.T. Blanas: "Upgrade of the Energy Management System of the Hellenic TSO for Operation in the Liberalized Electricity Market", ISAP 2003, 30 Aug. - 3 Sep. 2003, Lemnos - Greece.
21. J.C.Passelergue, P.Simon, I.Blanas, M.Philippou, P.Nikolaou, D.Michos, G.Christoforidis: "Market-Based real-Time Dispatch in the Hellenic Power System", IEEE PES General Meeting, 6-10 June 2004, Denver, Colorado, USA.
22. G.Christoforidis, J.Kabouris, C.Vournas, T.Van Cutsem: "Experience Gained by the Application of a Real- Time Voltage Security Assessment Method at the Hellenic Transmission System Operator", CIGRE Paris Session - 2006.
23. V.C. Nikolaidis, C.D. Vournas, G.A. Fotopoulos, G.P. Christoforidis, E. Kalfaoglou, A. Koronides: "Automatic Load Shedding Schemes against Voltage Instability in the Hellenic System", IEEE PES General Meeting, 24-28 June 2007 Tampa, Florida, USA.
24. Δ. Μίχος, Γ. Φωτόπουλος, Ι. Μπλάνας, Β. Ζιώγας, Δ. Φούρλαρης, Α. Τασούλης: «Οικονομική Κατανομή Φορτίου σε Πραγματικό Χρόνο στα Πλαίσια της Απελευθερωμένης Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», Σύνοδος Ε Ε CIGRE, Αθήνα 2009

## Web Sites

Applied Sciences Group Inc. Web Site

[www.appliedsciencesgroup.com/scada.html](http://www.appliedsciencesgroup.com/scada.html)

RM Systems Web Site

[www3.sympatico.ca/rmsystems/scada.html](http://www3.sympatico.ca/rmsystems/scada.html)

[http://el.wikipedia.org/wiki/Δημόσια\\_Επιχείρηση\\_Ηλεκτρισμού](http://el.wikipedia.org/wiki/Δημόσια_Επιχείρηση_Ηλεκτρισμού)

<http://el.wikipedia.org/wiki/SCADA>

<http://www.ppcr.gr/MapInstalled.aspx?C=30>

<http://www.pacontrol.com/SCADA.html>

<https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/paragwgi/analutikos-xartis-stathmwn>

<http://www.desmie.gr/to-systima-metaforas/anptyxi-systimatos/dedomena-stoicheia-systimatos/chartis/>